

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM ENGENHARIA DE ENERGIA**

George Camargo dos Santos

**O uso do Método Paraconsistente de Decisão Modificado para
inclusão de equipamentos no portfólio do Selo Procel:
Um estudo em inversores *off grid* para sistema fotovoltaico**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM ENGENHARIA DE ENERGIA

George Camargo dos Santos

**O uso do Método Paraconsistente de Decisão Modificado para
inclusão de equipamentos no portfólio do Selo Procel:
Um estudo em inversores *off grid* para sistema fotovoltaico**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Ciências em Engenharia de Energia.

Área de Concentração: Engenharia de Energia

Orientador: Profº. Dr. Luiz Augusto Horta Nogueira, D.Sc.

Itajubá
Julho de 2016

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM ENGENHARIA DE ENERGIA**

George Camargo dos Santos

**O uso do Método Paraconsistente de Decisão Modificado para
inclusão de equipamentos no portfólio do Selo Procel:
Um estudo em inversores *off grid* para sistema fotovoltaico**

Dissertação aprovada por banca examinadora em 21 de julho de 2016, conferindo ao autor o título de **Mestre em Ciências em Engenharia de Energia**.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Luiz Augusto Horta Nogueira, D.Sc.
Orientador

Prof. Dr. Jamil Haddad, D.Sc.
Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI

Dr. Germano Lambert-Torres, Ph.D.
PS Soluções

Dr. Fabio Romeu de Carvalho, D.Sc.
Universidade Paulista - UNIP

Itajubá, MG
2016

*Ao coronel Mario Palazzo, **M.Sc.***
Ex-professor do IME e sempre amigo!
(In memoriam).

AGRADECIMENTOS

Agradecer é uma oportunidade que a vida nos oferece ...

Agradeço ao meu orientador Luiz Augusto Horta Nogueira pela confiança depositada na pesquisa. A todo corpo docente do Programa de Pós-graduação de Engenharia de Energia da UNIFEI. Grato pelo ensino, pela orientação e pelo apoio.

Agradeço ao Prof. José Augusto Baêta Segundo pela conversa inicial por telefone sobre o tema e a forma humilde como me atendeu. Aquela ligação foi o ponto inicial para entrar em contato com o Prof. Jair Minoro Abe em seu nome. Nesse contexto, agradeço ao Prof. Jair Minoro Abe, discípulo do Prof. Newton da Costa pela troca de e-mails. Grato pelas correções e recomendações de literaturas. Também, é de considerar o fato do envio da apostila de sua autoria que me despertou para várias definições e observações. Ainda, em tempo, grato pelas aulas, Prof. Jair Minoro Abe!

Agradeço aos professores Fabio de Romeu de Carvalho, Germano Lambert-Torres, Jamil Haddad, Marcos Vinícius Xavier Dias e Roberto Akira Yamashita pelos comentários realizados uns no exame de qualificação e outros no exame final desta dissertação.

Agradeço à “tropa de elite” da Eletrobras que contribuíram para este projeto: Ana Lucia dos Prazeres Costa (doutora em letras pela UFRJ), Daniel Delgado Bouts (mestre pela UNIFEI), Emerson Salvador (mestre pela UNIFEI), Felipe Carlos Barros (mestre pelo PPE-COPPE/UFRJ), Leonardo Pinho Magalhães (mestre pela UNIFEI e doutorando pelo PEE-COPPE/UFRJ), Luciano de Barros Giovaneli (especialista pelo BENNET), Marcelo José dos Santos (doutor pelo PEE-COPPE), Marcio Vargas Lomelino (mestre pela UNIFEI), Marcos Alexandre Couto Limberger (mestre pela PUC-Rio), Moisés Antônio dos Santos (mestre pela UNIFEI), Rafael Meirelles David (mestre pela UNIFEI), Rodrigo Fernandes Morimoto (mestrando pelo PEE-COPPE/UFRJ), Vitor Zidan da Fonseca (mestre pela UFF) e William Mendes de Farias (mestre pela UNIFEI).

Agradeço aos gerentes Emerson Salvador e Luiz Menandro pela oportunidade de me capacitar com este curso de pós-graduação. Destaco, ainda, a iniciativa de promover um projeto de

capacitação em nível de mestrado para todo um Departamento da Eletrobras ou quiças para membros do setor de energia.

Ao coronel Mario Pallazo por duas coisas, a saber: (1) o “bizu” que destravou a dissertação e (2) por aprender, ex-professor, a não dizer: adeus! e sim: um até logo amigo. Esta dissertação de mestrado, eu dedico *in memoriam*.

À minha Renata (esposa), meu Theo (Th maior) e meu Thiago (Th menor) - o meu amor e gratidão no nível mais profundo segundo o sentido de ἀγάπη. Com eles tudo, sem eles nada!

A todos que acreditaram *paraconsistentemente* neste projeto. Tenho a grata oportunidade em declarar: Agradeço a Ele - *Soli Deo Gloria!*

G. C. dos Santos, **M.Sc.**

Ὡς βάθος πλούτου καὶ σοφίας καὶ γνώσεως
θεοῦ· ὡς ἀνεξεραύνητα τὰ κρίματα αὐτοῦ καὶ
ἀνεξιχνίαστοι αἱ ὁδοὶ αὐτοῦ. τίς γὰρ ἔγνω
νοῦν κυρίου; ἢ τίς σύμβουλος αὐτοῦ ἐγένετο;
ἢ τίς προέδωκεν αὐτῷ, καὶ ἀνταποδοθήσεται
αὐτῷ; ὅτι ἐξ αὐτοῦ καὶ δι' αὐτοῦ καὶ εἰς αὐ-
τὸν τὰ πάντα· αὐτῷ ἡ δόξα εἰς τοὺς αἰῶνας,
ἀμήν.

(ROMANOS 11. 33-36, NA-27)

Ó profundidade da riqueza, tanto da sabedoria
como do conhecimento de Deus! Quão inson-
dáveis são os seus juízos, e quão inescrutáveis,
os seus caminhos! Quem, pois, conheceu a
mente do Senhor? Ou quem foi o seu conse-
lheiro? Ou quem primeiro deu a Ele para que
lhe venha a ser restituído? Porque dEle, e por
meio dEle, e para Ele são todas as coisas. A
Ele, pois, a glória eternamente. Amém!

(ROMANOS 11. 33-36, ARA)

RESUMO

DOS SANTOS, George C. **O uso do Método Paraconsistente de Decisão Modificado para inclusão de equipamentos no portfólio do Selo Procel:** Um estudo em inversores *off grid* para sistema fotovoltaico. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia) – Programa de Pós-graduação em Engenharia de Energia, Universidade Federal de Itajubá, julho de 2016. Orientador: Profº Dr. Luiz Augusto Horta Nogueira.

A dissertação destina-se a subsidiar estudos de avaliação da conformidade em inversores autônomos para sistemas fotovoltaicos, ou simplesmente inversores *off grid*, no portfólio de equipamentos do Selo Procel. Para isso, utilizou-se a Lógica Paraconsistente Anotada Evidencial Et (LPA Et) como suporte para o uso do Método Paraconsistente de Decisão Modificada (MPDM). Foram avaliados quinze inversores *off grid* para os doze ensaios da Portaria INMETRO nº. 004/2011 por meio do MPDM. Os resultados apontam para focalizar os estudos dos Requisitos Específicos nos ensaios de frequência e de eficiência energética em condições normais e extremas.

Por fim, as rotinas computacionais foram estendidas, ainda em versão preliminar, dando suporte a uma Interface Gráfica Usuário denominada CONFORME que auxilia nos estudos da avaliação da conformidade para inclusão de equipamentos no portfólio do Selo Procel para inversores e outros equipamentos.

Palavras-Chave: (1) Selo Procel; (2) Lógica Paraconsistente Anotada Evidencial Et; (3) Método Paraconsistente de Decisão Modificado; (4) Avaliação da Conformidade; (5) Inversor Autônomo; (6) Eficiência Energética.

ABSTRACT

DOS SANTOS, George C. **The use of the Modified Paraconsistent Decision Method for including equipment in the Procel Seal portfolio:** a study on off-grid inverters for photovoltaic system. Dissertation (Master of Science in Energy Engineering), Department of Energy Engineering, Federal University of Itajubá, July 2016. Advisor: Prof. Dr. Luiz Augusto Horta Nogueira.

This dissertation aims to support studies on the conformity evaluation of off-grid inverters for photovoltaic systems, or simply off-grid inverters, in the portfolio of categories of equipment with the Procel Seal. For this purpose, the research dealt with the Evidential Annotated Paraconsistent Logic $E\tau$ (LPA $E\tau$) as a support to the use of the Modified Decision Paraconsistent Method (MPDM). Fifteen off-grid inverters were evaluated for the twelve tests of the Inmetro Ordinance 004/2011 by means of the MPDM. The results indicate that it is necessary to focus on the Specific Requirements in the frequency tests and energy-efficiency tests in normal and extreme conditions.

Finally, computational routines were extended, still in draft form, supporting a Graphical User Interface called CONFORME, which assists in studies of conformity evaluation for the inclusion of inverters and other equipment in the Procel Seal portfolio.

Keywords: (1) Procel Seal; (2) Evidential Annotated Paraconsistent Logic $E\tau$; (3) Modified Paraconsistent Decision Method (4) Conformity Evaluation; (5) Off-grid Inverter; (6) Energy Efficiency.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1	Exemplos de conversores estáticos: (a) Transformador de distribuição e (b) Conversores estáticos utilizando eletrônica de potência	8
FIGURA 2.2	Exemplos de conversores rotativos: (a) máquinas cc acopladas e (b) visão explodida de uma máquina cc acoplada	8
FIGURA 2.3	Topologia de inversor: (a) Tipo central e (b) Tipo série (ing. <i>String</i>)	13
FIGURA 2.4	Topologia de inversor: (a) Tipo <i>Multistring</i> e (b) Tipo módulo CA	14
FIGURA 2.5	Participação na irradiação anual para as regiões brasileiras e para média nacional	19
FIGURA 2.6	Selo alemão para inversores fotovoltaicos	21
FIGURA 2.7	Exemplo de etiqueta comparativa BEE Star usada em inversores de estado sólido	25
FIGURA 2.8	Os produtos avaliados pelo FIDE e a classificação em <i>Sello Fide A</i> ou <i>Sello Fide B</i>	27
FIGURA 2.9	Inversores da <i>Fronius México</i> : séries IG e IG Plus	31
FIGURA 2.10	Inversores da <i>Solarever Tecnología de América</i> : Série JSI	32
FIGURA 3.1	(a) Portada da tese de Newton da Costa; (b) Sumário da tese de Newton da Costa	54
FIGURA 3.2	(a) Portada da tese de Jair Minoro Abe; (b) Sumário da tese de Jair Minoro Abe	59
FIGURA 3.3	Gráfico das anotações $p(0.8, 0.6)$ e $q(0.7, 0.5)$ com as operações AND, OR, MÁX e MÍN	68
FIGURA 3.4	Gráfico das anotações $p(0.7, 0.6)$ e $q(0.8, 0.5)$ com as operações AND, OR, MÁX e MÍN	69
FIGURA 3.5	Gráfico das anotações $p(0.75, 0.60)$ e $q(0.75, 0.50)$ com as operações AND, OR, MÁX e MÍN	69
FIGURA 3.6	Gráfico das anotações $p(0.70, 0.55)$ e $q(0.80, 0.55)$ com as operações AND, OR, MÁX e MÍN	69
FIGURA 3.7	Quadrado Unitário do Plano Cartesiano com nove estados lógicos hirtos ...	71
FIGURA 3.8	Diagrama do reticulado τ com anotações	76
FIGURA 3.9	Pontos notáveis do QUPC, a SPD e a SPI	77
FIGURA 3.10	QUPC com o G_C e G_I e os Valores de Controles V_{CV} , V_{CF} , V_{CP} e V_{CI}	80

FIGURA 3.11	Dispositivo para-analisador ou QUPC em função das anotações μ_1 e μ_2	80
FIGURA 4.1	Diagrama dos três procedimentos do Método Paraconsistente de Decisão .	84
FIGURA 4.2	Exemplos de reticulados τ com níveis de exigências 0,50; 0,70; 0,80 e 0,95	87
FIGURA 4.3	Esquema das regras de maximização e de minimização para o Exemplo 4.1elaborado pelo EC	98
FIGURA 4.4	Esquema das regras de maximização e de minimização para o Exemplo 4.2 planejado pelo EC	100
FIGURA 4.5	Graus de evidência favorável e contrária dos doze fatores de influência (em azul) e a anotação do baricentro (em vermelho) no dispositivo para-analisador relativo ao Exemplo 4.1	106
FIGURA 4.6	Graus de evidência favorável e contrária dos dez fatores de influência (em azul) e a anotação do baricentro (em vermelho) no dispositivo para-analisador relativo ao Exemplo 4.2	107
FIGURA 5.1	Diagrama de blocos do pré-processador do MPDM do CONFORME para inversores <i>off grid</i>	113
FIGURA 5.2	Três exemplos com os subconjuntos $S_{\square 1}$ e $S_{\square 2}$ e cinco proposições hipotéticas a_1, a_2, a_3, a_4 e a_5	122
FIGURA 5.3	Os três critérios de viabilidade identificados na Portaria Inmetro 004/2011	123
FIGURA 5.4	Módulo de Autoconsumo para inversor <i>off grid</i> do CONFORME	130
FIGURA 5.5	Módulo de Eficiência Energética para inversor <i>off grid</i> do CONFORME	132
FIGURA 5.6	Gráfico do critério passa-baixa	134
FIGURA 5.7	Gráfico do critério passa-alta	134
FIGURA 5.8	Gráfico do critério passa-faixa	135
FIGURA 5.9	Diagrama de blocos do processador do MPDM do CONFORME para inversores <i>off grid</i>	138
FIGURA 5.10	Diagrama de blocos do processador do MPDM para inversores <i>off grid</i> com AAC de 3ª parte	140
FIGURA 5.11	Resultados gráficos para o ensaio de autoconsumo do inversor <i>off grid</i> 15: (a) no dispositivo para-analisador e (b) ampliando a área do dispositivo para-analisador	143
FIGURA 5.12	Resultados gráficos para o ensaio de autoconsumo do inversor <i>off grid</i> 07: (a) no dispositivo para-analisador e (b) ampliando a área do dispositivo para-analisador	144

FIGURA 5.13	Resultados gráficos para o ensaio de autoconsumo dos inversores <i>off grid</i> 1 a 15 no dispositivo para-analisador: (a) para $G_{C(mín)}$ e (b) para $G_{C(máx)}$	145
FIGURA 5.14	Resultados gráficos para o ensaio de eficiência energética para tensão nominal do inversor <i>off grid</i> 11: (a) no dispositivo para-analisador e (b) ampliando a área do dispositivo para-analisador	145
FIGURA 5.15	Resultados gráficos para o ensaio de eficiência energética para tensão nominal do inversor <i>off grid</i> 08: (a) no dispositivo para-analisador e (b) ampliando a área do dispositivo para-analisador	146
FIGURA 5.16	Resultados gráficos para o ensaio de eficiência energética com tensão nominal em condição normal dos inversores <i>off grid</i> 1 a 15 no dispositivo para-analisador: (a) para $G_{C(mín)}$ e (b) para $G_{C(máx)}$	146
FIGURA 5.17	Resultados gráficos para o ensaio de eficiência energética para tensão nominal do inversor <i>off grid</i> 11: (a) no dispositivo para-analisador e (b) ampliando a área do dispositivo para-analisador	147
FIGURA 5.18	Resultados gráficos para o ensaio de eficiência energética para tensão nominal do inversor <i>off grid</i> 08: (a) no dispositivo para-analisador e (b) ampliando a área do dispositivo para-analisador	147
FIGURA 5.19	Resultados gráficos para o ensaio de eficiência energética com tensão nominal em condição extrema dos inversores <i>off grid</i> 1 a 15 no dispositivo para-analisador: (a) para $G_{C(mín)}$ e (b) para $G_{C(máx)}$	148
FIGURA 5.20	Módulo de Eficiência Energética para inversor <i>off grid</i> 15 no CONFORME .	149
FIGURA 5.21	Resultados gráficos para o ensaio de distorção harmônica para tensão nominal em condição normal do inversor <i>off grid</i> 14: (a) no dispositivo para-analisador e (b) ampliando a área do dispositivo para-analisador	150
FIGURA 5.22	Resultados gráficos para o ensaio de distorção harmônica para tensão nominal em condição normal do inversor <i>off grid</i> 04: (a) no dispositivo para-analisador e (b) ampliando a área do dispositivo para-analisador	150
FIGURA 5.23	Resultados gráficos para o ensaio de distorção harmônica para tensão nominal em condição normal dos inversores <i>off grid</i> 1 a 15 no dispositivo para-analisador: (a) para $G_{C(mín)}$ e (b) para $G_{C(máx)}$	151
FIGURA 5.24	Resultados gráficos para o ensaio de distorção harmônica para tensão nominal em condição extrema do inversor <i>off grid</i> 14: (a) no dispositivo para-analisador e (b) ampliando a área do dispositivo para-analisador	151
FIGURA 5.25	Resultados gráficos para o ensaio de distorção harmônica para tensão nominal em condição extrema do inversor <i>off grid</i> 05: (a) no dispositivo para-analisador e (b) ampliando a área do dispositivo para-analisador	152
FIGURA 5.26	Resultados gráficos para o ensaio de distorção harmônica para tensão nominal em condição extrema dos inversores <i>off grid</i> 1 a 15 no dispositivo para-analisador: (a) para $G_{C(mín)}$ e (b) para $G_{C(máx)}$	152

FIGURA 5.27	Resultados gráficos para o ensaio de regulação de tensão para tensão nominal em condição normal do inversor <i>off grid</i> 01: (a) no dispositivo para-analisador e (b) ampliando a área do dispositivo para-analisador	153
FIGURA 5.28	Resultado gráfico para o ensaio de regulação de tensão para tensão nominal em condição normal do inversor <i>off grid</i> 11: (a) no dispositivo para-analisador e (b) ampliando a área do dispositivo para-analisador	154
FIGURA 5.29	Resultados gráficos para o ensaio de regulação de tensão para tensão nominal em condição normal dos inversores <i>off grid</i> 1 a 15 no dispositivo para-analisador: (a) para $G_{C(mín)}$ e (b) para $G_{C(máx)}$	154
FIGURA 5.30	Resultados gráficos para o ensaio de regulação de tensão para tensão nominal em condição extrema do inversor <i>off grid</i> 02: (a) no dispositivo para-analisador e (b) ampliando a área do dispositivo para-analisador	155
FIGURA 5.31	Resultados gráficos para o ensaio de regulação de tensão para tensão nominal em condição extrema do inversor <i>off grid</i> 11: (a) no dispositivo para-analisador e (b) ampliando a área do dispositivo para-analisador	155
FIGURA 5.32	Resultados gráficos para o ensaio de regulação de tensão para tensão nominal em condição extrema dos inversores <i>off grid</i> 1 a 15 no dispositivo para-analisador: (a) para $G_{C(mín)}$ e (b) para $G_{C(máx)}$	156
FIGURA 5.33	Resultados gráficos para o ensaio de frequência para tensão nominal em condição normal do inversor <i>off grid</i> 14: (a) no dispositivo para-analisador e (b) ampliando a área do dispositivo para-analisador	157
FIGURA 5.34	Resultados gráficos para o ensaio de frequência para tensão nominal em condição normal do inversor <i>off grid</i> 09: (a) no dispositivo para-analisador e (b) ampliando a área do dispositivo para-analisador	157
FIGURA 5.35	Resultados gráficos para o ensaio de frequência para tensão nominal em condição normal dos inversores <i>off grid</i> 1 a 15 no dispositivo para-analisador: (a) para $G_{C(mín)}$ e (b) para $G_{C(máx)}$	158
FIGURA 5.36	Resultados gráficos para o ensaio de frequência para tensão nominal em condição extrema do inversor <i>off grid</i> 13: (a) no dispositivo para-analisador e (b) ampliando a área do dispositivo para-analisador	158
FIGURA 5.37	Resultados gráficos para o ensaio de frequência para tensão nominal em condição extrema do inversor <i>off grid</i> 09: (a) no dispositivo para-analisador e (b) ampliando a área do dispositivo para-analisador	159
FIGURA 5.38	Resultados gráficos para o ensaio de frequência para tensão nominal em condição extrema dos inversores <i>off grid</i> 1 a 15 no dispositivo para-analisador: (a) para $G_{C(mín)}$ e (b) para $G_{C(máx)}$	159
FIGURA 5.39	Resultados gráficos para o ensaio de sobrecarga do inversor <i>off grid</i> 15: (a) no dispositivo para-analisador e (b) ampliando a área do dispositivo para-analisador	160

FIGURA 5.40	Resultados gráficos para o ensaio de sobrecarga do inversor <i>off grid</i> 01: (a) no dispositivo para-analisador e (b) ampliando a área do dispositivo para-analisador	161
FIGURA 5.41	Resultados gráficos para o ensaio de sobrecarga dos inversores <i>off grid</i> 1 a 15: (a) no dispositivo para-analisador e (b) ampliando a área do dispositivo para-analisador	161
FIGURA 5.42	Resultados gráficos para o ensaio de proteção contra inversão de polaridade para os inversores <i>off grid</i> 1 a 15: (a) no dispositivo para-analisador e (b) ampliando a área do dispositivo para-analisador	162
FIGURA 5.43	Resultado gráfico para o ensaio de proteção contra curto-circuito para os inversores <i>off grid</i> 1 a 15: (a) no dispositivo para-analisador e (b) ampliando a área do dispositivo para-analisador	162
FIGURA 5.44	Resultados gráficos das anotações resultantes (μ_{1R} , μ_{2R}) para o menor $G_{C(min)}$ de cada ensaio dos quinze inversores <i>off grid</i> mostrada no dispositivo para-analisador	164
FIGURA 5.45	Grau de Certeza mínimo em relação ao número de inversores do ensaio de autoconsumo: (a) Distribuição de Frequência e (b) Polinômio da frequência	167
FIGURA 5.46	Grau de Certeza mínimo em relação ao número de inversores do ensaio de eficiência energética para tensão nominal em condição normal: (a) Distribuição de frequência e (b) Polinômio da frequência	167
FIGURA 5.47	Grau de Certeza mínimo em relação ao número de inversores do ensaio de distorção harmônica em condição normal: (a) Distribuição de frequência e (b) Polinômio da frequência	167
FIGURA 5.48	Grau de Certeza mínimo em relação ao número de inversores do ensaio de regulação de tensão em condição normal: (a) Distribuição de frequência e (b) Polinômio da frequência	168
FIGURA 5.49	Grau de Certeza mínimo em relação ao número de inversores do ensaio de frequência em condição normal: (a) Distribuição de frequência e (b) Polinômio da frequência	168
FIGURA 5.50	Grau de Certeza mínimo em relação ao número de inversores do ensaio de sobrecarga: (a) Distribuição de frequência e (b) Polinômio da frequência ..	168
FIGURA 5.51	Grau de Certeza mínimo em relação ao número de inversores do ensaio de proteção contra inversão de polaridade: (a) Distribuição de frequência e (b) Polinômio da frequência	169
FIGURA 5.52	Grau de Certeza mínimo em relação ao número de inversores do ensaio de proteção contra curto-circuito: (a) Distribuição de frequência e (b) Polinômio da frequência	169

FIGURA 5.53	Grau de Certeza mínimo em relação ao número de inversores do ensaio de eficiência energética para tensão nominal em condição extrema: (a) Distribuição de frequência e (b) Polinômio da frequência	169
FIGURA 5.54	Grau de Certeza mínimo em relação ao número de inversores do ensaio de distorção harmônica para tensão nominal em condição extrema: (a) Distribuição de frequência e (b) Polinômio da frequência	170
FIGURA 5.55	Grau de Certeza mínimo em relação ao número de inversores do ensaio de regulação de tensão em condição extrema: (a) Distribuição de frequência e (b) Polinômio da frequência	170
FIGURA 5.56	Grau de Certeza mínimo em relação ao número de inversores do ensaio de frequência em condição extrema: (a) Distribuição de frequência e (b) Polinômio da frequência	170

LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1	Exemplos de conversor de acordo com tipo de conversão	9
TABELA 2.2	Dados e especificações técnicas em inversores para sistema fotovoltaico ...	10
TABELA 2.3	Normas e recomendações de inversores para sistema fotovoltaico e temas correlatos	11
TABELA 2.4	A classificação dos <i>Schedules</i> por programas de etiquetagem na Índia	23
TABELA 2.5	Os requerimentos e os critérios de elegibilidade para inversores segundo o <i>Schedule 17</i>	24
TABELA 2.6	Plano de classificação por estrelas e faixa de eficiência (CC – CA) para Inversores de Estado Sólido, executado a partir de baterias de 12 V	25
TABELA 2.7	Características técnicas e limites para inversores declarados na Especificação <i>Sello Fide</i>	28
TABELA 2.8	Características de comunicação para inversores declarados na Especificação <i>Sello Fide</i>	29
TABELA 2.9	Características ambientais para inversores declarados na Especificação <i>Sello Fide</i>	29
TABELA 2.10	Modelos de inversores qualificados com o <i>Sello Fide</i>	31
TABELA 2.11	Produtos abrangidos pela regulamentação do PBE	34
TABELA 3.1	Os três princípios da lógica clássica e seus aspectos sintático e semântico .	40
TABELA 3.2	Resultados de Łukasiewicz (1910) acerca do PNC nos textos aristotélicos	44
TABELA 3.3	Artigos de Vasil'ev (1910; 1911; 1912; 1913)	45
TABELA 3.4	Publicações de Newton da Costa no período de 1953 – 1975	50
TABELA 3.5	Exemplos da transição de linguagem formal para linguagem natural	63
TABELA 3.6	Forma simbólica dos conectivos encontrados na literatura especializada em Lógica	63
TABELA 3.7	Tabela de Valores das proposições p e q de uma lógica clássica	64
TABELA 3.8	Exemplo do uso da negação para cinco estados lógicos hirtos	64
TABELA 3.9	Tabela de Valores de duas proposições p e q dos com os conectivos de conjunção, disjunção, maximizante, minimizante para os nove pontos associados aos estados lógicos hirtos	71
TABELA 3.10	Tabela de Valores de duas proposições p e q para a negação, a conjunção, a disjunção, a maximizante, a minimizante para os nove estados lógicos	

	hertos	73
TABELA 3.11	O Estado de Decisão, a região triangular limítrofe para cada estado lógico no dispositivo para-analisador, as descrições e símbolos dos doze estados lógicos da LPA Et	81
TABELA 4.1	A relação do nível de exigência com a regra de decisão	86
TABELA 4.2	Caso hipotético de uma instituição de ensino superior abrir um curso X em uma região Y com os fatores associados ao empreendimento, critérios de classificação das seções e variáveis linguísticas das seções	88
TABELA 4.3	Caso hipotético de um lançamento de um produto X em uma região Y com os fatores associados ao empreendimento, critérios de classificação das seções e variáveis linguísticas das seções	90
TABELA 4.4	Banco de dados do MPD com cinco fatores de influência, pesos por fator de influência, três seções por fator de influência e com a anotação dos graus de crença (μ_1) e de descrença (μ_2) de quatro especialistas	92
TABELA 4.5	Banco de dados para o MPD relativo ao Exemplo 4.1	93
TABELA 4.6	Banco de dados para o MPD relativo ao Exemplo 4.2	94
TABELA 4.7	Banco de dados sintetizado para o MPD relativo ao Exemplo 4.1 depois da pesquisa de campo	95
TABELA 4.8	Banco de dados sintetizado para o MPD relativo ao Exemplo 4.2 depois da pesquisa de campo	96
TABELA 4.9	Anotações resultantes do Exemplo 4.1	99
TABELA 4.10	Fatores de influência por anotações resultantes do Exemplo 4.1	99
TABELA 4.11	Anotações resultantes do Exemplo 4.2	101
TABELA 4.12	Fatores de influência por anotações resultantes do Exemplo 4.2	101
TABELA 4.13	Resultados dos cálculos efetuados para o Grau de Certeza (G_C) e o Grau de Incerteza (G_I) para cada fator de influência do Exemplo 4.1	103
TABELA 4.14	Resultados dos cálculos efetuados para o Grau de Certeza (G_C) e o Grau de Incerteza (G_I) para cada fator de influência do Exemplo 4.2	104
TABELA 4.15	Síntese das responsabilidades do Engenheiro do Conhecimento (EC) em relação a cada etapa do Método Paraconsistente de Decisão	108
TABELA 5.1	Tipo e nome dos ensaios em inversores <i>off grid</i>	114
TABELA 5.2	Relação de pertinência entre fator de influência e proposições nos inversores <i>off grid</i>	115
TABELA 5.3	Medidas da tensão e corrente de entrada no inversor off grid sem carga	116

TABELA 5.4	Medidas da THD, da tensão de saída e da frequência e o cálculo da eficiência energética	117
TABELA 5.5	Proposições do ensaio de sobrecarga e sua linguagem natural	119
TABELA 5.6	Faixas aplicadas às tensões nominais inferiores a 1kV pelo Módulo 8 do PRODIST	124
TABELA 5.7	Classificação dos ensaios em inversores <i>off grid</i> em relação aos três critérios de viabilidade	125
TABELA 5.8	Os três critérios de viabilidade e o GC correspondente nos intervalos limítrofes de Y_{med}	135
TABELA 5.9	Representação matricial do banco de dados do inversor <i>off grid</i>	137
TABELA 5.10	Nome do ensaio de inversores <i>off grid</i> descrito na Portaria INMETRO 004/2011 em relação à ordem do ensaio mais crítico e apresentação do menor $G_{C(min)}$	165
TABELA 5.11	Os quinze inversores <i>off grid</i> avaliados e o Grau de Certeza mínimo por ensaio	166

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABEER	ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE ENERGIA RENOVÁVEL
ABILUX	ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ILUMINAÇÃO
ABNT	ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS
ABRAVA	ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE REFRIGERAÇÃO, AR-CONDICIONADO, VENTILAÇÃO E AQUECIMENTO
ADEME	<i>AGENCE DE L'ENVIRONNEMENT ET LA MAÎTRISE DE L'ÉNERGIE</i>
AEE	<i>AGENCE POUR LES ÉCONOMIES D'ÉNERGIE</i>
AFME	<i>AGENCE FRANÇAISE POUR LA MAÎTRISE DE L'ÉNERGIE</i>
AMCP	AVALIAÇÃO DE MANUTENÇÃO DA CONFORMIDADE DO PRODUTO
ANEEL	AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA
ASHRAE	<i>AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS</i>
BEE	<i>BUREAU OF ENERGY EFFICIENCY [MINISTRY OF POWER, GOVT. OF INDIA]</i>
BEN	BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL
BIPM	<i>BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES</i>
BIS	<i>BUREAU OF INDIAN STANDARDS</i>
CANACINTRA	<i>CÁMARA NACIONAL DE LA INDUSTRIA DE LA TRANSFORMACIÓN</i>
CANAME	<i>CÁMARA NACIONAL DE MANUFACTURAS ELÉCTRICAS</i>
CEE	COEFICIENTE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA
CEPAL	<i>COMISIÓN ECONÓMICA PARA LA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE</i>
CFE	<i>CÓMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD</i>
CLASP	<i>COLLABORATIVE LABELING AND APPLIANCE STANDARDS PROGRAM</i>
CMIC	<i>CÁMARA MEXICANA DE LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN</i>
CNEC	<i>CÁMARA NACIONAL DE EMPRESAS DE CONSULTORÍA</i>
CONAE	<i>COMISIÓN NACIONAL PARA EL AHORRO DE ENERGÍA</i>
CONCAMIN	<i>CONFEDERACIÓN DE CÁMARAS INDUSTRIALES DE LOS ESTADOS UNIDOS MEXICANOS</i>

CONMETRO	CONSELHO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL
CONPET	PROGRAMA NACIONAL DA RACIONALIZAÇÃO DO USO DE DERIVADOS DO PETRÓLEO E DO GÁS NATURAL
CONUEE	<i>COMISIÓN NACIONAL PARA EL USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA</i>
CUREN	<i>PROGRAMA DE CONSERVACIÓN Y USO RACIONAL DE LA ENERGÍA</i>
DIPAC	DIVISÃO DE PROGRAMAS DE AVALIAÇÃO DA CONFORMIDADE - INMETRO
DOE	<i>DEPARTMENT OF ENERGY - USA</i>
DQUAL	DIRETORIA DE QUALIDADE - INMETRO
EDUCAREE	<i>EDUCACIÓN PARA EL USO RACIONAL Y AHORRO DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA</i>
EEAP	<i>ENERGY EFFICIENCY ACTION PLAN</i>
EECJ	<i>ENERGY CONSERVATION CENTER OF JAPAN</i>
ELETROBRAS	CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS S.A.
EMC	COMPATIBILIDADE ELETROMAGNÉTICA
ENCE	ETIQUETA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA
EPA	<i>ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY</i>
EST	<i>ENERGY SAVING TRUST</i>
EVO	<i>EFFICIENCY VALUATION ORGANIZATION</i>
FIDE	<i>FIDEICOMISO PARA EL AHORRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA</i>
FM	<i>FRONIUS MÉXICO</i>
GD	GERAÇÃO DISTRIBUÍDA
GEE	GASES DE EFEITO ESTUFA
GUM	GUIA DE EXPRESSÃO DA INCERTEZA DE MEDIÇÃO
IBGE	INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA
IDEA	<i>INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y AHORRO DE LA ENERGÍA</i>
IDEC	<i>INSTITUTO DE DEFESA DO CONSUMIDOR</i>
IEA	<i>INTERNATIONAL ENERGY AGENCY</i>
IEC	<i>INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION</i>
IEEE	<i>INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS</i>

IFCC	<i>INTERNATIONAL FEDERATION OF CLINICAL CHEMISTRY AND LABORATORY MEDICINE</i>
ILAC	<i>INTERNATIONAL LABORATORY ACCREDITATION COOPERATION</i>
IME	INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA
IMEE	ÍNDICES MÍNIMOS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA
INMETRO	INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA
ISF	INVERSOR PARA SISTEMAS DE FOTOVOLTAICOS
ISO	<i>INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION</i>
IUPAC	<i>INTERNATIONAL UNION OF PURE AND APPLIED CHEMISTRY</i>
IUPAP	<i>INTERNATIONAL UNION OF PURE AND APPLIED PHYSICS</i>
LP	LÓGICA PARACONSISTENTE
LPA	LÓGICA PARACONSISTENTE ANOTADA
LPA E τ	LÓGICA PARACONSISTENTE ANOTADA EVIDENCIAL τ
MAB	MÉTODO DE ANÁLISE DO BARICENTRO
MCT	MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA - BRASIL
MDIC	MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR
MED	MÉTODO ESTATÍSTICO DE DECISÃO
MME	MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - BRASIL
MMQ	MÉTODO DOS MÍNIMOS QUADRADOS
MPD	MÉTODO PARACONSISTENTE DE DECISÃO
MPDM	MÉTODO PARACONSISTENTE DE DECISÃO MODIFICADO
NAFIN	NACIONAL FINANCEIRA, S.N.C.
OIML	<i>INTERNATIONAL ORGANIZATION OF LEGAL METROLOGY</i>
P&D	PESQUISA E DESENVOLVIMENTO
PBE	PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM
PEE	PROGRAMAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA
PET	PLANILHA DE ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA
PIA	PESQUISA INDUSTRIAL ANUAL
PIMVP	PROTOCOLO INTERNACIONAL DE MEDIÇÃO E VERIFICAÇÃO DE PERFORMANCE

PNAD	PESQUISA NACIONAL PRO AMOSTRA DE DOMICÍLIOS
PNAEE	<i>PREMIO NACIONAL DE AHORRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA</i>
PROCEL	PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA
PRODIST	PROCEDIMENTOS DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO SISTEMA ELÉTRICO NACIONAL
PROURE	<i>PROGRAMA NACIONAL DE USO RACIONAL Y EFICIENTE DE LA ENERGÍA</i>
PV	<i>PHOTOVOLTAIC SYSTEM</i>
QUPC	QUADRADO UNITÁRIO DO PLANO CARTESIANO
RAC	REQUISITOS DE AVALIAÇÃO DA CONFORMIDADE
RDP	REDUÇÃO DE DEMANDA DA PONTA
STA	<i>SOLAREVER TECNOLOGÍA DE AMÉRICA</i>
SUTERM	SINDICATO ÚNICO DE TRABAJADORES ELECTRICISTAS DE LA REPÚBLICA MEXICANA
UFRGS	UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
UFRJ	UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
UFSC	UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
UNCTAD	<i>UNITED NATIONS CONFERENCE TRADE AND DEVELOPMENT</i>
UNICAMP	UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
UNIFEI	UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
USP	UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
VIM	VOCABULÁRIO INTERNACIONAL DE TERMOS FUNDAMENTAIS E GERAIS DE METROLOGIA

LISTA DE SÍMBOLOS

$\wedge$	OPERADOR LÓGICO DA CONJUNÇÃO
$\vee$	OPERADOR LÓGICO DISJUNÇÃO
$\rightarrow$	OPERADOR LÓGICO DA CONDICIONAL – IMPLICAÇÃO MATERIAL
$\leftrightarrow$	OPERADOR LÓGICO DA BICONDICIONAL – BI-IMPLICAÇÃO
$\top$	INCONSISTENTE
$\top \rightarrow F$	INCONSISTENTE TENDENDO AO FALSO
$\top \rightarrow V$	INCONSISTENTE TENDENDO AO VERDADEIRO
$\perp$	PARACOMPLETO
$\perp \rightarrow F$	PARACOMPLETO TENDENDO AO FALSO
$\perp \rightarrow V$	PARACOMPLETO TENDENDO AO VERDADEIRO
$\neg$	OPERADOR LÓGICO DA NEGAÇÃO
AND	OPERADOR LÓGICO AND
F	FALSO
$F \rightarrow \top$	FALSO TENDENDO AO INCONSISTENTE
$F \rightarrow \perp$	FALSO TENDENDO AO PARACOMPLETO
$G_{\top}$	GRAU DE INCONSISTÊNCIA
$G_{\perp}$	GRAU DE PARACOMpleteza
G_C	GRAU DE CERTEZA
$G_{C(\min)}$	GRAU DE CERTEZA MÍNIMO
$G_{C(\max)}$	GRAU DE CERTEZA MÁXIMO
G_D	GRAU DE DETERMINAÇÃO
G_F	GRAU DE FALSIDADE
G_I	GRAU DE INCERTEZA
G_V	GRAU DE VERDADE
I	INDEFINIDO
MÁX	OPERADOR LÓGICO DO MAXIMIZANTE

MÍN	OPERADOR LÓGICO DO MINIMIZANTE
NE	NÍVEL DE EXIGÊNCIA
OR	OPERADOR LÓGICO OR
p	PROPOSIÇÃO ATÔMICA p
q	PROPOSIÇÃO ATÔMICA q
qF	QUASE FALSO
$qF \rightarrow \top$	QUASE FALSO TENDENDO AO INCONSISTENTE
$qF \rightarrow \perp$	QUASE FALSO TENDENDO AO PARACOMPLETO
qV	QUASE VERDADEIRO
$qV \rightarrow \top$	QUASE VERDADEIRO TENDENDO AO INCONSISTENTE
$qV \rightarrow \perp$	QUASE VERDADEIRO TENDENDO AO PARACOMPLETO
V	VERDADEIRO
$V \rightarrow \top$	VERDADEIRO TENDENDO AO INCONSISTENTE
$V \rightarrow \perp$	VERDADEIRO TENDENDO AO PARACOMPLETO
V_{CF}	VALOR DE CONTROLE DE FALSIDADE
V_{CI}	VALOR DE CONTROLE DE INCONSISTÊNCIA
V_{CP}	VALOR DE CONTROLE DE PARACOMpleteza
V_{CV}	VALOR DE CONTROLE DE VERACIDADE
V_I	VALOR LÓGICO OU VALORAÇÃO
V_{icc}	VALOR INFERIOR DE CONTROLE DE CERTEZA
V_{ici}	VALOR INFERIOR DE CONTROLE DE INCERTEZA
V_{scc}	VALOR SUPERIOR DE CONTROLE DE CERTEZA
V_{sci}	VALOR SUPERIOR DE CONTROLE DE INCERTEZA
μ_1	GRAU DE CRENÇA OU GRAU DE EVIDÊNCIA FAVORÁVEL
μ_{1R}	GRAU DE CRENÇA RESULTANTE
μ_2	GRAU DE DESCRENÇA OU GRAU DE EVIDÊNCIA CONTRÁRIA
μ_{2R}	GRAU DE DESCRENÇA RESULTANTE

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Considerações iniciais	1
1.2. Objetivos	2
1.3. Delimitações do tema	3
1.4. Metodologia	3
1.5. Estrutura da dissertação	4
2. SOBRE O INVERSOR PARA SISTEMA FOTOVOLTAICO	7
2.1. Considerações iniciais	7
2.2. Conversores Estáticos	7
2.2.1. Características técnicas do inversor para sistema fotovoltaico	9
2.2.2. Tipos de inversor para sistema fotovoltaico	12
2.2.3. A Eficiência de Conversão CC/CA do inversor para sistema fotovoltaico	14
2.3. Programa de etiquetagem em inversores no contexto mundial	19
2.3.1. Programa de etiquetagem em inversores na Alemanha	20
2.3.2. Programa de etiquetagem em inversores na Índia	21
2.3.3. Programa de etiquetagem em inversores no México	26
2.4. Programa de etiquetagem em inversores no contexto nacional	32
2.4.1. Programa Brasileiro de Etiquetagem	33
2.4.2. Selo Procel	35
2.5. Considerações finais	36
3. SOBRE A LÓGICA PARACONSISTENTE ANOTADA EVIDENCIAL $E\tau$	37
3.1. Considerações iniciais	37
3.2. Notas fundamentais da Lógica Paraconsistente	38
3.3. Da LP à LPA $E\tau$	42
3.3.1. A gestação: 1910 - 1963	42
3.3.2. O nascimento e a infância: 1963 - 1976	48
3.3.3. O batismo e a adolescência: 1976 – 1991	56
3.3.4. A idade da razão: a partir de 1991	57
3.4. Lógica Paraconsistente Anotada Evidencial $E\tau$	60
3.4.1. Conectivos	62
3.4.2. Tabela de Valores com nove estados lógicos hirtos	70
3.4.3. O reticulado τ das anotações	74
3.4.4. QUPC associado à LPA $E\tau$	76
3.5. Considerações finais	82
4. SOBRE O MÉTODO PARACONSISTENTE DE DECISÃO	84
4.1. Considerações iniciais	84
4.2. Pré-processamento do MPD	85
4.2.1. Etapa 1 – Estabelecer o nível de exigência	86
4.2.2. Etapa 2 – Pesquisar os fatores de influência	87
4.2.3. Etapa 3 – Estabelecer as seções dos fatores de influência	88
4.2.4. Etapa 4 – Construir o banco de dados	91
4.2.5. Etapa 5 – Validar pertinência dos dados por meio de pesquisa de campo	95
4.3. Processamento do MPD	96
4.3.1. Etapa 6 – Calcular as anotações resultantes	96
4.3.2. Etapa 7 – Calcular a anotação do baricentro	101
4.4. Pós-processamento do MPD	105
4.4.1. Etapa 8 – Interpretar os resultados no dispositivo para-analisador	106
4.4.2. Etapa 9 - Aplicar o critério de tomada de decisão	107
4.5. Considerações finais	108
5. SOBRE O MPDM PARA INVERSORES <i>OFF GRID</i>	111
5.1. Considerações iniciais	111

5.2. Pré-processamento	112
5.2.1. Fatores de influência dos inversores <i>off grid</i>	114
5.2.1.1. Autoconsumo	116
5.2.1.2. Eficiência energética, distorção harmônica, regulação de tensão e frequência	117
5.2.1.3. Sobrecarga	119
5.2.1.4. Proteção contra inversão de polaridade	120
5.2.1.5. Proteção contra curto-circuito na saída	120
5.2.1.6. Eficiência energética, distorção harmônica, regulação de tensão e frequência em ambiente a 40°C	120
5.2.2. Seções de influência dos inversores <i>off grid</i>	121
5.2.3. Critério de viabilidade para os ensaios de conformidade	122
5.2.4. Erros aleatórios e sistemáticos	125
5.2.5. Cálculos de μ_1 e μ_2	133
5.2.6. Pesos de $F_{\square}$ ($P_{\square}$)	136
5.2.7. Banco de dados dos inversores <i>off grid</i>	136
5.3. Processamento	137
5.3.1. As anotações para estudo de viabilidade por ensaio	140
5.3.1.1. Resultados do ensaio de autoconsumo	142
5.3.1.2. Resultados do ensaio de eficiência energética	145
5.3.1.3. Resultados do ensaio de distorção harmônica	150
5.3.1.4. Resultados do ensaio de regulação de tensão	153
5.3.1.5. Resultados do ensaio de frequência	156
5.3.1.6. Resultados do ensaio de sobrecarga	160
5.3.1.7. Resultados do ensaio de proteção	162
5.3.2. As anotações resultantes para o estudo de viabilidade	163
5.4. Pós-processamento	165
5.5. Considerações finais	171
6. CONCLUSÃO	173
7. REFERÊNCIAS	176
7.1. Referências sobre inversores para sistemas fotovoltaicos	176
7.2. Referências sobre lógica	179
7.3. Referências sobre assunto geral	188

1. Introdução

1.1. Considerações iniciais

Os desafios mundiais acerca do abastecimento energético sustentável têm sido tema em voga nos debates internacionais. Otimizar o uso dos recursos energéticos é o contexto da “fonte energética oculta” (cf. NOGUEIRA, 2007), tema este, que o Brasil tem se destacado ao longo dos anos por meio das ações energéticas do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel).

O Procel, coordenado pelo Ministério de Minas e Energia (MME) e sob a gestão das Centrais Elétricas Brasileiras (Eletrobras), é um Programa do Governo Federal criado em 30 de dezembro de 1985 com a finalidade de atuar como facilitador de uma rede de conhecimento, fomento e inovação em eficiência energética. O Procel transmite as informações de uso eficiente da energia para a sociedade brasileira por meio do seu principal produto: o Selo Procel de Economia de Energia, ou simplesmente, Selo Procel. Este tem a função principal de identificar os equipamentos com os melhores níveis de eficiência energética e apresentá-los ao mercado consumidor, por meio de uma *etiqueta de endosso*¹. Dessa forma, o Selo Procel contribui em duas vertentes da conservação de energia, a saber: (1) a tecnológica – novas tecnologias e processos mais eficientes e (2) a social – mudança de comportamento.

A Eletrobras tem estudado as demandas governamentais de inclusão de novos equipamentos no portfólio do Selo Procel. Em 2015, o Selo Procel contava com 39 categorias de equipamentos com a participação de 190 fornecedores e 3.640 modelos diferentes (ELETROBRAS, 2016).

Seguindo essa prática, a Eletrobras está analisando a viabilidade de concessão do Selo Procel Eletrobras para os seguintes equipamentos: ferros de passar roupas, relés fotocontroladores e dispositivos *Set Top Box*. Já os Inversores para Sistemas Fotovoltaicos (ISFs) é uma demanda pretendida da Eletrobras e este tem sido o objeto de estudo desta

¹ Há três tipos de etiquetas de eficiência energética em uso no mercado: (1) *contínua* – indica o valor do consumo de energia elétrica de um equipamento em um determinado período (dia, mês ou ano) (CLASP, 2008); (2) *categoria* – informa a eficiência dos equipamentos por faixa de consumo, como por exemplo, as etiquetas de eficiência energética por categoria do mercado europeu (cf. EUROPEAN COMMISSION ENERGY, 2013) e a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) do Programa Brasileiro de Etiquetagem (cf. INMETRO, 2015) e (3) *endosso* – fornece informação de credibilidade ao consumidor, como por exemplo, a Etiqueta da *Energy Star* (cf. CLASP, 2008) e o Selo Procel (cf. ELETROBRAS, 2016).

dissertação, considerando que está em trâmite² os “Requisitos de Avaliação da Conformidade para Sistemas e Equipamentos para Energia Fotovoltaica (Módulo, Controlador, Inversor e Bateria)” anexo a redação dada pela Portaria INMETRO n.º 357 de 1 de agosto de 2014 (INMETRO, 2014). Com isso, uma ferramenta de tomada de decisão confiável com base nas informações ofertadas pelos diversos parceiros da Eletrobras (i.e universidades, laboratórios, associações de fabricantes etc.) é oportuna para Eletrobras e interessante para as instituições acadêmicas. Porém, como elaborar um método de tomada de decisão que contemple as opiniões de especialistas com perspectivas técnicas-laboratoriais e de mercado (às vezes, paradoxais)? Uma resposta preliminar (hipótese central) é: se existe uma lógica que trabalha com opiniões paradoxais, então pode existir um método de tomada de decisão fundamentado nessa lógica; e se existe como compatibilizar as opiniões dos especialistas parceiros da Eletrobras com esse método, então pode existir um método de tomada de decisão que satisfaça os interesses da Eletrobras. Sendo assim, o Método Paraconsistente de Decisão (MPD) sugerido por F. R. de Carvalho (2002), fundamento na Lógica Paraconsistente Anotada (DA COSTA; ABE; SUBRAHMANYAN, 1991), torna-se uma ferramenta interessante para responder essa questão norteadora.

1.2. Objetivos

O objetivo geral desta dissertação é oferecer uma metodologia baseada na LPA Et que auxilie no estudo de viabilidade técnica por meio de relatórios de avaliação da conformidade de equipamentos (e.g. inversores *off grid*) para o portfólio do Selo Procel. Para alcançar o objetivo geral, são apresentados quatro objetivos específicos, a saber: (1) evidenciar as características técnicas e normativas dos ISFs a fim de levantar os fatores de avaliação da conformidade para o cálculo de viabilidade do Método Paraconsistente de Decisão Modificado (MPDM); (2) introduzir os conceitos fundamentais da Lógica Paraconsistente Anotada Evidencial Et (LPA Et) a fim de compreender o funcionamento das operações básicas do MPD; (3) descrever os procedimentos essenciais do MPD a fim de conhecer as etapas de pré-processamento, de processamento e de pós-processamento como forma de avaliar os resultados obtidos e (4) apresentar os procedimentos do MPD modificado para o inversor *off grid* e os resultados obtidos

² Em 2015, os Requisitos de Avaliação da Conformidade (RAC) para Sistemas e Equipamentos para Energia Fotovoltaica estavam em consulta pública por meio da Portaria Inmetro nº 240/ 2015.

1.3. Delimitações

O objeto do estudo desta dissertação é o Inversor para Sistema Fotovoltaico Autônomo (i.e. ISFA ou também conhecido como inversor *off grid*). De modo análogo, o Inversor para Sistema Fotovoltaico conectado à rede elétrica (i.e. ISFR ou também conhecido como inversor *on grid* ou inversor *grid-tie*) pode ser avaliado com a metodologia adotada. Todavia, ainda há debates acerca do número de ensaios³ a ser realizados no ISFR no Grupo de Trabalho de Fotovoltaica (GT-FOT) está em tramitações. Por este motivo de indefinição dos ensaios, não foi implementado o módulo da Interface Gráfico Usuário do inversor *on grid* na ferramenta computacional⁴.

Os dados técnicos dos inversores *off grid* avaliados estão alinhados com os Requisitos de Avaliação da Conformidade (RAC), que se encontram nos anexos de duas portarias, a saber: (1) o texto fundamental é dado pela redação “Anexo III da Portaria INMETRO nº 004/2011, de 4 de janeiro de 2011” (INMETRO, 2011) e (2) a redação retificando algumas partes da portaria supramencionada pelo “Anexo III da Portaria INMETRO nº 357, de 1 de agosto de 2014” (INMETRO, 2014).

1.4. Metodologia

A fim de alcançar o objetivo descrito na seção (1.2), é empregado nesta dissertação o método sugerido por F. R. de Carvalho na sua tese doutoral (CARVALHO, 2006) e observado em outras publicações (DE CARVALHO 2002; DE CARVALHO; BRUNSTEIN; ABE, 2003; DE CARVALHO; ABE, 2011), ou seja, o Método Paraconsistente de Decisão (MPD), que está fundamentado na Lógica Paraconsistente Anotada Evidencial $E\tau$ - LPA $E\tau$ (cf. ABE, 1992). Esta lógica heterodoxa foi idealizada e axiomatizada para cálculos proposicionais (LPA $P\tau$) e para cálculos de predicados (LPA $Q\tau$). Os conceitos da LPA foram publicados no periódico *Zeitschrift für Mathematische Logik und Grundlagen der Mathematik* (DA COSTA; SUBRAHMANIAN; VAGO, 1991; DA COSTA; ABE; SUBRAHMANIAN, 1991).

³ No Anexo III da Portaria INMETRO nº 357/2014, constam 17 ensaios para os inversores *on grid*. Na reunião dos especialistas do GT-FOT do dia 28 de janeiro de 2016 ocorrida nas dependências da sede do INMETRO, colocaram-se em discussão mais três ensaios, totalizando 20 ensaios. O texto está em análise pelo INMETRO.

⁴ O autor desta dissertação está implementando em versão ainda preliminar uma ferramenta computacional com GUIDE na plataforma MATLAB R14 (versão 7.0) para estudo de viabilidade de equipamentos utilizando relatórios da avaliação de conformidade sob a égide da Eletrobras. Este programa computacional é denominado CONFORME e o módulo da Interface Gráfico Usuário de inversores *off grid* é apresentado parcialmente na seção primária (5) sob o título: "5. Sobre o MPDM para inversores *off grid*".

Uma contribuição desta dissertação é adotar o MPD de forma compatível para o estudo de equipamentos para o Selo Procel (no caso em pauta, o inversor *off grid*). A esta adequação do MPD é denominada nesta dissertação de Método Paraconsistente de Decisão Modificado (MPDM). Para isso, dividiu-se em três etapas: (1) pré-processamento, (2) processamento e (3) pós-processamento. A etapa de pré-processamento do MPDM é iniciada com a leitura de um arquivo de dados ".m", que é uma extensão de edição de programas computacionais do MATLAB (cf. CHAPMAN, 2003). Desse modo, a ferramenta computacional faz a leitura dos dados para cada inversor em um padrão idealizado pelo autor e amigável para o usuário até a formação do banco de dados. Já na etapa de processamento, são efetuados os cálculos das anotações com operadores lógicos MÍN e MÁX empregados na LPA Et. E por último, a etapa de pós-processamento que interpreta os resultados gráficos no dispositivo para-analisador e apontam para novos estudos após a execução dos dados processados, como por exemplo, a identificação da curva de distribuição de frequência (e.g. Grau de Certeza mínimo x número de inversores) e o cálculo de novos critérios para o Regulamento Específico do Selo Procel do equipamento avaliado.

1.5. Estrutura da dissertação

Esta dissertação está dividida em oito seções primárias, a saber: uma introdução, quatro capítulos, uma conclusão e um elemento pós-textual, ou seja, as referências.

Na seção primária (1) denominada “1. Introdução”, são descritos os elementos essenciais desta dissertação, ou seja: as considerações iniciais (1.1), os objetivos (1.2), as delimitações (1.3), a metodologia (1.4) e a estrutura da dissertação (1.5).

Na seção primária (2) desta dissertação, ou seja, no primeiro capítulo, sob o título “2. Sobre os Inversores para Sistema Fotovoltaico”, são apresentados dois objetivos específicos, a saber: as características técnicas e normativas em relação à avaliação da conformidade de ISF e o estado da arte dos programas de etiquetagem em inversores no contexto internacional e nacional. Para isso, três seções foram escritas a fim de alcançar os dois objetivos específicos mencionados. Na seção (2.2), a partir do conceito de conversor estático, um termo geral, classifica-se o objeto específico de estudo – o inversor, que é definido como um conversor estático CC/CA. Neste contexto, são introduzidos os tipos de conexão e as características técnicas (e.g. dados de entrada, dados de saída, dados gerais e dados de segurança do ISF) desejáveis para um inversor de uso dedicado, isto é, o Inversor para Sistema Fotovoltaico. Já

na seção (2.3), são apresentadas as experiências de programas de etiquetagem no contexto mundial. Tal apresentação se concentra em três programas de etiquetagem existentes dentro do contexto alemão, indiano e mexicano. A seção (2.4), por sua vez, descreve o estado da arte das ações dos programas nacionais, ou seja, o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) e o Selo Procel. Finaliza na seção (2.5) com as considerações finais do capítulo 2.

Na seção (3), que é o segundo capítulo, sob o título “3. Sobre a Lógica Paraconsistente Anotada Evidencial $E\tau$ ”, é apresentado um panorama histórico sobre a sistematização do Princípio da Não Contradição (PNC) até o surgimento da Lógica Paraconsistente (LP) e, principalmente, as primeiras publicações sobre a Lógica Paraconsistente Anotada (LPA) são mencionadas. A abordagem de Haack (2002) é mencionada com a finalidade de expor a formulação do aparato lógico clássico e as solicitações por melhora do formalismo clássico, da ampliação por meio de lógicas alternativas ou substituição deste aparato clássico por lógicas não clássicas. No seio deste debate, observa-se a aparição da Lógica Paraconsistente Anotada Evidencial $E\tau$ (LPA $E\tau$) e suas características essenciais para a interpretação do Método Paraconsistente de Decisão (MPD). Para alcançar a finalidade deste capítulo, foram elaboradas além dessa seção introdutória (3.1) mais quatro seções secundárias de desenvolvimento, a saber: (3.2) Notas fundamentais da Lógica Paraconsistente; (3.3) Da LP à LPA $E\tau$; (3.4) Lógica Paraconsistente Anotada Evidencial $E\tau$; (3.5) Considerações finais.

Na seção primária (4), ou seja, o terceiro capítulo, sob o título “4. Sobre o Método Paraconsistente de Decisão”, são abordadas as etapas do Método Paraconsistente de Decisão (DE CARVALHO, 2002, 2003, 2006, DE CARVALHO; ABE, 2011). A fim de organizar a apresentação do método mencionado, optou-se por dividir esse capítulo em quatro seções secundárias, a saber: (4.2) Pré-Processamento, (4.3) Processamento e (4.4) Pós-Processamento e (4.5) Considerações finais.

Na seção primária (5), isto é, o quarto capítulo, sob o título “5. Sobre a MPDM para inversores *off grid*”, é apresentado o cotejamento do Método Paraconsistente de Decisão Modificado (MPDM) com o módulo de inversores *off grid* do CONFORME. Para isso, apresentaram-se as considerações iniciais na seção (5.1) e os três procedimentos do MPD, que são as seções secundárias: (5.2) Pré-processamento, (5.3) Processamento e (5.4) Pós-processamento. Na seção secundária (5.5) são feitas as considerações finais deste capítulo.

Na seção primária (6), sob o título “Conclusão”, são feitas as considerações finais desta dissertação como também as propostas para futuras pesquisas.

Na seção primária (7), são encontradas as referências, que estão em ordem alfabética para eventuais consultas e pesquisas. O autor dividiu este elemento pós-textual em três seções com a finalidade de agrupar de acordo com a área do conhecimento, ou seja: em (7.1) as referências de inversores e assuntos correlatos; em (7.2) as referências de lógica e assuntos correlatos e em (7.3) as referências gerais.

2. Sobre o Inversor para Sistema Fotovoltaico

2.1. Considerações iniciais

Neste capítulo sob o título “Sobre o Inversor para Sistema Fotovoltaico”, são apresentados dois objetivos específicos, a saber: as características técnicas e normativas associadas ao Inversor para Sistema Fotovoltaico (ISF) e o estado da arte dos programas de etiquetagem em inversores no contexto internacional e nacional.

Para isso, foi estruturado este capítulo em três seções a fim de responder aos dois objetivos específicos supracitados. Na primeira seção (2.2), a partir do conceito de conversor estático, um termo geral, classifica-se o objeto específico de estudo – o inversor, que é definido, nesta dissertação, como um conversor estático CC/CA. Nesse contexto, são introduzidos os tipos de conexão e as características técnicas (e.g. dados de entrada, dados de saída, dados gerais e dados de segurança do ISF) para um inversor de uso dedicado, isto é, o Inversor para Sistema Fotovoltaico. Já na segunda seção (2.3), são apresentadas as experiências de programas de etiquetagem no contexto mundial. Tal apresentação se concentra em três programas de etiquetagem existentes dentro do contexto alemão, indiano e mexicano. A última seção deste capítulo (2.4), por sua vez, descreve o estado da arte das ações dos programas nacionais, ou seja, o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) e o Selo Procel.

2.2. Conversores estáticos

Os dispositivos, máquinas ou sistemas capazes de modificar os atributos da energia elétrica a fim de alimentar uma determinada carga ou consumidor são denominados conversores. São estáticos⁵, quando a conversão de energia se dá por meio de dispositivos elétricos (e.g. transformador⁶ – cf. Figura 2.1a) ou eletrônicos⁷ (e.g. circuitos de eletrônica de

⁵ O IEEE Std. 100-1996 definiu conversor estático como: “A unit that employs static rectifier devices such semiconductor rectifiers or thyristor, transistors, electron tubes, or magnetic amplifiers to change AC power to DC power and vice versa” - RADATZ, Jane (org.). *The IEEE Standard Dictionary of Electrical and Electronics Terms* [IEEE Std. 100-1996], vol. 100, 1996

⁶ Para informações técnicas sobre transformadores, recomenda-se a referência: WEG. *Sítio da WEG: Home / Produtos e Serviços / Transformadores*. Última atualização: 2015. Disponível em: <<http://www.weg.net/br/Produtos-e-Servicos/Geracao-Transmissao-e-Distribuicao-de-Energia/Transformadores>>. Acesso em: 16 mar. 2015.

⁷ cf. Para informações técnicas dedicadas aos dispositivos eletrônicos para conversão de energia elétrica, sugere-se a referência: WEG. *Sítio da WEG: Home / Produtos e Serviços / Drives*. Última atualização: 2015. Disponível em: <<http://www.weg.net/br/Produtos-e-Servicos/Drives>>. Acesso em: 16 mar. 2015.

potência – cf. Figura 2.1b) sem parte móvel. Em contrapartida, chamam-se de conversores rotativos, quando se faz uso de parte móvel no processo da conversão de energia elétrica, como, por exemplo, em uma associação de duas máquinas elétricas⁸ rotativas acopladas (cf. Figura 2.2).



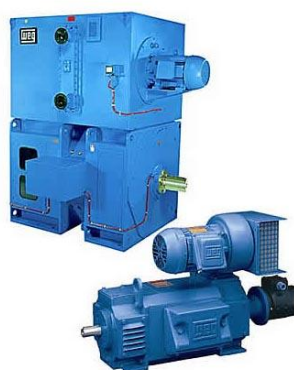
(a)



(b)

Figura 2.1 – Exemplos de conversores estáticos: (a) Transformador de distribuição e (b) Conversores estáticos utilizando eletrônica de potência.

Fonte: WEG (2015a) e WEG, (2015b).



(a)



(b)

Figura 2.2 – Exemplos de conversores rotativos: (a) máquinas cc acopladas e (b) visão explodida de uma máquina cc acoplada

Fonte: WEG, 2012.

⁸ cf. WEG. *Manual de Instalação, Operação e Manutenção: Motores de corrente contínua – Linha D*. Número do Documento; 10218369. 6ª revisão. Julho de 2012. Disponível em: <<http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-motor-de-corrente-continua-10218369-manual-portugues-br.pdf>>. Acesso em: 16 mar. 2015.

Na Tabela 2.1, são mostrados os nomes dados aos conversores em relação ao tipo de conversão de energia elétrica.

Tabela 2.1 – Exemplos de conversor de acordo com tipo de conversão.

Exemplos de Conversor	Tipo de Conversão
<i>Buck / Boost / Buck-Boost / Flyback / Zeta / SEPIC / Ćuk</i>	CC (tensão fixa) para CC (tensão variável)
Controladores de Tensão CA	CA (tensão fixa) para CA (tensão variável)
Retificadores	CA para CC
Inversores	CC para CA
Cicloconversores	CA (frequência fixa) para CA (frequência e tensão variáveis)

Fonte: Elaboração própria.

É digno de registro o item 3.8 da norma ABNT NBR 16.149 (2013), onde se define o verbete inversor [i. e. o inversor conectado à rede elétrica] como: “conversor estático de potência que converte a corrente contínua do gerador fotovoltaico em corrente alternada apropriada para a utilização pela rede elétrica” (ABNT, 2013). De forma semelhante, a mesma norma define sistema fotovoltaico como:

[...] conjunto de elementos composto de gerador fotovoltaico, podendo incluir inversores, controladores de carga, dispositivos para controle, supervisão e proteção, armazenamento de energia elétrica, fiação, fundação e estrutura de suporte (ABNT, 2013).

2.2.1. Características técnicas do inversor para sistema fotovoltaico

Os inversores solares fotovoltaicos ou os inversores para sistema fotovoltaico (ISFs) podem se dividir em dois grupos: autônomos (ing. *off grid*) ou conectados à rede elétrica (ing. *on-grid* ou *grid tie*). Os sistemas fotovoltaicos autônomos, geralmente, são compostos de quatro equipamentos, a saber: módulos (i.e. painéis fotovoltaicos), inversor para sistema fotovoltaico autônomo, baterias e o controlador de carga. Já os sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica necessitam de dois equipamentos, a saber: os módulos (i.e. painéis fotovoltaicos) e o inversor para sistema fotovoltaico ligado à rede elétrica (ISFR).

Para que se estabeleçam as características do objeto de estudo, duas pesquisas foram elaboradas. A primeira se concentrou nos dados técnicos do inversor. Esta foi feita por meio de consulta aos manuais de diversos fabricantes de ISFs e resultou no agrupamento em quatro categorias: (1) dados de entrada; (2) dados de saída; (3) dados gerais e (4) dados de segurança.

Na Tabela 2.2, são mostrados os dados mencionados relacionados com algumas especificações técnicas do ISF.

Tabela 2.2 – Dados e especificações técnicas em inversores para sistema fotovoltaico.

Dados Técnicos	Especificação Técnica [Unidade]
Dados de entrada (Lado CC)	<i>Faixa de operação do MPP [V]</i>
	<i>Tensão máxima de entrada [V]</i>
	<i>Corrente máxima de entrada [A]</i>
	<i>Corrente de curto-circuito máxima [A]</i>
Dados de saída (Lado CA)	<i>Potência de saída nominal [W]</i>
	<i>Potência de saída máxima [W]</i>
	<i>Tensão de saída nominal [V]</i>
	<i>Tolerância à tensão da rede [%]</i>
	<i>Corrente de saída nominal [A]</i>
	<i>Frequência nominal [Hz]</i>
Dados gerais	<i>Total de Distorção Harmônica [%]</i>
	<i>Fator de Potência</i>
	<i>Eficiência máxima [%]</i>
	<i>Eficiência europeia [%]</i>
	<i>Consumo noturno [W]</i>
	<i>Grau de Proteção</i>
	<i>Dimensões [mm]</i>
	<i>Peso [kg]</i>
Dados de segurança	<i>Temperatura ambiente permissível [°C]</i>
	<i>Proteção anti-ilhamento</i>
	<i>Proteção de sobretensão CC</i>
	<i>Proteção contra polaridade reversa</i>
	<i>Atuação devido à sobrecarga CC</i>

Fonte: Elaboração própria

A segunda pesquisa foi elaborada por meio de consulta às normas ou recomendações de ISFs e temas correlatos. A finalidade das duas pesquisas é identificar quais são os fatores técnicos dos ISFs (primeira pesquisa) e quais são os critérios de viabilidade (segunda pesquisa: normas e recomendações para ISFs). Ressalte-se que, nesta dissertação, reservou-se uma seção (2.2.3) somente para o tratamento de uma característica técnica: a eficiência de conversão CC/CA do ISF.

Na Tabela 2.3, as normas e recomendações de inversores para sistemas fotovoltaicos e temas correlatos são apresentadas.

Tabela 2.3 – Normas e recomendações de inversores para sistema fotovoltaico e temas correlatos.

Ano da Publicação	Ano da última atualização	Nome	Título da Norma ou da Recomendação
1974	2012	IEEE Standard C37.90.1	IEEE Standard for Surge Withstand Capability (SWC) Tests for Relays and Relay Systems Associated with Electric Power Apparatus
1981	2014	IEEE Standard 519	IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems
1987	2002	IEEE Standard C62.45	IEEE Recommended Practice on Surge Testing for Equipment Connected to Low-Voltage (1000 V and Less) AC Power Circuits
1987	2004	IEEE Standard C37.90.2	IEEE Standard for Withstand Capability of Relay Systems to Radiated Electromagnetic Interference from Transceivers
1988	2000	IEEE Standard 929	IEEE Recommended Practice for Utility Interface of Photovoltaic (PV) Systems
1994	2003	EN 50160	Voltage Characteristics of Electricity Supplied by Public Distribution Systems
1995	2009	IEEE Standard 1159	IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality
1998	2002	IEC 60364-7-7	Electrical Installations of Buildings - Requirements for Special Installations or Locations - Solar Photovoltaic (PV) Power Supply Systems
1999	2011	IEC 61683	Photovoltaic Systems - Power Conditioners - Procedure for Measuring Efficiency
2002	2012	IEEE Standard C62.41.2	IEEE Recommended Practice on Characterization of Surges in Low-Voltage (1000 V and Less) AC Power Circuits
2002	2009	IEC 61000-4-7	Electromagnetic Compatibility (EMC) - Part 4-7: Testing and Measurements and Instrumentation, for Power Supply Systems and Equipment Connected Thereto
2003	2014	IEEE Standard 1547	IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems
2003	2015	IEC 61000-4-30	Testing and Measurement Techniques - Section 30: power Quality Measurement Methods
2004	2004	IEC 61727	Photovoltaic (PV) Systems: Characteristics of the Utility Interface
2005	2013	IEEE Standard 1547.1	IEEE Standard Conformance Test Procedures for Equipment Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems
2005	2014	IEC 61000-3-2	Electromagnetic compatibility. Limits for Harmonics Current Emissions (equipment input current ≤ 16 A per phase)
2006	2013	DIN V VDE 0126-1-1	Automatic Disconnection Device Between a Generator and Public Low-Voltage Grid

2008	2014	IEC 62116	<i>Test Procedure of Islanding Prevention Measures for Utility-Interconnected Photovoltaic Inverters</i>
2008	2013	IEC 61000-3-3	<i>Electromagnetic Compatibility (EMC) - Part 3-3: Limits</i>
2008	2015	ANEEL PRODIST	<i>Procedimento de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional</i>
2010	2012	IEC 62109-1	<i>Safety for Power Converters for Use in Photovoltaic Power System - Part 1: General Requirements</i>
2010	2010	UL 1741	<i>Static Inverter and Charge Controllers for Use in Photovoltaic Systems</i>
2010	2010	EN 50530	<i>Overall Efficiency of Grid Connected Photovoltaic Inverters</i>
2012	2012	ABNT NBR IEC 62116	<i>Procedimentos de ensaio de anti-ilhamento para inversores de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica</i>
2013	2013	ABNT NBR 16149	<i>Sistemas Fotovoltaicos (FV) – Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição</i>
2013	2013	ABNT NBR 16150	<i>Sistemas Fotovoltaicos (FV) – Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição – Procedimentos de ensaio de conformidade</i>

Fonte: Elaboração própria

Em relação à lista de normas e recomendações apresentadas na Tabela 2.3, há três normas brasileiras a destacar, quais sejam: (1) ABNT NBR 16149, (2) ABNT NBR 16150, (3) ABNT NBR IEC 62116, que são referenciadas nos Requisitos de Avaliação da Conformidade para Sistemas e Equipamentos para Energia Fotovoltaica (Módulo, Controlador de Carga, Inversor e Bateria) encontrados de forma anexa à *Portaria Inmetro 004/2011*⁹ com a redação dada pela *Portaria Inmetro 357/2014*¹⁰. O Anexo III desta Portaria é relativo aos inversores e se divide em duas partes, a saber: “Parte 1 – Inversores para Sistemas Fotovoltaicos Autônomos” e “Parte 2 – Inversores para Sistemas Fotovoltaicos conectados à rede”.

⁹ O documento concatenado da *Portaria Inmetro* nº 004/2011 e do Requisito de Avaliação da Conformidade anexo a esta Portaria encontra-se na referência online: INMETRO (2011). *Portaria Inmetro* nº 004/2011, de 4 de janeiro de 2011. 49 pp. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/rtac001652.pdf>>. Acesso em: 8 abr. 2015.

¹⁰ A *Portaria Inmetro* nº 357/2014 encontra-se em: INMETRO (2014). *Portaria Inmetro* nº 357/2014, de 1 de agosto de 2014. 2 pp. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC002145.pdf>>. Acesso em: 8 abr. 2015.

2.2.2. Tipos de inversor para sistema fotovoltaico

Podem-se classificar os inversores para sistema fotovoltaico de acordo com três categorias de agrupamento: (1) quanto à comutação, (2) quanto à topologia e (3) quanto à isolamento galvânica.

Quanto à comutação, os inversores são agrupados em: (1) comutados pela rede e (2) autocomutados. Diz-se que um inversor é comutado pela rede quando se utiliza a própria tensão da rede a fim de sincronizar a mudança de estado das chaves de comutação utilizadas no processo de conversão CA/CC. Já um inversor é autocomutado quando a comutação usada é independente do sinal da rede elétrica.

Quanto à topologia, os inversores SFCR podem ser classificados em quatro, a saber: (1) tipo central - os módulos fotovoltaicos arranjados em série e/ou em paralelo estão conectados em um único inversor (cf. Figura 2.3a), (2) tipo série (ing. *string*) - cada série de módulos fotovoltaicos tem o seu próprio inversor (cf. Figura 2.3b), (3) tipo multissérie (ing. *multistring*) – cada série de módulos fotovoltaicos tem um seguidor do ponto de máxima potência e estes dispositivos estão ligados a um inversor (cf. Figura 2.4a), (4) módulo com inversor integrado (i.e. Módulo CA) – o módulo fotovoltaico está integrado ao inversor em um único equipamento (cf. Figura 2.4b).

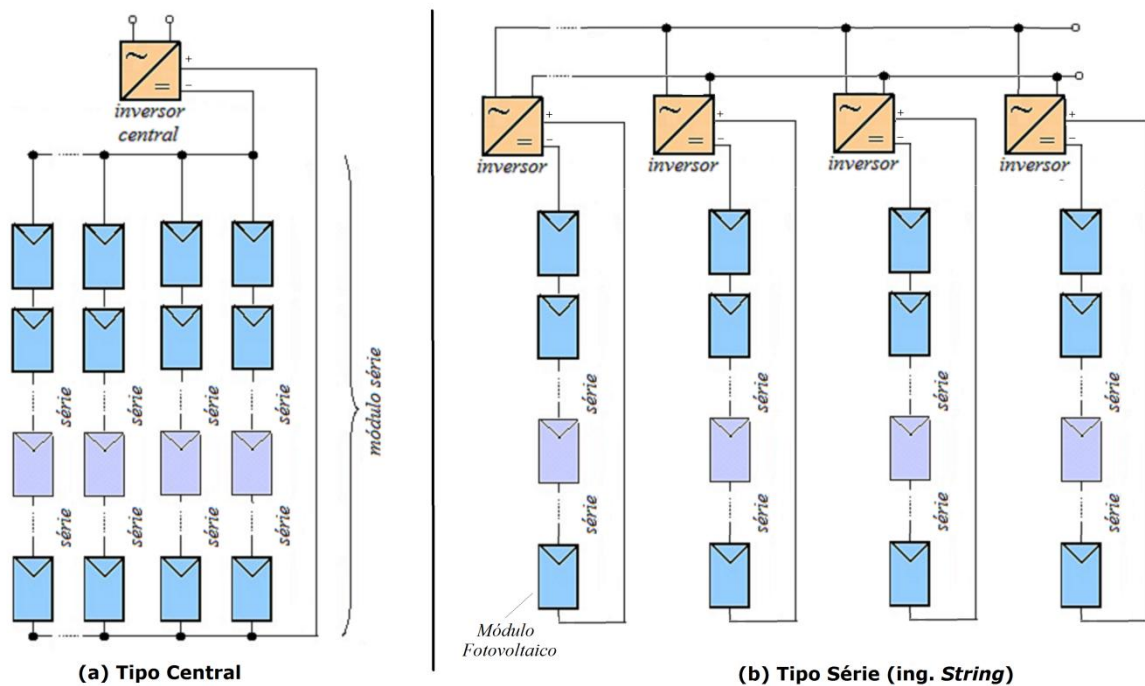


Figura 2.3 – Topologia de inversor: (a) Tipo central e (b) Tipo série (ing. *string*).
Fonte: Elaboração própria

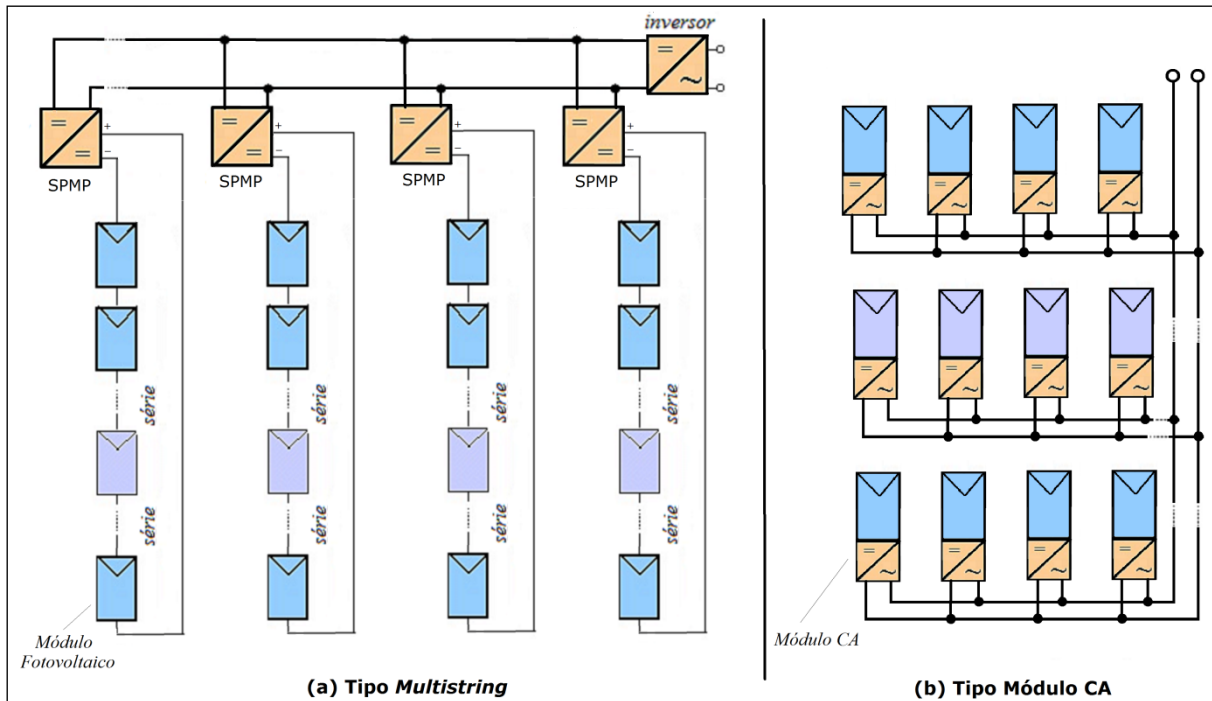


Figura 2.4 – Topologia de inversor: (a) Tipo *multistring* e (b) Tipo módulo CA.
Fonte: Elaboração própria

Quanto ao tipo de isolamento galvânica, os inversores estão classificados em dois grupos, a saber: (1) sem transformador e (2) com transformador, sendo que este último, por sua vez, se agrupa em transformador de baixa frequência (i.e. 50 a 60 Hz) e transformador de alta frequência. Deve-se observar a legislação vigente em cada país em relação ao uso de inversores de isolamento galvânica sem transformador. Além dessa observação, também se deve atentar ao fato de que há determinadas tecnologias de módulos fotovoltaicos (e.g. os módulos de filmes finos) que requerem, em muitos casos, os inversores com transformadores. González *et al.* (2007), Kjaer *et al.* (2005) e Urbanetz Jr. (2010) tratam do assunto mencionado com detalhes.

2.2.3. A Eficiência de Conversão CC/CA do inversor para sistema fotovoltaico

A denominada eficiência de conversão CC/CA ou eficiência energética do inversor é a relação existente entre a energia elétrica CA na saída do inversor e a energia elétrica CC na entrada do inversor (i.e. a energia convertida pelo arranjo fotovoltaico). Essa definição é dada pela norma IEC 61.683: “*Photovoltaic Systems – Power Conditioners – Procedure for Measuring Efficiency*” – cf. Equação 2.1.

$$\eta_{inv} = \frac{E_{CA}}{E_{CC}} = \frac{\int_0^T P_{CA} \cdot dt}{\int_0^T P_{CC} \cdot dt} = \frac{\int P_{CA} \cdot dt}{\int P_{CA} \cdot dt + \int P_{Perdas} \cdot dt} \quad (\text{Eq. 2.1})$$

Onde,

- η_{inv} = Eficiência energética CC/CA do inversor;
- E_{CA} = Energia elétrica na saída do inversor (corrente alternada) [Wh];
- E_{CC} = Energia elétrica na entrada do inversor (corrente contínua) [Wh];
- P_{CA} = Potência elétrica de saída do inversor (corrente alternada) [W];
- P_{CC} = Potência elétrica de entrada do inversor (corrente contínua) [W];
- P_{Perdas} = Potência concernente às perdas no processo de conversão [W].

Rampinelli (2010) menciona três modelos matemáticos para o cálculo da eficiência de conversão CC/CA (η_{inv}), a saber, os modelos de Keating (1991), de Jantsch *et alii* (1992) e de Chivelet *et alii* (1994). Esses três modelos são apresentados nas equações de 2.2 a 2.5.

Modelo de Keating (1991)

$$\eta_{inv} = \eta_{inf} + \frac{(P_{CA} - P_{inf}) \cdot (\eta_{sup} - \eta_{inf})}{(P_{sup} - P_{inf})} \quad (\text{Eq. 2.2})$$

Onde,

- η_{inf} = Eficiência do inversor na potência no limite inferior do intervalo;
- η_{sup} = Eficiência do inversor na potência no limite superior do intervalo;
- P_{CA} = Potência na saída do inversor [W];
- P_{inf} = Potência do limite inferior do intervalo [W];
- P_{sup} = Potência do limite superior do intervalo [W].

Modelo de Jantsch et alii (1992)

$$\eta_{inv} = \frac{\frac{P_{CA}}{P_{Nom}}}{\left(\frac{P_{CA}}{P_{Nom}} + K_0\right) + K_1 \cdot \frac{P_{CA}}{P_{Nom}} + K_2 \cdot \left(\frac{P_{CA}}{P_{Nom}}\right)^2} \quad (\text{Eq. 2.3})$$

Onde,

K_0, K_1, K_2 = Parâmetros do modelo matemático;

P_{CA} = Potência na saída do inversor [W];

P_{Nom} = Potência nominal do inversor [W].

Modelo de Chivelet et alii (1994)

Para cargas resistivas

$$\eta_{inv} = \frac{2 \cdot R_s \cdot P_{CA}}{V_{CC}^2} \cdot \frac{1}{1 - \sqrt{1 - 4 \cdot \frac{R_s}{R_p} \cdot \left(P_{CA} + \frac{V_{CA}^2}{R_p}\right)}} \quad (\text{Eq. 2.4})$$

Para cargas reativas

$$\eta_{inv} = \frac{2 \cdot R_s \cdot S}{V_{CC}^2} \cdot \frac{a}{1 - \sqrt{1 - 4 \cdot \frac{R_s}{R_p} \cdot \left(P_{CA} + \frac{V_{CA}^2}{R_p}\right)}} \quad (\text{Eq. 2.5})$$

Onde,

a = Fator próximo da unidade exceto para fatores de potência muito baixos;

P_{CA} = Potência na saída do inversor [W];

R_s = Resistência série que representa as perdas ôhmicas [Ω];

R_p = Paralela que representa as perdas devido ao autoconsumo [Ω];

S = Potência aparente do inversor [VA];

V_{CC} = Tensão na entrada do inversor [V];

V_{CA} = Tensão na saída do inversor [V].

A Eficiência Máxima, a Eficiência Europeia e a Eficiência Californiana

Por outro lado, alguns manuais de inversores apresentam a eficiência máxima (η_{max}) e uma eficiência regional, como por exemplo, a eficiência europeia (η_{Euro}) e/ou a eficiência californiana (η_{CEC}). Essas eficiências regionais são calculadas por meio do produto da média ponderada da irradiação com as eficiências do inversor em diferentes carregamentos (i.e. P_{CA}/P_{Nom}). Sendo que $\eta_{10\%}$ é a eficiência de conversão com um carregamento de 10% (i.e. $P_{CA}/P_{Nom} = 0,10$). A fim de exemplificar algumas eficiências regionais, são apresentadas as equações 2.6 e 2.7, que são as eficiências europeia e californiana respectivamente.

$$\eta_{Euro} = 0,03 \cdot \eta_{5\%} + 0,06 \cdot \eta_{10\%} + 0,13 \cdot \eta_{20\%} + 0,10 \cdot \eta_{30\%} + 0,48 \cdot \eta_{50\%} + 0,20 \cdot \eta_{100\%} \quad (\text{Eq. 2.6})$$

$$\eta_{CEC} = 0,04 \cdot \eta_{10\%} + 0,05 \cdot \eta_{20\%} + 0,12 \cdot \eta_{30\%} + 0,21 \cdot \eta_{50\%} + 0,53 \cdot \eta_{75\%} + 0,05 \cdot \eta_{100\%} \quad (\text{Eq. 2.7})$$

A Eficiência Brasileira

Para o cálculo da eficiência brasileira, é necessário calcular a denominada eficiência total, que é o produto da eficiência do inversor pela eficiência do Seguimento de Ponto de Máxima Potência¹¹ (SPMP). A eficiência do inversor foi apresentada na equação 2.1. Já eficiência do SPMP é apresentada na equação 2.8.

$$\eta_{SPMP} = \frac{\int_0^T P_{CC} \cdot dt}{\int_0^T P_{PMP} \cdot dt} \quad (\text{Eq. 2.8})$$

¹¹ Nas palavras de César W. M. Prieb: “O Seguimento do Ponto de Máxima Potência (SPMP [ou em inglês: *Maximum Power Point Tracking* – MPPT]) é um processo de controle no qual o inversor procura manter o gerador fotovoltaico operando em uma região da sua curva característica na qual o produto corrente $\times$ tensão tenha o seu valor máximo, de forma a otimizar a extração de potência do gerador fotovoltaico. A eficiência de MPPT é um número que indica o grau de precisão, tanto em termos de rapidez como de magnitude, com que o seguidor do ponto de máxima potência atinge o seu objetivo. Assim podem ser definidas duas eficiências de MPPT: a eficiência estática, associada a situações em que a irradiância solar permanece constante durante o intervalo considerado, e a eficiência dinâmica de MPPT, que considera os momentos de variação na intensidade da irradiância, resultantes, por exemplo, da passagem de nuvens. As eficiências de MPPT (especialmente a dinâmica) são de difícil determinação, porém a tarefa fica muito facilitada com a utilização de um simulador de arranjos fotovoltaicos. A norma europeia EN 50530:2010 *Overall Efficiency of Photovoltaic Inverters* propôs uma metodologia para a determinação da eficiência dinâmica de SPMP utilizando perfis variáveis de irradiância a serem programados no simulador de arranjos fotovoltaicos” (PRIEB, 2011).

Onde,

η_{SPMP} = Eficiência do SPMP;

P_{CC} = Potência de saída do SPMP (corrente contínua) [W];

P_{PMP} = Potência de entrada do SPMP (corrente contínua) [W].

Com a apresentação das equações 2.1 e 2.8, pode-se calcular a eficiência total (cf. Equação 2.9), que é dada pelo produto da eficiência do inversor (cf. Equação 2.1) pela eficiência do SPMP (cf. Equação 2.8).

$$\eta_T = \eta_{inv} \cdot \eta_{SPMP} = \frac{\int_0^T P_{CA} \cdot dt}{\int_0^T P_{CC} \cdot dt} \cdot \frac{\int_0^T P_{CC} \cdot dt}{\int_0^T P_{PMP} \cdot dt} = \frac{\int_0^T P_{CA} \cdot dt}{\int_0^T P_{PMP} \cdot dt} \quad (\text{Eq. 2.9})$$

A eficiência brasileira proposta por Pinto, Zilles e Almeida (2011) é uma função de três variáveis, a saber, (1) tensão de entrada, (2) a eficiência do SPMP e (3) o perfil de radiação solar brasileiro.

Para o cálculo da eficiência total para cada carregamento ($\eta_{T(k\%,i)}$), foram utilizadas as etapas descritas a seguir.

Pinto, Zilles e Almeida (2011) elaboraram um procedimento para calcular a eficiência brasileira (η_{BR}). Para isso, foram utilizados os dados de irradiação solar no plano inclinado para o ano de 2005 do Projeto SoDa – *Solar Radition Project* (SODA, 2011). A explicação técnica sobre a metodologia se encontra em Pinto Neto, Zilles e Almeida (2011), onde se lê:

Com esses dados foi calculada a irradiância média regional e nacional para cada minuto do ano. Os dados de irradiância média foram separados em faixas (0-100, 100-200, 200-300, 300-500, 500-750 e >750 W/m²) e, em seguida, foi calculada a participação de cada uma na irradiação anual. Essas faixas de irradiância foram escolhidas porque a curva da eficiência do inversor tem uma inclinação no início muito maior do que após os 20% de carregamento, ou seja, as variações na eficiência no início da curva são maiores e ela mantém-se praticamente constante após os 20% de carregamento, logo é necessário um detalhamento maior no início da curva do que no meio e no final.

Na Figura 2.5, é apresentada a participação de irradiação para cada região brasileira e a média nacional a fim de mostrar como foram extraídos os coeficientes da eficiência brasileira descrita na equação 2.8. Para isso, os dados foram separados em seis faixas de

irradiância (i.e. 0-100, 100-200, 200-300, 300-500, 500-750 e >750 W/m²), conforme citado anteriormente.

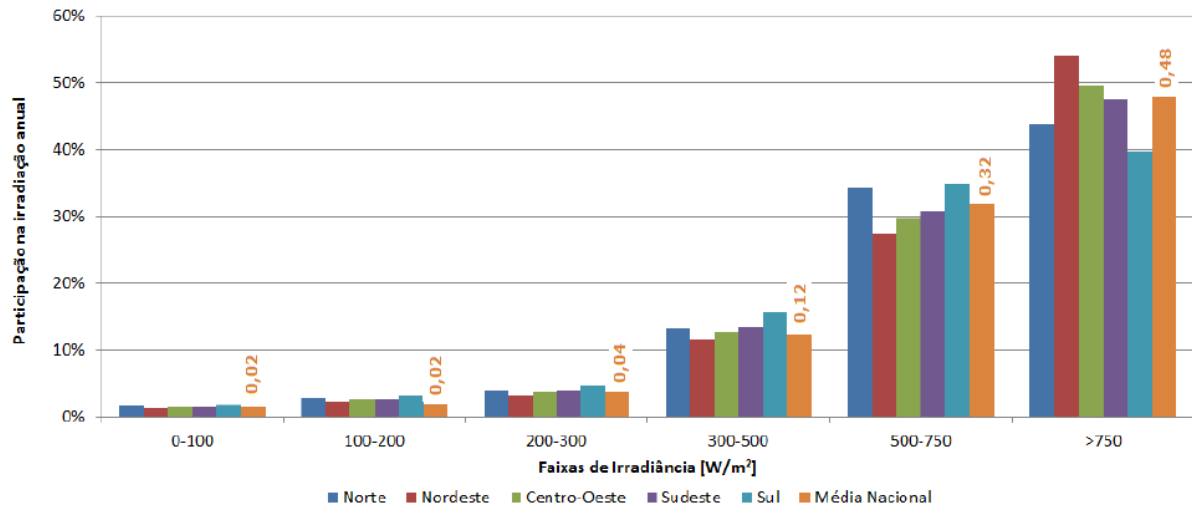


Figura 2.5. – Participação na irradiação anual para as regiões brasileiras e para média nacional
Fonte: Adaptado de Pinto Neto, Zilles e Almeida (2011).

Na Figura 2.5, percebe-se que a participação na irradiação anual para média nacional em cada uma das seis faixas de irradiância é usada como coeficiente de ponderação no modelo matemático da eficiência brasileira (η_{BR}) conforme descrito na equação 2.10.

$$\eta_{BR} = 0,02 \cdot \eta_{Tmed10\%} + 0,02 \cdot \eta_{Tmed20\%} + 0,04 \cdot \eta_{Tmed30\%} + 0,12 \cdot \eta_{Tmed50\%} \\ + 0,32 \cdot \eta_{Tmed75\%} + 0,48 \cdot \eta_{Tmed100\%}$$

(Eq. 2.10)

2.3. Programa de etiquetagem em inversores no contexto mundial

No contexto internacional, há ações de promoção da tecnologia fotovoltaica em alguns países, como por exemplo: o *Feed-in* na Alemanha, o *Golden Sun* na China, o *Solar America Initiative* (SAI) e o *Sun Shot Initiative* (SSI) nos Estados Unidos. Todavia, há três países que promovem um programa de etiquetagem em inversores: a Alemanha, a Índia e o México. É digno de nota que, embora o programa indiano de etiquetagem de inversores não seja dedicado ao uso somente da energia fotovoltaica, optou-se nesta dissertação por se fazer uma breve exposição dos três programas de etiquetagem mencionados.

2.3.1. Programa de etiquetagem em inversores na Alemanha

O selo verde *Der Blaue Engel* (port. “O Anjo Azul”) foi implementado em 1977, quando o governo alemão lançou o programa oficial de rotulagem ambiental¹² (CORRÊA, 1998). Em um resumo histórico, Sandra Santos (1998) menciona alguns programas¹³ de rotulagem ambiental:

O primeiro programa de Rotulagem Ambiental, o *Blauer Engel* foi criado em 1977, na Alemanha, com base em recomendações adotadas pelo Conselho da Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) [...] A grande aceitação do *Blauer Engel* e a crescente conscientização dos consumidores incentivou outros países a criarem seu próprio programa de rotulagem ambiental: em 1988 o Canadá criou o *Environmental Choice*, em 1989 o Japão criou o *Eco Mark*, em 1990 os Estados Unidos criaram o *Green Seal* e em 1992 Singapura [*sic.*: Cingapura] criou o *Green Label*. Houveram [*sic.*: Houve] também países que optaram por adotar programas já existentes. É o caso, por exemplo, da Índia e da Coreia, que adotaram o *Eco Mark*.

O rótulo alemão (ou o selo verde *Der Blaue Engel*) é administrado por três organizações, a saber: (1) A Agência Federal de Meio Ambiente (al. *Umweltbundesamt*) é uma entidade ligada ao Ministério Federal de Meio Ambiente, Conservação Natural e Segurança Nuclear, que tem a finalidade de elaborar os critérios para a concessão do selo e acompanhar os ensaios relacionados aos impactos ambientais em todo ciclo de vida dos produtos. (2) A Comissão Julgadora para o Selo Ambiental (al. *Jury Umweltzeichen*) é o conselho composto pelos representantes da comunidade científica, dos fabricantes, dos grupos ambientais e de sindicatos com a finalidade de tomar decisões finais acerca das categorias dos produtos e dos critérios para a concessão do selo *Der Blaue Engel*. (3) O Instituto Alemão de Garantia de Qualidade e Rotulagem (al. *RAL Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e.V.*, instituição conhecida pela sigla RAL gGmbH) é um órgão não governamental responsável pelas audiências de peritos e concessão dos rótulos ambientais aos produtos e serviços, além de revisar os critérios do selo verde já existentes.

¹² Markandya (1997) define rotulagem ambiental “como a prática de fornecer informação sobre características ambientais [...] essa iniciativa pode constituir-se em importante instrumento na implementação de políticas de desenvolvimento sustentável, pois permite estimular a indústria a alterar voluntariamente métodos e processos de produção, por intermédio da demanda, ou seja, diante da preferência dos consumidores por produtos identificados como ambientalmente superiores a seus similares no mercado”.

¹³ Na tese da Ministra Leonilda Corrêa (1998, pp. 208-288), os programas de rotulagem ambiental são classificados em: (1) governamentais (e.g. *Blaue Engel* na Alemanha; *Environmental Choice Program* no Canadá; *Eco Mark* no Japão; *Nordic Swan* no Conselho Nórdico; *Environmental Choice* na Nova Zelândia, *EcoMark Program* na Índia; *NF-Environnement* na França; *Umweltzeichen* na Austria; *Ecolabel* na União Européia; *Stichting Milieukeur* nos Países Baixos; *Green Label* em Cingapura; *Eco-Label* na Coreia; *Environmentally Friendly* na Croácia; *Environmentally Friendly Product* na república Tcheca; Marca ABNT – Qualidade Ambiental no Brasil), (2) não governamentais (e.g. *Green Seal* nos Estados Unidos; *Bra Miljöval* na Suécia; *Marca AENOR Medio Ambiente* na Espanha).

Os critérios básicos estão descritos no documento denominado “*Photovoltaic Inverters RAL UZ 163*”. Na Figura 2.6, vê-se o selo alemão para inversores.



Figura 2.6 – Selo alemão para inversores fotovoltaicos.
Fonte: RAL gGmbH (2012).

Os sete requerimentos para o selo verde alemão, segundo o documento “*Photovoltaic Inverters RAL-UZ 163*”, são: (1) eficiência energética: deve ser de 95% de eficiência total sistêmica de acordo com a DIN EN 50.530 e eficiência europeia conforme a DIN EN 61.683; (2) capacidade de potência reativa: deve atender o documento “*Application Guideline VDE-AR-N 4105*”; (3) longevidade: deve atender a uma garantia de 5 anos no mínimo, uma garantia estendida de até 20 anos e um serviço de reparo ou troca em 48 horas para o equipamento com defeito; (4) materiais requeridos: deve atender os requisitos do “*Chemicals Regulation REACH (1907/2006/EC)*” e os critérios da “*Regulation (EC) No 1272/2008*”; (5) reciclagem e descartáveis: são citados na própria RAL UZ 163, (6) segurança: deve atender os documentos DIN EN 62.109, DIN EN 45011 e VDE 0126-14; e (7) compatibilidade eletromagnética: deve estar conforme as normas DIN EN 61.000-6-1, VDE 0839-6-1 e DIN EN 61.000-6-3.

2.3.2. Programa de etiquetagem em inversores na Índia

O Governo da Índia, por meio da *Energy Conservation Act*, ou seja, a Lei de Conservação de Energia de 2001, criou um órgão estatutário denominado *Bureau of Energy Efficiency* (BEE) no dia 1 de março de 2002 sob a égide do seu Ministério de Energia. A missão do BEE é auxiliar no desenvolvimento de estratégias políticas sob os princípios de autorregulação e de mercado a fim de privilegiar as ações da economia indiana. Para alcançar

essa missão, foi criado o *Bureau of Energy Efficiency Standard and Labeling Program* (BEE S&L), que concede o *Bureau of Energy Efficiency Star Labeling* (BEE Star).

O BEE coordena, com a colaboração dos parceiros (i.e. consumidores, agências e outras organizações), as ações de políticas energéticas com a finalidade de atender aos termos da Lei de Conservação de Energia, que prevê as funções de regulação e de promoção.

As oito principais funções regulatórias que estão sob a responsabilidade da coordenação do BEE são: (1) desenvolver os padrões mínimos de desempenho energético e o projeto de etiquetagem para os equipamentos e os processos, (2) desenvolver regulamentos específicos para conservação de energia em edificações, (3) desenvolver ações com o foco nos consumidores designados, (4) desenvolver as normas específicas de consumo de energia, (5) certificar profissionais para gestão e auditoria energética, (6) acreditar profissionais para auditoria energética, (7) definir a forma e a periodicidade de auditorias energéticas obrigatórias, (8) desenvolver os aspectos formais dos relatórios de consumo de energia e as medidas a serem tomadas com base nas recomendações das auditorias energéticas.

As doze principais funções promocionais que estão sob a responsabilidade da coordenação do BEE são: (1) disseminar as informações das ações de eficiência energética e de conservação de energia, (2) capacitar profissionais e especialistas em eficiência energética e conservação de energia por meio de organização de cursos e treinamentos nessas áreas mencionadas, (3) promover ações de reforço para os serviços de consultoria relacionados ao campo de conservação de energia, (4) promover pesquisa e desenvolvimento, (5) desenvolver procedimentos de ensaio e de certificação, (6) formular e facilitar as implementações de projetos pilotos e de demonstração, (7) promover o uso de ações de eficiência energética nos processos, equipamentos, dispositivos e sistemas, (8) desenvolver medidas com finalidade de incentivar a utilização de equipamentos ou processos energeticamente eficientes, (9) promover financiamento para projetos de eficiência energética, (10) ofertar assistência financeira para instituições que promovam o uso eficiente e práticas de conservação de energia, (11) preparar currículo educacional onde são contemplados o uso eficiente da energia e as ações de conservação de energia, (12) implementar programas de cooperação internacional que tenham como tema o uso eficiente de energia e sua conservação.

Em agosto de 2014, o programa de etiquetagem da Índia contemplou dezoito tipos de equipamentos ou dispositivos correlatos classificados em programa mandatório (ing. *scheme mandatory*) ou programa voluntário (ing. *scheme voluntary*). Para cada tipo de equipamento ou correlato, existe um requerimento do BEE denominado *Schedule*, onde são especificados os seguintes itens: o escopo, as normas de referências, os termos e definições, o

critério de elegibilidade (e.g. requerimentos geral, de segurança e de certificação do produto a fim de participar do programa do BEE), orientação de ensaios (e.g. métodos dos ensaios, os parâmetros a serem checados), política de classificação das faixas da etiqueta *BEE Star*, projeto gráfico da etiqueta *BEE Star* e política de afixação desta no produto, e as taxas do serviço de etiquetagem. Na Tabela 2.4, são apresentados os *Schedules* e a classificação dos programas de etiquetagem na Índia.

Tabela 2.4 – A classificação dos *Schedules* por programas de etiquetagem na Índia.

Programa Mandatário (Scheme Mandatory)	Programa Voluntário (Scheme Voluntary)
<i>Schedule 1</i> – Refrigerador <i>frost-free</i> (No-Frost)	<i>Schedule</i> (3A) – Condicionador de ar
<i>Schedule 2</i> – Lâmpadas fluorescentes tubulares	<i>Schedule 5</i> – Refrigeradores
<i>Schedule 3</i> – Condicionador de ar	<i>Schedule 6</i> – Motores de indução
<i>Schedule 4</i> – Transformador de distribuição	<i>Schedule 7</i> – Sistema de bombas agrícolas
	<i>Schedule 8</i> – Ventilador de teto
	<i>Schedule 9</i> – Fogão doméstico à Gás Liquefeito de Petróleo (GLP)
	<i>Schedule 10</i> – Aquecedores de água elétricos
	<i>Schedule 11</i> – TV à cor (TRC, LDC, Plasma, LED)
	<i>Schedule 12</i> – Máquina de lavar
	<i>Schedule 13</i> – Bombas monofásicas acionadas por motor a diesel para fins agrícolas.
	<i>Schedule 14</i> – Computadores (<i>Notebook</i> / <i>Laptops</i>)
	<i>Schedule 15</i> – Reatores (Eletrônicos e Magnéticos)
	<i>Schedule 16</i> – Equipamentos de escritório (i.e. impressora, copiadora, <i>scanner</i> , máquina de fax e dispositivos multifuncionais)
	<i>Schedule 17</i> – Inversores de estado sólido
	<i>Schedule 18</i> – Gerador a diesel

Fonte: Adaptado de *Bureau of Energy Efficiency* (2014).

No dia 11 de agosto de 2014, foi atualizado o requerimento para inversores de estado sólido (com potência de saída de 250 a 2.000 VA) executado a partir da energia armazenada em baterias de 12 V manufaturadas, importadas ou vendidas na Índia. Esse requerimento específico recebeu o nome de “*Schedule No.: 17 – Solid State Inverters*”¹⁴ (i.e. *Schedule 17*) e, em conjunção com a norma de referência da *Indian Standard* (IS), elaborado pelo *Power Electronics Sectional Committee* (PESC), aprovado pelo *Electrotechnical*

¹⁴ BUREAU OF ENERGY EFFICIENCY. *Schedule No.: 17 – Solid State Inverters*. Disponível em: <<http://220.156.189.29/Content/Files/Inverter%20Schedule.pdf>>. Acesso em: 10 set. 2014. É digno de nota que, os Inversores de Estado Sólido atendidos por baterias de 24 V estão em fase de estudo segundo o *Schedule 17* (BBE, 2014).

Division Council (EDC) e adotado pelo *Bureau of Indian Standards* (BIS) – “IS 13.314/1992 – *Solid State Inverters run from Storage Batteries – Specification*” – o programa de etiquetagem *BEE Star* de inversor de estado sólido é regido.

Na *Schedule 17*, são apresentados os três critérios de elegibilidade para o inversor de estado sólido, a saber: (1) requerimento geral, (2) requerimento de segurança e (3) requerimento de validade de certificação do produto. A Tabela 2.5 mostra um resumo desses requerimentos.

Tabela 2.5 – Os requerimentos e os critérios de elegibilidade para inversores segundo o *Schedule 17*.

Requerimento	Critério de Elegibilidade
Geral	Deve operar na temperatura entre -10°C a +45°C. Referência: Cláusula 5.11 – IS 13.314 (BIS, 1992).
	Deve operar com uma frequência da tensão de saída de 50 Hz $\pm$ 3%. Referência: Cláusula 7.9.2 – IS 13.314 (BIS, 1992).
	Deve confirmar os parâmetros requeridos em Carga Resistiva-Indutiva. Referência: IS 13.314 (BIS, 1992).
Segurança	Deve satisfazer o teste de alta tensão. Referência: Cláusula 7.6 – IS 13.314 (BIS, 1992).
	Deve satisfazer o teste de resistência de isolamento. Referência: Cláusula 7.7 – IS 13.314 (BIS, 1992).
Certificação	Deve ter validade a certificação do produto BIS ou certificação de sistema de qualidade como a ISO 9.000 a fim de participar no programa do BEE S&L.

Fonte: Adaptado de *Bureau of Energy Efficiency* (2014).

Em relação à orientação de ensaio dos inversores, o *Schedule 17* apresenta o método dos ensaios e os parâmetros a serem checados por meio de testes. Três pontos devem ser considerados: (1) o inversor de estado sólido deve ser projetado para um fator de potência de saída não menor do que 0,8 para cargas resistivas-indutivas; (2) o ensaio deve ser feito usando carga resistiva-indutiva com um fator de potência mínimo de 0,8; e (3) o ensaio de capacidade deve ser realizado com carga resistiva-indutiva incrementando de zero até a carga máxima em relação à capacidade nominal do inversor até que o dispositivo de disparo acione. Os ensaios realizados são: em vazio, de fator de potência, de distorção harmônica total e de capacidade.

O denominado Plano de Classificação por Estrela (ing. *Star Rating Plan*) para os Inversores de Estado Sólido, executado a partir de baterias de 12 V (cf. BEE, 2014), é uma estratificação baseada na eficiência energética (CC - CA) desse equipamento trabalhando em plena carga com fator de potência de 0,8, de acordo com a especificação da norma IS 13.314 (BIS, 1992). Na Tabela 2.6, a classificação por estrelas e por faixas de eficiência energética (EE) são visualizadas pelas faixas de eficiência de CC para CA. A Figura 2.7 mostra um exemplo de etiqueta comparativa *BEE Star* usada em inversores de estado sólido na Índia.

Tabela 2.6 – Plano de classificação por estrelas e faixa de eficiência (CC - CA) para Inversores de Estado Sólido, executado a partir de baterias de 12 V.

Classificação por estrelas (*)		Faixa de Eficiência Energética (CC para CA)
1 estrela	*	$83\% \leq EE \leq 85\%$
2 estrelas	**	$85\% < EE \leq 87\%$
3 estrelas	***	$87\% < EE \leq 89\%$
4 estrelas	****	$89\% < EE \leq 91\%$
5 estrelas	*****	$EE > 91\%$

Fonte: Adaptado de *Bureau of Energy Efficiency* (2014).

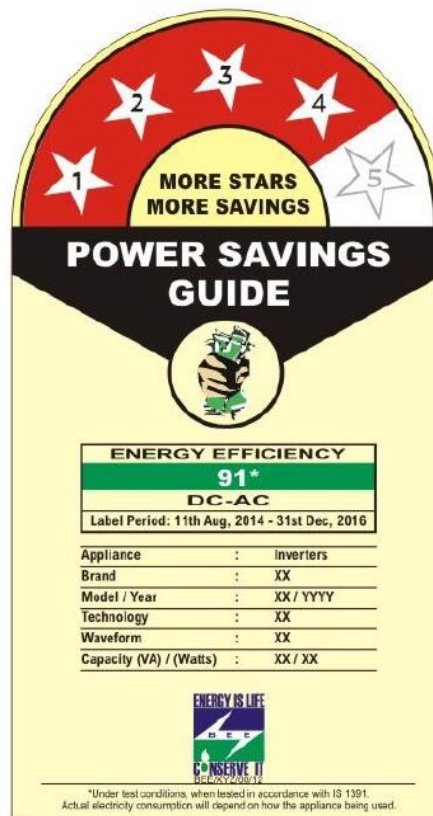


Figura 2.7 – Exemplo de etiqueta comparativa BEE Star usada em inversores de estado sólido
Fonte: *Bureau of Energy Efficiency* (2014).

2.3.3. Programa de etiquetagem em inversores no México

O *Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica* (FIDE) foi criado em 14 de agosto de 1990 por meio da *Comisión Federal de Electricidad* (CFE) nos Estados Unidos Mexicanos, mais conhecido como México. Constituído estruturalmente por *Fideicomitentes*¹⁵, *Fiduciaria*¹⁶ e *Fideicomisarios*¹⁷, o FIDE tem o objetivo de realizar ações que permitam induzir e promover a economia e o uso eficiente da energia elétrica na indústria, no comércio e serviço, nos municípios, nos setores residencial e rural.

O FIDE se orienta estrategicamente mediante quatro diretrizes para alcançar os objetivos supracitados, a saber: (1) *Educación para el Uso Racional y Ahorro de la Energía Eléctrica* (EDUCAREE); (2) *Premio Nacional de Ahorro de Energía Eléctrica* (PNAEE); (3) Horário de Verão e (4) *Sello Fide*. Este último é um selo informativo para a sociedade, já que os produtos com *Sello Fide* incidem direta ou indiretamente na economia de energia elétrica. Isto é, os produtos com o *Sello Fide* apontam para equipamentos ou materiais de alta eficiência energética ou de características tais que permitam contribuir com a economia de energia elétrica.

O *Sello Fide* é um programa voluntário desde junho de 1992. Em 12 de junho de 2012, o Comitê Técnico do FIDE propôs na sessão nº. XCI a classificação do *Sello Fide* em dois: *Sello Fide A* e *Sello Fide B*. Os dois selos mencionados anteriormente têm o mesmo valor, todavia têm um significado distinto com respeito ao produto que estão sendo avaliados. Por exemplo, o *Sello Fide A* é outorgado a equipamentos elétricos ou eletrônicos que utilizam a energia elétrica eficientemente para realizar um trabalho diretamente aproveitável pelo usuário. Já o *Sello Fide B* é outorgado a produtos que não economizam energia elétrica diretamente, mas que podem acarretar potenciais economias de energia elétrica por meio de sua aplicação ou instalação. A fim de eliminar algumas possíveis dúvidas, a Figura 2.8 mostra a pertinência do produto avaliado pelo FIDE em relação aos dois conjuntos: *Sello Fide A* ou *Sello Fide B*.

¹⁵ Os *Fideicomitentes* são a *Confederación de Cámaras Industriales de los Estados Unidos Mexicanos* (CONCAMIN – cf. <http://www.concamin.mx>), a *Convención Nacional de La Industria de Transformación* (CANACINTRA - <http://www.canacintra.org.mx/principal/>), a *Cámara Nacional de Manufacturas Eléctricas* (CANAME - <http://www.caname.org.mx/>), a *Cámara Mexicana de La Industria de La Construcción* (CMIC - <http://www.cmic.org/>), a *Cámara Nacional de Empresas de Consultoría* (CNEC - <http://cnec.org.mx/>) e o *Sindicato Único de Trabajadores Electricistas de la República Mexicana* (SUTERM - http://www.suterm.org.mx/es_ES/index).

¹⁶ A *Fiduciaria* é a *Nacional Financiera, S.N.C.* (NAFIN - <http://www.nafin.com/>), quem outorga faculdades a um delegado fiduciário que se ostenta como advogado da *Fiduciaria*, quem por sua vez delega faculdades ao Diretor Geral da FIDE e este por sua vez aos subdiretores na área de sua competência.

¹⁷ Os *Fideicomisarios* são a *Comisión Federal de Electricidad* (CFE) e os consumidores de energia elétrica se beneficiam dos serviços concedidos pelo *Fideicomiso*.



Figura 2.8 – Os produtos avaliados pelo FIDE e a classificação em *Sello Fide A* ou *Sello Fide B*
 Fonte: Adaptado de FIDE (2012).

Na classificação observada na Figura 2.8, os Inversores para Sistemas Fotovoltaicos (ISF) são avaliados pelo FIDE e os qualificados recebem o *Sello Fide A*, ou seja, os Inversores são contabilizados no produto “11 – Sistemas Fotovoltaicos do *Sello Fide A*”. O documento do FIDE suporte para os ISF é a “Especificación Sello Fide n°. 4176 – Inversores de Voltaje para Sistemas Fotovoltaicos”¹⁸, que é denominado nesta dissertação de Especificação *Sello Fide*. Este documento foi emitido no dia 27 de junho de 2011 e a sua primeira revisão se efetuou em 20 de fevereiro de 2012 (cf. FIDE, 2012). O objetivo da Especificação *Sello Fide* é estabelecer os critérios e os limites energéticos que devem cumprir os modelos de Inversores para obter o *Sello Fide*.

¹⁸ cf. FIDE. *Especificación Sello Fide n°. 4176 – Inversores de Voltaje para Sistemas Fotovoltaicos*. Revisão 1. Cidade do México: Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica, 2012. Documento assinado em: 20 de fevereiro de 2012. Última atualização em: 25 de abril de 2014. 6 pp. Disponível em: <http://www.fide.org.mx/images/stories/sellofide/4176_rev01.pdf>. Acesso em: 9 mai. 2014.

Essa especificação se aplica aos modelos de inversores monofásicos com forma de onda senoidal pura ou senoidal modificada. Contemplam-se os modelos com tensão contínua de entrada de 12 V, 24 V ou 48 V e uma tensão alternada de saída de 110 V até 240 V, frequência de 60 Hz e potência de saída de 100 W até 5.000 W para funcionamento em caso de ilhamento ou conectado à rede elétrica de baixa tensão.

Os modelos de Inversores são agrupados por meio de Família de Produtos (esp. *Familia de Productos*) com topologias compatíveis de eficiência energética e esse agrupamento não depende da quantidade de modelos (cf. FIDE, 2012, p. 2). Denomina-se Modelo Base (esp. *Modelo Base*), um modelo escolhido, normalmente testado, a fim de ser o modelo representativo de uma Família de Produtos. Por outro lado, denominam-se Modelos Consequentes (esp. *Modelos Consecuentes*) o complemento dos modelos da Família de Produtos, ou seja, aqueles modelos que não são contabilizados como Modelo Base.

O procedimento de solicitação da empresa para a obtenção do *Sello Fide* passa pela apresentação dos seguintes documentos à FIDE: (1) Registro do Produto; (2) Certificados de Conformidade; (3) Descrição Técnica do Produto; (4) Esquemáticos; (5) Comprovante de Registro da Empresa em Câmaras ou Associações Mexicanas; (6) Catálogo Comercial e (7) Logotipos em Alta Resolução (300 dpi). A descrição detalhada dessas sete etapas é encontrada na Especificação *Sello Fide* (FIDE, 2012, p. 2-3).

Há três requisitos contemplados a fim de se avaliar o Inversor de Tensão para Sistemas Fotovoltaicos segundo a Especificação *Sello Fide*, a saber: (1) Eficiência Energética; (2) Segurança e (3) Qualidade.

Em relação ao requisito Eficiência Energética, os modelos de Inversores são aprovados pela Especificação *Sello Fide* quando os cinco critérios são satisfeitos conforme a Tabela 2.7.

Tabela 2.7 – Características técnicas e limites para Inversores declarados na Especificação *Sello Fide*.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	LIMITES
Eficiência Total	$\geq 90\%$
Potência em <i>Stand-by</i>	$\leq 1\text{ W}$
Fator de Potência	$\geq 95\%$
Distorção Harmônica Total na Corrente	$\leq 5\%$
Regulação de Tensão de Saída	$\leq 5\%$

Fonte: FIDE (2012).

É oportuno frisar que o Método de Teste (esp. *Método de Prueba*), utilizado pela Especificação *Sello Fide* a fim de comprovar a Eficiência Total dos Inversores, é baseado na

norma vigente da *European Standard* EN 50530 – *Overall Efficiency of Grid Connected Photovoltaic Inverters* (2010).

Em relação ao requisito Segurança, a Especificação *Sello Fide* exige o cumprimento dos requisitos de segurança estabelecidos pela norma da *Underwriters Laboratories Inc. – UL 1741 – Standard for Safety for Inverts, Converters, Controllers and Interconnection System Equipment for Use With Distributed Energy Resources* (1999) ou pela norma da *Canadian Standards Association* CSA 22.2 No. 107.1-M91 – *General Use Power Supplies* (1995), além de cumprir com ao menos seis características de proteção desta lista: (1) baixa tensão; (2) sobretensão; (3) alta ou baixa frequência; (4) funcionamento em caso de ilhamento; (5) contra polaridade invertida; (6) contra falta de terra; (7) sobrecarga; (8) curto-circuito e (9) sobretemperatura. A Especificação *Sello Fide* registra que os modelos de Inversores conectados à rede elétrica devem contar com um endosso de qualidade alinhado com uma das seguintes normas: (1) IEEE Std. 1547 – *Standard for Interconnecting Resources with Electric Power*; (2) IEEE Std. 929 – *Recommended Practice for Utility Interface of Photovoltaic (PV) Systems*; (3) VDE 0126; (4) RD 1663; (5) DK 5940; (6) EN 50160 vigente ou alguma norma equivalente em outro país.

Em relação ao requisito Qualidade, a Especificação *Sello Fide* declara que o Inversor deve cumprir com as características de qualidade oferecidas no seu Catálogo e no Registro do Produto. Além disso, as seguintes características de qualidade de comunicação e ambiental indicadas na Tabela 2.8 e na Tabela 2.9 devem ser cumpridas.

Tabela 2.8 – Características de comunicação para Inversores declarados na Especificação *Sello Fide*.

Características de Comunicação	Sistema de Comunicação
<u>Sistemas de comunicação:</u> Deve contar pelo menos com um dos seguintes sistemas de comunicação.	RS-232
	RS-485
	Ethernet
	USB

Fonte: FIDE (2012).

Tabela 2.9 – Características Ambientais para Inversores declarados na Especificação *Sello Fide*.

Características Ambientais	Especificações
Umidade relativa	0 – 95% sem condensação
Faixa de temperatura de operação	-10 °C até 40 °C
Grau de proteção	Depende do tipo de ambiente onde está o Inversor

Fonte: FIDE (2012).

Ainda no requisito de Qualidade, na Especificação *Sello Fide*, há uma nota em relação à Compatibilidade Eletromagnética (EMC) a fim de observar as exigências de compatibilidade eletromagnética nos modelos de Inversores conforme as normas: (1) IEC 61000-6-1 *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 6-1: Generic standards – Immunity for residential, commercial and light-industrial environments* ou (2) IEC 61000-6-3 *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 6-3: Generic Standards – Emission standard for residential, commercial and light-industrial environments* (FIDE, 2012, p. 4).

A empresa deve colocar a etiqueta do *Sello Fide* sobre os catálogos, embalagens ou produtos dos modelos qualificados, respeitando a proposta de colocação aprovada pelo FIDE e as indicações citadas no “*Manual de Formulación y Aplicación de La Etiqueta del Sello Fide*”¹⁹.

Em relação aos valores de garantia das características energéticas, na base dos valores obtidos nos testes realizados, a empresa deve estabelecer os valores de garantia das características energéticas dos modelos de Inversores qualificados. O valor de garantia oferecido pela empresa pode ser igual ou melhor que o limite adotado pelo *Sello Fide* (cf. FIDE, 2012, p. 4).

Na Especificação do *Sello Fide*, verifica-se a conformidade das características energéticas e, em caso de conformidade, coloca-se a etiqueta do *Sello Fide*. Esse procedimento pode ser aplicado em qualquer momento durante o período de vigência da licença para o uso do *Sello Fide*. Para a revalidação da licença, três documentos são exigidos: (1) a certidão de conformidade, (2) o comprovante de registro e (3) o catálogo comercial do Inversor em questão.

Todos os modelos de Inversores qualificados pelo FIDE foram monofásicos com forma de onda senoidal e com opção de conexão à rede elétrica e estes aparecem na Tabela 2.10 conforme a última atualização do FIDE em 2 de abril de 2014. Participaram desse programa de selo de endosso voluntário duas empresas, a saber: (1) *Fronius México*²⁰ – FM

¹⁹ Para obter informações adicionais sobre o procedimento de etiquetagem do *Sello Fide*, recomenda-se a leitura do *Manual de Formulación y Aplicación de La Etiqueta del Sello Fide*. cf. FIDE. *Manual de Formulación y Aplicación de La Etiqueta del Sello Fide*. Cidade do México: FIDE, Setembro de 2011. Disponível em: <http://www.fide.org.mx/images/stories%20/sellofide/manual_etiqueta_sf.pdf>. Acesso em: 6 mai. 2014.

²⁰ Para informações adicionais sobre os modelos de inversores e produtos correlatos da empresa *Fronius México*, recomenda-se o sítio: FRONIUS MEXICO. *Inversores fotovoltaicos conectados a la red*. Disponível em: <http://www.fronius.mx/>. Acesso em: 9 mai. 2014.

(data de vencimento da licença: 9 de outubro de 2014) e (2) *Solarever Tecnología de América*²¹ – STA (data de vencimento da licença: 26 de março de 2015).

Tabela 2.10 – Modelos de Inversores qualificados com o *Sello Fide*.

Empresa	Modelo	Tensão de Entrada (V_{cc})	Tensão de Saída (V_{ca})	Potência de Saída (kW)	Eficiência (%)
FM	IG 2000	150 – 400	208 / 240	1,80	93
FM	IG 3000	150 – 400	208 / 240	2,50	93
FM	IG 4000	150 – 400	208 / 240	4,00	93
FM	IG 5000	150 – 400	208 / 240	5,10	93
FM	IG PLUS V 3.0	230 – 500	208 / 240 / 277	3,00	93
FM	IG PLUS V 3.8	230 – 500	208 / 240 / 277	3,80	93
FM	IG PLUS V 5.0	230 – 500	208 / 240 / 277	5,00	94
STA	JSI-5000TL	550	184 – 265	5,00	96
STA	JSI-3000TL	500	184 – 265	3,00	96
STA	JSI-1500TL	450	184 – 265	1,50	96

Fonte: FIDE (2012).

Os modelos de Inversores qualificados no programa voluntário do *Sello Fide* são mostrados nas Figuras 2.9 e 2.10.



Série IG



Série IG Plus

Figura 2.9 – Inversores da *Fronius México*: Séries IG e IG Plus.

Fonte: FIDE (2012).

²¹ Para informações adicionais sobre os modelos de inversores e produtos correlatos da empresa *Solarever Tecnología de América*, recomenda-se o sítio: SOLAREVER TECNOLOGÍA DE AMÉRICA. *Inverters*. Disponível em: <http://www.solar-ever.com/product_detail.asp?ID=1318>. Acesso em: 9 mai. 2014.



Série JSI

Figura 2.10 – Inversor da *Solarever Tecnología de América*: Série JSI.
Fonte: FIDE (2012).

2.4. Programa de etiquetagem em inversores no contexto nacional

No contexto nacional, há dois programas de etiquetagem norteadores, a saber: Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) e o Selo Procel de Economia de Energia (Selo Procel). Além dos programas de etiquetagem, devem-se registrar outras ações brasileiras para a disseminação do sistema fotovoltaico, como por exemplo:

- A REN ANEEL n° 83 de 20 de setembro de 2004, que “estabelece os procedimentos e as condições de fornecimento por intermédio de Sistemas Individuais de Geração de Energia Elétrica com Fontes Intermitentes – SIGFI” e que oferecia subsídios ao Programa Luz para Todos. Em 5 de julho de 2012, a REN ANEEL n° 493 estabeleceu “os procedimentos e as condições de fornecimento por meio de Microssistema Isolado de Geração e Distribuição de Energia Elétrica – MIGDI ou Sistema Individual de Geração de Energia Elétrica com Fonte Intermitente – SIGFI”;
- As ações do Grupo de Trabalho de Fotovoltaica (GT-FOT) criado em 9 de dezembro de 2002;
- As iniciativas de promoção da Geração Distribuída Fotovoltaica (GDF) por meio da REN ANEEL 481, que estabelece um “desconto de 80% para os empreendimentos que entrarem em operação comercial até 31 de dezembro de 2017” (ANEEL, 2012a). Já a REN ANEEL 482 de 17 de abril de 2012 “estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de

compensação de energia elétrica, e dá outras providências” (ANEEL, 2012b). Ladeira (2013, pp. 14 - 31) descreveu sobre os marcos regulatórios que auxiliaram a promoção da Geração Distribuída Fotovoltaica (GDF) no Brasil, como por exemplo: o Decreto 5.163/04 de 30 de julho de 2004; a Consulta Pública 15/2010; a Chamada para o Programa de P&D da ANEEL 13/2011; a Audiência Pública 042/2011; a REN ANEEL 481/2012 e a REN ANEEL 482/2012.

2.4.1. Programa Brasileiro de Etiquetagem

O Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) é coordenado pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro), onde se concentra nos assuntos de eficiência energética. Segundo o encarte das “Orientações Gerais para Fabricantes e Importadores sobre a Regulamentação de equipamentos para geração fotovoltaica”²² elaborado pelo Inmetro (2015, p. 3), os dois objetivos do PBE são: a) Prover informações úteis que influenciem a decisão de compra dos consumidores, que podem levar em consideração outros atributos, além do preço, no momento da aquisição do produto e b) Estimular a competitividade da indústria, por intermédio da indução do processo de inovação e desenvolvimento tecnológico promovido pela escolha consciente dos consumidores.

O PBE está alinhado com as ações descritas da Lei 10.295 de 17 de outubro de 2001, conhecida também como Lei da Eficiência Energética. Com este fundamento legal, o Inmetro trabalha para cumprir as “exigências relacionadas ao desempenho dos produtos no campo compulsório baseando-se no estabelecimento de níveis mínimos de eficiência energética pelo Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética (CGIEE)” (cf. INMETRO, 2003, p. 3).

É digno de registro que a Etiquetagem sob a égide do Inmetro é a forma de evidenciar o atendimento a requisitos de desempenho estabelecidos em normas e regulamentos técnicos. A Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) é um selo de conformidade aplicado aos programas de eficiência energética, que classifica os equipamentos, veículos e edifícios em faixas coloridas, em geral de “A” (mais eficiente) a “E” (menos eficiente). Além disso, são fornecidas outras informações relevantes, como, por

²² INMETRO (2015). Orientações Gerais para Fabricantes e Importadores sobre a Regulamentação de Equipamentos para geração de energia fotovoltaica. Atualizado em 20 de março de 2015. Disponível em: <http://www2.inmetro.gov.br/pbe/pdf/guia_de_orientacoes_PBE_fotovoltico.pdf>. Acesso em: 8 abr. 2015.

exemplo: a área externa do módulo (m²), a produção média mensal de energia (kWh/mês) e a potência nas condições padrão (W) para a ENCE de módulo fotovoltaico.

São parceiros do PBE o Programa Nacional da Racionalização do Uso de Derivados do Petróleo e do Gás Natural (Conpet) e o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel), que são duas iniciativas governamentais operacionalizadas pela Petrobras e Eletrobras respectivamente.

Os produtos abrangidos pela regulamentação do PBE são classificados de acordo com o programa, o mecanismo (i.e. declaração do fornecedor, inspeção ou certificação) e o caráter (i.e. compulsório ou voluntário) - vide Tabela 2.11.

Tabela 2.11 – Produtos abrangidos pela regulamentação do PBE.

Programas	Mecanismo	Caráter
Aparelhos elétricos de aquecimento de água (chuveiro, torneiras e aquecedores tipo passagem e acumulação)	Declaração do Fornecedor	Compulsório
Aquecedores de água a gás, tipos instantâneo e de acumulação	Declaração do Fornecedor	Compulsório
Bombas centrífugas	Declaração do Fornecedor	Compulsório
Condicionadores de ar	Declaração do Fornecedor	Compulsório
Edificações comerciais, de serviços e públicos	Inspeção	Voluntário
Edificações residenciais	Inspeção	Voluntário
Equipamentos para aquecimento solar de água (Reservatórios térmicos, Coletores solares para aplicação banho e piscina, sistemas acoplados)	Declaração do Fornecedor	Voluntário
Fogões e fornos a gás	Declaração do Fornecedor	Compulsório
Fornos de microondas	Certificação	Compulsório
Fornos elétricos comerciais	Certificação	Compulsório
Lâmpadas incandescentes de uso doméstico	Declaração do Fornecedor	Compulsório
Lâmpadas incandescentes de uso decorativo	Declaração do Fornecedor	Voluntário
Lâmpadas fluorescentes compactas com reator integrado à base	Declaração do Fornecedor	Compulsório
Reatores eletromagnéticos para lâmpadas vapor de sódio a alta pressão e Vapor Metálico (Halogenetos)	Certificação	Compulsório
Lavadoras de roupa	Declaração do Fornecedor	Compulsório
Motores elétricos trifásicos de indução com rotor gaiola de esquilo – alto rendimento.	Declaração do Fornecedor	Compulsório
Sistemas e equipamentos para energia fotovoltaica (módulos, inversores, controladores e baterias)	Declaração do Fornecedor	Compulsório
Televisores	Declaração do Fornecedor	Compulsório
Transformadores para rede de distribuição em líquido isolante	Declaração do Fornecedor	Voluntário
Veículos leves de passageiros e comerciais leves	Declaração do Fornecedor	Voluntário
Ventiladores de mesa, de coluna e circuladores de ar	Certificação	Compulsório
Ventiladores de teto	Declaração do Fornecedor	Compulsório

Fonte: INMETRO (2015).

O PBE Fotovoltaico foi implementado em caráter compulsório por intermédio da Portaria INMETRO n° 004/2011, de 4 de janeiro de 2011 (INMETRO, 2011). A finalidade desta legislação é o estabelecimento de regras equânimes para os equipamentos de geração de energia fotovoltaica. O PBE Fotovoltaico contempla quatro equipamentos, a saber: (1) módulos (placas fotovoltaicas), (2) controladores de carga, (3) inversores e (4) baterias estacionárias de baixa intensidade de descarga para aplicação fotovoltaica.

Deve-se atentar a que os denominados Requisitos de Avaliação da Conformidade, mais conhecido pela sigla RAC, estão anexados à Portaria INMETRO n° 004/2011 e contêm informações relevantes como, por exemplo: os prazos de adequação, documentos de referência, definições, etapas, instruções para o Registro no INMETRO, as obrigações e responsabilidades dos fornecedores de equipamentos para geração fotovoltaica (cf. INMETRO, 2015, p. 5).

2.4.2. Selo Procel

O Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel) é o programa do governo brasileiro, coordenado pelo Ministério de Minas e Energia – MME e executado pela Eletrobras, destinado a promover o uso eficiente da energia elétrica e combater o seu desperdício. O Programa atua por meio da implementação de projetos de interesse da nação, lançando mão de importantes parceiros, como é o caso dos fabricantes e suas associações de classe.

Instituído em 1993, o Selo Procel é concedido aos equipamentos comercializados no país que são mais eficientes no consumo de energia elétrica e amigáveis ao meio ambiente. No ano de 2015, contou com a participação de 190 fabricantes e alcançou a marca de 39 categorias de equipamentos. Com isso, mais de 44 milhões de equipamentos com o Selo Procel foram vendidos em 2015, possibilitando uma economia de energia próxima de 11,7 TWh, o que corresponde a cerca de 2,5% de todo o consumo nacional (cf. ELETROBRAS, 2015).

Esta dissertação tem o objetivo de contribuir com uma metodologia de tomada de decisão para entrada de ISFs no portfólio do Selo Procel.

2.5. Considerações finais

Foram expostas as características técnicas e normativas associados ao Inversor para Sistema Fotovoltaico (ISF) e o estado da arte dos programas de etiquetagem em inversores no contexto internacional e nacional. A primeira exposição tratou de como obter os fatores técnicos essenciais e o critério de viabilidade como subsídio de uma metodologia de tomada de decisão. A segunda exposição tratou da experiência internacional e nacional e como se desenvolveram tais programas de etiquetagem.

Em relação às características técnicas do ISF, foram feitas duas pesquisas, a saber: (1) identificação dos fatores técnicos essenciais dos ISFs por meio dos manuais de diversos fabricantes e (2) identificação das normas e recomendações nacionais e internacionais a fim de verificar o critério de aprovação de um parâmetro ensaiado do ISF. Na primeira pesquisa, observaram-se quatro fatores essenciais, a saber: dados de entrada, dados de saída, dados gerais e dados de segurança. Estes fatores técnicos essenciais têm seus elementos definidos, ou seja, os parâmetros técnicos (e.g. tensão de entrada CC, tensão de saída CA, frequência, THD, eficiência energética). Estes parâmetros são ensaiados em laboratórios acreditados ou designados conforme uma norma ou recomendação. Na segunda pesquisa, foram listadas normas ou recomendações de ISFs a fim de se identificarem os critérios de viabilidade técnica do equipamento em análise. No contexto brasileiro, os ISFs estão alicerçados pelo Anexo III da Portaria INMETRO nº 004/2011 (INMETRO, 2011) com retificações dadas pela Portaria INMETRO 357/2014 (INMETRO, 2014). Além disso, essas portarias se referenciam a outras fontes normativas como: ABNT NBR IEC 62.116, ABNT NBR 16.149 e a ABNT NBR 16.150. Logo, as pesquisas supracitadas oferecem dois subsídios, a saber: os fatores técnicos essenciais (primeira pesquisa) e o critério de viabilidade técnica (segunda pesquisa), subsídios estes importantes para uma metodologia de tomada de decisão.

Em relação aos programas de etiquetagem, foram apresentadas as experiências dos alemães, dos indianos e dos mexicanos. Nesse contexto internacional, foram descritos de forma resumida as principais instituições envolvidas, as normas e recomendações adotadas, os critérios estabelecidos e o tipo de etiqueta adotada. De forma semelhante, no contexto nacional, foi apresentado o estado da arte do Programa Brasileiro de Etiquetagem para Sistemas Fotovoltaicos descritos pela Portaria INMETRO nº. 004/2011, dada pela redação da Portaria Inmetro nº 357/2014. São nessas Portarias do INMETRO que se encontram as referências normativas como critério de viabilidade técnica para a metodologia de tomada de decisão.

3. Sobre a Lógica Paraconsistente Anotada Evidencial $E\tau$

3.1. Considerações iniciais

Neste capítulo, sob o título "Sobre a Lógica Paraconsistente Anotada Evidencial $E\tau$ ", é apresentada uma seção (3.2) com as noções fundamentais de lógica a fim de inserir as palavras-chave utilizadas por especialistas em Lógica Paraconsistente (LP). A seção (3.3) mostra um panorama histórico sobre o surgimento e o desenvolvimento da LP até as primeiras publicações sobre a Lógica Paraconsistente Anotada (LPA). É oportuno sugerir a abordagem detalhada de Haack (2002, pp. 207-227) como consulta histórica e filosófica sobre a transição da formulação do aparato lógico clássico e as solicitações por melhora do formalismo clássico, da ampliação por meio de lógicas alternativas ou substituição deste aparato clássico por lógicas não clássicas. No seio deste debate, observa-se a aparição da Lógica Paraconsistente Anotada Evidencial $E\tau$ (LPA $E\tau$) e suas características essenciais para a interpretação do Método Paraconsistente de Decisão (MPD). Encerra-se com os recursos necessários para utilizar o MPD proposto na tese doutoral de Carvalho (2006). A descrição pormenorizada do MPD é assunto do próximo capítulo. Para alcançar a finalidade deste capítulo, foram elaboradas além dessa seção introdutória (3.1) mais cinco seções de desenvolvimento, onde se faz, neste momento, um resumo:

- (1) **“Notas fundamentais de Lógica Paraconsistente”** → Trata-se de uma apresentação de palavras-chave utilizadas por especialistas em lógica, como por exemplo: as ideias de trivialidade e de consistência (i.e. não contrariedade), que são pontos essenciais para o entendimento da LP. Não se pretende nesta dissertação elaborar um manual de lógica matemática. Todavia, para os leitores interessados, sugerem-se as obras: Alan Hamilton (2000), Benedito Castrucci (1986), Cezar Augusto Mortari (2001), Edgard de Alencar Filho (2002), Elliot Mendelson (1997), Heinz-Dieter Ebbinghaus, Jörg Flum e Wolfgang Thomas (2013), Hércules de Araújo Feitosa e Leonardo Paulovich (2005), Jacob Daghliah (2008), John Lane Bell e Moshé Machover (1977), John Nolt e Dennis Rohatyn (1991), José Ferrater Mora e Hugues Leblanc (1992), Joseph Robert Shoenfield (1967), Newton Carneiro Affonso da Costa (2008), Steven Cole Kleene (1952) e Wesley Charles Salmon (2002).

- (2) **“Da LP à LPA E τ ”** → Trata-se de uma visão panorâmica da LP até viçar a LPA. Para isso, utilizou-se, o esquema de periodização proposto por Béziau (cf. DA COSTA, BÉZIAU, BUENO, 1998, pp. 99-112). Nesta seção (3.3), não tem a finalidade de apresentar tópicos importantes da história da lógica da Antiguidade Clássica, dos Medievais, da Renascença etc. Todavia, para os leitores interessados, sugerem-se os tratados de história da lógica: Anton Dumitriu (1977), Heinrich Scholz (1959), Jørgen Jørgensen (1931), Józef Maria Bocheński (1957; 1966), Nicholai Ivanovich Styazhkin (1969), Robert Blanché (2001), Tadeusz Kotarbinski (1964), Thomas Drucker (1991) e William Kneale e Martha Kneale (1991).
- (3) **“Lógica Paraconsistente Anotada Evidencial E τ ”** → Trata-se de uma introdução sobre a LPA E τ , baseando-se na apostila (ABE, DA SILVA FILHO; CELESTINO; DE ARAUJO, 2011) encaminhado por Jair Minor Abe para o e-mail do autor desta dissertação. Outras referências sobre LPA E τ são encontradas em: Jair Minor Abe (1992), João Inácio da Silva Filho (1997; 1999) e Helga Gonzaga Martins (2003). No capítulo seguinte, será exemplificado o uso da LPA E τ como forma de descrever o método de tomada de decisão, ou seja, o MPD.
- (4) **“Considerações finais”** → Os pontos essenciais das quatro seções anteriores são revisitados de forma resumida com as devidas conclusões do capítulo.

3.2. Notas fundamentais da Lógica Paraconsistente

Inicia-se, esta seção (3.2), com noções fundamentais da Lógica Clássica até conseguir viçar os termos técnicos empregados em uma LP. Além disso, é objetivo desta seção (3.2) entregar os subsídios necessários para a compreensão do *status* histórico da seção (3.3) e para a exposição dos fundamentos da LPA E τ .

Concentra-se, neste momento, não nas lógicas tradicionais (e.g. as lógicas aristotélicas ou megárica-estoica), mas na lógica contemporânea iniciada por Gottlob Frege (1848 - 1925), cujo marco inicial, em 1879, foi a obra alemã *Begriffsschrift*²³ (port. “Conceitografia” ou “Ideografia”). Esta nova concepção da lógica ganhou pela pena de Frege

²³ Para futura pesquisa, a referência bibliográfica completa é: FREGE, Gottlob. *Begriffsschrift, eine der arithmetischen nachgebildete Formelsprache des reinen Denkens*. Halle: Louis Nebert, 1879.

“uma linguagem artificial e extensões de análise apropriadas ao discurso matemático” (FEITOSA; PAULOVICH, 2005, p. 8). Além disso, é oportuno destacar que, o discurso matemático se apoia na abstração e no método dedutivo. Todavia, não cerceia a possibilidade do matemático usar a intuição e a observação em sua atividade. Esta informação nos remete a uma declaração destacada por Feitosa e Paulovich (2015, p. 9): “não se pode demonstrar todas as leis de uma teoria”. As primeiras leis, onde não há leis anteriores a partir das quais estas possam ser consequências, são denominadas de axiomas. As leis remanescentes, deduzidas a partir dos axiomas, são denominadas teoremas. Um sistema com a descrição supracitada é denominado de sistema axiomático ou teoria. Outro fato interessante está relacionado à presença de conceitos notáveis no desenvolvimento de uma teoria. Feitosa e Paulovich (2005) resume o assunto dessa maneira:

Quando, no desenvolvimento de uma teoria, surge um conceito notável, no sentido de ser importante e com presença frequente, descreve-se este conceito de maneira que caracterize exatamente quanto o conceito está presente e quando não está. Nesse caso, entendemos que uma *definição* foi dada. De maneira semelhante aos teoremas, busca-se definir um conceito a partir de outros já conhecidos e, analogamente, nessa regressão, surgirão alguns primeiros conceitos sem definição, pois não podem ser obtidos de nenhum anterior. Estes são denominados de *conceitos primitivos*; e os remanescentes são denominados *conceitos derivados*. Os conceitos primitivos surgem nos axiomas (FEITOSA; PAULOVICH, 2005, p. 9).

Neste momento, já se pode destacar dois aspectos de um sistema axiomático, a saber: o sintático e o semântico. Caracteriza-se por aspecto sintático, o estudo dos axiomas e teoremas de um sistema vistos como expressões simbólicas, sem que lhes seja atribuído qualquer significado. Já o aspecto semântico, é o estudo do significado dessas expressões. Então, é dito que estamos diante de um sistema formal, quando está caracterizado o aspecto sintático de uma teoria ou sistema axiomático.

Dois pontos devem ser considerados neste momento a fim de introduzir os conceitos fundamentais da LP. Em primeiro lugar, três princípios fundamentais da lógica clássica são enunciados acerca dos aspectos sintáticos e semânticos, conforme observado na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Os três princípios da lógica clássica e seus aspectos sintático e semântico.

NOME DO PRINCÍPIO	ASPECTO SINTÁTICO	ASPECTO SEMÂNTICO
Princípio da Identidade	$A \rightarrow A$	Uma proposição verdadeira é sempre verdadeira, e uma falsa, sempre falsa.
Princípio do Terceiro Excluído	$A \vee \neg A$	Dadas duas proposições contraditórias, isto é, uma das quais sendo a negação da outra, uma delas é verdadeira.
Princípio da Não Contradição	$\neg (A \wedge \neg A)$	Dadas duas proposições contraditórias, isto é, uma das quais sendo a negação da outra, uma delas é falsa.

Fonte: Tabela elaborada a partir das definições dadas por Krause (2013, pp. 20-23).

Em segundo lugar, as noções de consistência (i.e. não contraditoriedade) e de trivialidade devem ser definidas e, para isso, emprega-se a definição dada por Arruda (1990).

Diz-se que uma teoria T é *inconsistente* se nela existe pelo menos uma fórmula A tal que A e sua negação, $\neg A$, são ambas teoremas de T ; em caso contrário, T é *consistente*.

Uma teoria T é *trivial* quando o conjunto de seus teoremas coincide com o conjunto das fórmulas de sua linguagem, isto é, se toda fórmula for teorema; em caso contrário, diz-se que a teoria é *não trivial*. (ARRUDA, 1990, p. 4).

A partir das conceituações mencionadas, “diz-se que uma *lógica é paraconsistente* quando ela pode ser usada como lógica subjacente de uma teoria inconsistente e não-trivial. Diz-se que uma *teoria é paraconsistente* quando a sua lógica subjacente for paraconsistente” (ARRUDA, 1990, p. 4). Nesse ponto, vale frisar que na Lógica Clássica, as noções de inconsistência (i.e. contraditoriedade) e de trivialidade, de fato, são estreitamente conectadas, enquanto, estas noções são independentes na LP (cf. GOMES, 2013, pp. 3-4).

Uma LP pode ser *fraca* ou *forte*. Denomina-se de *LP fraca* quando esta “pode servir de base tanto para teorias paraconsistentes, quanto para teorias consistentes”. E se chama *LP forte* quando esta “só pode servir de base para teorias paraconsistentes” (ARRUDA, 1990, p. 4).

Um ponto de destaque a observar é o Princípio da Explosão ou Princípio do Pseudo-Scotus (PPS) ou o também denominado *ex falso sequitur quodlibet*²⁴, ou simplesmente *ex falso*. Carnielli e Coniglio (2008, p. 164) nos auxiliam a expor acerca do Princípio da Explosão,

Na maioria dos sistemas lógicos, em especial na lógica clássica, assume-se o preceito básico de que contradições numa teoria, ou num argumento, levam (mais ainda, equivalem) à trivialização dedutiva. Este fenômeno é frequentemente chamado de Princípio da Explosão. Assim, uma das propriedades fundamentais da negação assegura que de A e $\sim A$ derivam-se todas as outras sentenças da linguagem. Em termos formais,

$$A, \sim A \vdash B$$

Onde $\vdash$ denota uma relação de consequência lógica. Podemos representar esta situação por meio da seguinte equação:

$$\text{Contradição} = \text{Trivialização}$$

As Lógicas da Inconsistência Formal [...] são lógicas paraconsistentes. Isto é, tolerantes a contradições no sentido em que o Princípio de Explosão não vale irrestritamente. Essa ampliação do espaço lógico é expressa refinando-se a equação acima, através do acréscimo da hipótese de consistência das premissas envolvidas na contradição, obtendo-se então uma nova equação:

$$\text{Contradição} + \text{Consistência} = \text{Trivialização}$$

De forma semelhante, Gomes (2013, p. 4) destaca: “uma tese da lógica clássica é a associação à sua trivialização e ao Princípio da Não Contradição é o *ex falso sequitur quodlibet*, ou simplesmente *ex falso*, também conhecido, equivocadamente como Lei de Scotus ou Pseudo-Scotus”. E Gomes (2013, p. 5) continua,

O *ex falso* é uma tese, relacionada ao Princípio da Não Contradição, que indica que o sistema lógico no qual ela vale torna-se trivial mediante a presença de contradição. Este é o caso, por exemplo, da lógica clássica e da intuicionista. Tal tese é denotada pelas fórmulas

$$(A \wedge \neg A) \rightarrow B$$

ou

$$A \rightarrow (\neg A \rightarrow B)$$

E exprimem precisamente que, a partir de uma contradição, toda fórmula da linguagem é demonstrada. A primeira das fórmulas anteriores consiste na versão conjuntiva do *ex falso*, enquanto que a segunda, denota a forma condicional ou implicativa do resultado. Todavia, em qualquer lógica paraconsistente não é possível, em geral, deduzir todas as fórmulas bem formadas a partir de uma fórmula qualquer A e sua negação $\neg A$.

²⁴ O enunciado latino *ex falso sequitur quodlibet* se verte para o português como – “do falso se segue qualquer coisa” [minha tradução]. As variações deste enunciado já podem ser observadas nas duas formulações de Pedro Hispano (1215-1277) – *ex impossibili sequitur quodlibet* (port. “do impossível qualquer coisa se segue”) e *ex quodlibet sequitur necessarium* (port. “o necessário se segue de qualquer coisa”).

Nesse contexto, pode-se definir a paraconsistência *lato sensu* e a paraconsistência *stricto sensu*. Quando se restringe o *ex falso sequitur quodlibet*, estamos diante de uma paraconsistência *lato sensu*. Já para os casos de derrogação do *ex falso sequitur quodlibet*, se tem uma paraconsistência *stricto sensu*.

3.3. Da LP à LPA $E\tau$

O objetivo desta seção (3.3) é um corte histórico panorâmico desde 1910 com as contribuições Łukasiewicz (1878-1956) e Vasil'ev (1880-1940) à LP até as primeiras publicações sobre a LPA. Não obstante, uma história da lógica paraconsistente foi tratada nas seis centenas de páginas da tese doutoral de Gomes (2013), cujo título foi “Sobre a história da paraconsistência e a obra de da Costa: a instauração da Lógica Paraconsistente”. Nesta tese, Gomes identificou evidências de uma LP *lato sensu* em Heráclito de Éfeso (c. 540-480 a.C.), em Zenão de Eléia (c. 489 - 430 a.C.) e em Platão de Atenas (c. 428 - 348 a.C.) e até uma LP *stricto sensu* em Aristóteles de Estagira (c. 384 - 322 a.C.). Desse modo, Gomes dividiu a sua pesquisa doutoral em duas partes, a saber: (1) a pré-história da lógica paraconsistente e (2) paraconsistência contemporânea. Na primeira parte, ele subdividiu em dois capítulos, onde se pesquisou sobre os elementos lógicos paraconsistentes: (1) em autores antigos e (2) em autores medievais. Na segunda parte, ele também subdividiu em dois capítulos: (1) prelúdio às lógicas não clássicas e (2) o estádio da paraconsistência. A tese doutoral de Gomes deve ser consultada a fim de obter informações detalhadas sobre a história da LP.

Nesta seção (3.3), adotou-se o esquema de periodização de Béziau (cf. In: DA COSTA, BÉZIAU, BUENO, 1998, pp. 99-112). Inicialmente, os quatro períodos para a reflexão, a origem, o desenvolvimento e os novos horizontes da LP são respectivamente nas palavras de Béziau: (1) a gestação: 1910-1963; (2) o nascimento e a infância: 1963-1976; (3) o batismo e a adolescência: 1976-1991 e (4) a idade da razão: a partir de 1991. É no terceiro período que a LPA tem sua origem e, no último período, que se desenvolve. O objetivo desta seção é mostrar esses pontos importantes da LP até a LPA.

3.3.1. A gestação: 1910-1963

O período de gestação da LP inicia-se em 1910 com as reflexões do polonês Jan Łukasiewicz (1878-1956) e do russo Nikolai Aleksandrovich Vasil'ev (1880-1940). Em 1963, encerra-se este período, pois a tese “Sistemas Inconsistentes Formais” de Professor de Cátedra

de Newton da Costa foi publicada, ou seja, nasceu a LP! Os detalhes das contribuições de Łukasiewicz e Vasil'ev para a LP são apresentados separadamente a seguir.

A contribuição de Jan Łukasiewicz (1878-1956)

Em 1910, o logicista polonês Jan Łukasiewicz (1878-1956) publicou o artigo em polonês intitulado: *O zasadzie sprzeczności u Arystotelesa*. No mesmo ano, esse artigo em polonês foi traduzido para o alemão sob o título: *Über den Satz des Widerspruchs bei Aristoteles* (i.e. Sobre o princípio da contradição em Aristóteles²⁵) e publicado no *Boletim Internacional da Academia das Ciências de Cracóvia*. O artigo de Łukasiewicz expõe sobre as conquistas no campo da lógica simbólica, a necessidade de revisão do Princípio da Não Contradição (PNC) elaborado por Aristóteles e aponta para a existência de problemas não resolvidos limitados pelo paradigma do PNC.

A necessidade de uma revisão do princípio da contradição parece impor-se como consequência direta do considerável progresso alcançado pela lógica simbólica – que foi fundada por G. Boole, e que progrediu bastante com os trabalhos de De Morgan, Peirce, Schröder, Frege, Peano, B. Russell etc. Não se pode dissimular o fato de que a lógica simbólica moderna, face à lógica formal tradicional e, em particular a *lógica de Aristóteles*, apresenta e significa algo próximo ao aperfeiçoamento da geometria moderna em relação aos *Elementos de Euclides*. No decurso do século XIX o exame minucioso do postulado das paralelas conduziu a novos sistemas de geometrias não-euclidianas, da mesma maneira não se pode excluir inteiramente a suposição de que uma revisão fundamental das leis sobre as quais repousa a lógica de Aristóteles possa constituir o ponto de partida de novos sistemas lógicos não-aristotélicos. E, mesmo que os princípios aristotélicos da lógica venham a ser definitivamente confirmados, eles fornecerão ao pesquisador moderno uma profusão de problemas não resolvidos (Łukasiewicz, 1910 [1996]).

A pesquisa de Łukasiewicz na *Metafísica*²⁶ de Aristóteles evidenciou uma formulação tríplice do PNC. A fim de resumir os resultados 1 e 2 do artigo de Łukasiewicz (1910), foi elaborada a Tabela 3.2. É digno de registro que, a fonte primária utilizada por Łukasiewicz foi a *Metafísica* de Aristóteles e segue a interpretação do logicista polonês.

²⁵ Łukasiewicz, Jan (1910). “Sobre o princípio da contradição em Aristóteles”. Trad. T. B. Mazzotti, 1996. Disponível em: <<http://www.mazzotti.pro.br/styled/downloads-4/files/lukasiewiczcontaristoteles.pdf>>. Acesso em: 27 jun. 2014. Esse artigo em português foi traduzido em 1996 da versão francesa de Michel Narcy e Barbara Cassin. Já a versão francesa foi traduzida do texto alemão publicado no Boletim Internacional da Academia das Ciências da Cracóvia, classe de história e de filosofia, 1910, p. 15-38, sob o título: *Über den Satz des Widerspruchs bei Aristoteles*.

²⁶ O termo Metafísica utilizado para se referir o agrupamento de livros de Aristóteles sobre a reflexão da ciência que se ocupa da realidade foi cunhada provavelmente por Andôncio de Rodes. Aristóteles não utilizou tal verbete e preferiu a locução “filosofia primeira” (cf. REALE, 2012, pp. 53-80). Para detalhes do texto grego, tradução, comentários e ensaio introdutório da Metafísica de Aristóteles, são sugeridos os três volumes organizados por Giovanni Reale (2014a, 2014b, 2014c).

Tabela 3.2 – Resultados de Łukasiewicz (1910) acerca do PNC nos textos aristotélicos.

FORMULAÇÃO	FONTE PRIMÁRIA	CITAÇÃO DA FONTE	INTERPRETAÇÃO
Ontológica	<i>Metafísica</i> Γ, 3, 1005b 19-20	É importante que o mesmo, ao mesmo tempo e do mesmo ponto de vista, ao mesmo tempo pertença e não pertença.	Em algum objeto a mesma característica não pode, ao mesmo tempo pertencer e não pertencer.
Lógica	<i>Metafísica</i> Γ, 6, 1011b 13-14	O mais seguro de todos os princípios é que as proposições contraditórias não são verdadeiras ao mesmo tempo.	Duas proposições contraditórias não podem ser verdadeiras ao mesmo tempo
Psicológica	<i>Metafísica</i> Γ, 6, 1005b 23-24	Ninguém pode acreditar que o mesmo seja e não seja (ao mesmo tempo).	Dois atos de crença, correspondentes a duas proposições contraditórias não podem ter lugar ao mesmo tempo na mesma consciência.

Fonte: Elaboração própria.

Apesar de Aristóteles ter elaborado o PNC na *Metafísica*, Béziau aponta um detalhe relacionado ao artigo *Sobre o princípio da contradição em Aristóteles* de Łukasiewicz: “Segundo Łukasiewicz, o próprio Aristóteles não teria acreditado fundamentalmente no valor absoluto do princípio da contradição; aliás, a análise detalhada apresentada por ele dos argumentos que Aristóteles formula para ‘justificar’ o princípio da contradição mostra que tais argumentos são insatisfatórios” (BÉZIAU, In: DA COSTA, BÉZIAU, BUENO, 1998, pp. 99-100). Outra abordagem do PNC em Aristóteles é encontrada na tese doutoral de Gomes (2013, pp. 53 - 102), que estudou a contradição e não trivialidade em Aristóteles e pesquisou sobre o caráter paraconsistente nas obras de lógica do Estagirita empregando métodos lógico-hermenêuticos. Apresenta-se uma percepção da pesquisa de Gomes sobre a paraconsistência em Aristóteles.

Apesar de não deixar isso explícito, a tese de que o Estagirita propusera resultados de caráter paraconsistente é corroborada por diferentes situações teóricas por ele estudadas. Na primeira, nos *Primeiros Analíticos* (B15 63b 22-64b 27), ele explica como silogismos válidos a partir de premissas opostas (contrárias ou contraditórias) podem ser obtidos. Na segunda, nos *Segundos Analíticos* (A11 77a 5-35), Aristóteles mostra que o Princípio da Não Contradição não é pressuposto geral de qualquer demonstração (silogismo científico), mas apenas daquelas em que a conclusão deva ser provada a partir dele. Ao estabelecer estes resultados, Aristóteles desafia seus intérpretes a explicar como eles podem ser colimados, a fim de produzir uma compreensão coerente de sua teoria dedutiva, frente a posições vigorosamente defendidas por ele, por exemplo, no Livro Γ da *Metafísica*. Nessa obra, como se sabe, ele sustenta o Princípio da Não Contradição que, à primeira vista, parece

incompatível com alguns dos resultados acima mencionados. (GOMES, 2013, p. 53).

Neste contexto, Gomes ainda declara,

[...] é possível interpretar a demonstração aristotélica dos *Segundos Analíticos* (A11) em termos contemporâneos, formalizando-a na lógica paraconsistente *stricto sensu* C_1^* de da Costa [...] o primeiro sistema de sua hierarquia de cálculos de predicados paraconsistentes de primeira ordem C_n^* , $1 \leq n \leq \omega$. (GOMES, 2013, p. 54).

A reflexão de Łukasiewicz sobre as três formulações do PNC de Aristóteles (i.e. ontológica, lógica e psicológica) se resume com a seguinte declaração: “[Łukasiewicz] rejeitou cada uma delas [as três formulações supramencionadas], argumentando que tal princípio não é válido sem restrições” (DA COSTA; BUENO, In: BRANQUINHO; MURCHO; GOMES, 2006, p. 570).

A contribuição de Nikolai Aleksandrovich Vasil’év (1880-1940)

Nikolai Aleksandrovich Vasil’év (1880-1940) foi médico e professor de Filosofia na Universidade de Kazan (Rússia). Ele escreveu quatro artigos em russo com a finalidade de mostrar a possibilidade de derrogação do princípio do terceiro excluído e, em 1925, apresentou um resumo das ideias principais desses artigos no *V Congresso Internacional de Filosofia* em Nápoles. Na Tabela 3.3, apresenta-se um resumo dos artigos de Vasil’év.

Tabela 3.3 – Artigos de Vasil’év (1910; 1911; 1912; 1913).

ANO	NOME DO ARTIGO	OBJETIVO DO ARTIGO
1910	Sobre proposições particulares, o triângulo de oposições e a lei do quarto excluído. [Original em russo: <i>O častnyh suždéníáh, o tréugol’niké protivopoložnostěj, o zakoné isklučěnnog četvěrtogo</i>]	No artigo de 1910, é mostrada a possibilidade de derrogar o princípio do terceiro excluído
1911	Lógica imaginária: resumo de uma palestra [Original em russo: <i>Voobražaemaá logika: kosnpékt lektisii</i>]	Nos artigos de 1911, 1912 e 1913, é mostrada a possibilidade de derrogar o princípio da (não) contradição
1912	Lógica (não-aristotélica) imaginária [Original em russo: <i>Voobražaemaá (néaristotéléva) logika</i>]	
1913	Lógica e Metalógica [original em russo: <i>Logika i métalogika</i>]	

Fonte: Elaboração própria.

Comparando as elaborações de lógicas não-aristotélicas de Łukasiewicz e de Vasil'ev em 1910, D'Ottaviano (*In: ARRUDA, 1990, pp. xi-xii*) declara,

Parece que Vasil'ev não chegou a ter conhecimento dos trabalhos de Łukasiewicz de 1910, porém, as argumentações de ambos sobre a possibilidade de construção de lógicas não-Aristotélicas são muito semelhantes. É interessante observarmos que ele também argumentou que a lei do terceiro excluído apareceu na “mente de Aristóteles com o objetivo de refutar seus adversários e não por razões lógicas”.

Sobre forte inspiração dos trabalhos de geometria não-euclidiana de Nikolai Ivanovich Lobachevsky (1792-1856), Vasil'ev elaborou uma ideia denominada de *Lógica Imaginária*²⁷. Segundo o logicista russo, existe a possibilidade de derrogar o PNC (*vide* artigos de 1912 a 1913 na Tabela 3.3) a fim de construir uma nova lógica. Para Vasil'ev, “as contradições não existem no mundo verdadeiro, porém existem em um mundo possível imaginado por nossa mente”, ele [Vasil'ev] afirma que “a lógica Aristotélica se refere ao mundo real, enquanto que sua lógica imaginária refere-se a mundos imaginários criados pela imaginação” (D'OTTAVIANO, *In: ARRUDA, 1990, p. xiii*).

Em primeiro lugar, as ideias de Vasil'ev contidas no artigo de 1910 - “Sobre proposições particulares, o triângulo de oposições e a lei do quarto excluído” foram discutidas na publicação “*Review of Vasil'ev 1910*” de Hessen (1910). Em seguida, Smirnov (1911) criticou o trabalho do logicista russo e o mesmo replicou no artigo de 1912 - “Lógica (não-aristotélica) imaginária”. Em 1936, Alonzo Church publicou “*A Bibliography of Symbolic Logic*” no *The Journal of Symbolic Logic* e, nesta referência, os artigos de Vasil'ev foram incluídos. Em 1965, houve a disseminação das ideias de Vasil'ev por meio da publicação da resenha “*Review of V. A. Smirnov 1962*” por D. D. Comey no famoso *The Journal of Symbolic Logic*. No mesmo ano, já encontrava Korcik (1965) articulando as ideias de Vasil'ev. Já Kline (1965) publicou um artigo denominado “*N. A. Vasil'ev and the development of many-valued logic*” em uma obra, que contemplava a honra pelas contribuições para a lógica e a metodologia realizadas pelo sacerdote dominicano e logicista polonês Józef Maria Bocheński (1902-1995). Nesta publicação, Kline (1965) considera Vasil'ev um dos precursores das lógicas polivalentes. De forma semelhante, Rescher (1964) e Jammer (1974) concordam com a consideração de Kline (1965). Em 1977, Ayda Arruda apresentou o artigo “*On the imaginary logic of N. A. Vasiliev*”, onde mostra três abordagens diferentes às ideias intuitivas de Vasil'ev concernentes a sua lógica imaginária de dimensão três, obtendo em cada caso uma lógica paraconsistente. Neste artigo, Arruda afirmou

²⁷ Inicialmente a geometria não euclidiana era denominada de geometria imaginária. De forma semelhante, Vasil'ev denominou de *lógica imaginária*, sob forte inspiração do nome inicial da geometria proposta por Lobachevsky, ao seu trabalho sobre de lógica não-aristotélica.

“acreditar que qualquer possível formalização da lógica imaginária de Vasil’év deveria conduzir necessariamente a uma lógica paraconsistente e não necessariamente a uma lógica polivalente” (D’OTTAVIANO, In: ARRUDA, 1990, pp. xiv-xv). Em 1984, Arruda publicou o artigo “*N. A. Vasil’év: A forerunner of paraconsistent logic*” no periódico *Philosophia Naturalis*, onde contesta a interpretação polivalente de Kline da seguinte maneira: “a noção de dimensão de Vasiliev nada tem a ver com o número de diferentes valores de verdade envolvidos, mas sim com o número de [...] diferentes qualidades de julgamentos” (D’OTTAVIANO, In: ARRUDA, 1990, p. xv). Em 1989, Priest e Routley em artigo publicado no livro “*Paraconsistent Logic: Essays on the Inconsistent*”, discutiram sobre a lógica de Vasil’év e consideraram o lógico russo como um dos fundadores das lógicas intencionais ao lado de McColl e Lewis. E mais, Priest e Routley apresentam Vasil’év como um dos precursores da lógica paraconsistente ao lado do russo D. Bochvar (1939).

A contribuição de Stanisław Jaśkowski (1906-1965)

O logicista polonês Stanisław Jaśkowski cursou matemática na Universidade de Varsóvia com três célebres professores: Jan Łukasiewicz (1878-1956), Stanisław Leśniewski (1886-1939), Alfred Tarski (1901-1983). Em 1926, Jaśkowski apresentou no seminário de Łukasiewicz o denominado método por dedução natural. Ele se afastou dos estudos por causa de problemas pulmonares em 1929 a 1930. Mas, em 1932, recebeu o grau de doutor por seu método de dedução natural, que foi publicado dois anos depois da outorga da obtenção do doutorado. O seu afastamento foi tempo suficiente para associar o nome de Gerhard Gentzen (1909-1945) como o tema da dedução natural. Jaśkowski pesquisou sobre lógica modal e intuicionista. Em 1934, publicou o artigo “*On the rules of suppositions informal logic*” no periódico *Studia Logica* (cf. JAŚKOWSKI, 1934). Já em 1935, ele apresentou matrizes adequadas para uma lógica proposicional intuicionista no Congresso Internacional de Filosofia Científica em Paris. Além disso, a sua contribuição à lógica paraconsistente se encontra no pronunciamento de 19 de março de 1948 no encontro da Sociedade de Ciências de Toruń, que resultou no artigo fundamental grafado em polonês sob o título: *Rachunek zdah dla systemów dedukcyjnych sprzecznych* [em português: Um cálculo proposicional para sistemas dedutivos inconsistentes] (cf. JAŚKOWSKI, 1948). O objetivo do artigo é elaborar uma lógica tolerante à contradição, uma vez que, Jaśkowski percebeu dois pontos, a saber: (1) a constatação da presença de enunciados contraditórios na linguagem ordinária e (2) o uso necessário de hipóteses contraditórias a fim de explicar fenômenos em ciência teórica (cf. JAŚKOWSKI, 1999a; 1999b). Na segunda seção do artigo, o autor polonês argumenta que

sistema formal inconsistente pode ser interessante desde que não seja saturado (i.e. Jaśkowski utiliza o termo polonês *przepelnienie*), ou seja, apesar do sistema ser inconsistente não incorra em trivialidade. Este é o ponto de partida da lógica proposicional para sistemas dedutivos inconsistentes. Sobre este assunto Newton da Costa e Otávio Bueno declaram:

[...] seria somente em 1948, Jaśkowski, sob a influência de Łukasiewicz, propor o primeiro cálculo proposicional paraconsistente. Desse modo, é provável que tenha sido o primeiro a formular, no interior de teorias inconsistentes, os problemas sobre a não trivialidade (DA COSTA; BUENO, In: BRANQUINHO; MURCHO; GOMES, 2006, p. 470).

Segundo Arruda (1980), a lógica paraconsistente de Jaśkowski, mais conhecida como *lógica discussiva*, contribui com três motivações básicas, a saber: (1) oferecer um instrumento conceitual que possibilitasse abordar o problema da sistematização dedutiva de teorias que contêm contradições; (2) sistematizar, em particular, teorias cujas contradições são geradas por vagueza²⁸ e (3) estudar algumas teorias empíricas que contenham postulados contraditórios.

3.3.2. O nascimento e a infância: 1963-1976

Registra-se o nascimento da LP, quando esta apareceu como uma teoria propriamente dita, ou seja, “como uma teoria matemática, estudada por si mesma de modo sistemático, e reconhecida cientificamente” (BÉZIAU In: DA COSTA, BÉZIAU, BUENO, 1998, p. 101). Neste sentido, a LP nasceu sob a pena de Newton Carneiro Affonso da Costa, que inventou inúmeras *lógicas para sistemas formais inconsistentes* (SFI) e *não triviais*, como por exemplo: cálculos proposicionais para SFI (i.e. $C_0, C_1, C_2, \dots, C_n, \dots, C_\omega$), cálculos de predicados sem igualdade para SFI (i.e. $C_0^*, C_1^*, C_2^*, \dots, C_n^*, \dots, C_\omega^*$), cálculos de predicados com igualdade para SFI (i.e. $C_0^-, C_1^-, C_2^-, \dots, C_n^-, \dots, C_\omega^-$), teoria das descrições para SFI, teoria dos conjuntos para SFI. Estes pontos foram apresentados na sua tese de Professor de Cátedra em 1963 – o ano do nascimento da LP. E este nascimento e infância da LP é o foco da próxima contribuição.

²⁸ Segundo “As línguas naturais contêm palavras cujo domínio de aplicação é parcialmente indeterminado, isto é, em relação às quais os falantes competentes dessas línguas não estão certos em todos os casos de que determinado objeto pertence ao conjunto denotado por elas. Exemplos são ‘alto’, ‘competente’, ‘careca’, ‘vermelho’ ou ‘perto (de)’. A presença desses predicados torna as línguas naturais geradoras de inconsistências [...]”

A contribuição de Newton Carneiro Affonso da Costa (n. 1929)

Newton Carneiro Affonso da Costa, conhecido como “da Costa”, nasceu em 16 de setembro de 1929 em Curitiba no Estado do Paraná. Ele se graduou em engenharia civil em 1952 e se bacharelou e se licenciou em matemática em 1955 e 1956 respectivamente. Da Costa obteve o título de Doutor em Ciências (Matemática) com a aprovação no curso de livre-docência em 1960, tendo se tornado Professor Catedrático de análise matemática e análise superior em 1964. Todos os graus acadêmicos foram obtidos pela Universidade do Paraná (UPR), que após a reforma universitária de 1969, se denominará Universidade Federal do Paraná (UFPR).

Em 1953, surgiu o trabalho inaugural de da Costa denominado “*O Círculo de Viena*”, que tinha por objetivo expor os pontos basilares do projeto filosófico do Círculo de Viena e sua dependência inicial da filosofia da ciência de Ernst Mach (1838-1916). Em 1954, Newton da Costa publicou o artigo “*Sobre a teoria lógica da linguagem*”, que faz uma exposição da divisão do domínio linguístico (i.e. sintática, semântica e pragmática) segundo o pensamento semiótico de Charles William Morris (1901-1979). No mesmo ano, por influência dos estudos acerca da lógica intuicionista de Luitzen Egbertus Jan Brouwer (1881-1966), Newton da Costa elaborou uma comunicação sob o título: “*A natureza dos juízos matemáticos*”. Nesta comunicação, da Costa transita sobre conceitos da filosofia da matemática associados a nomes como: Immanuel Kant (1724-1804), John Stuart Mill (1806-1873), Jules Henri Poincaré (1854-1912), Luitzen Egbertus Jan Brouwer (1881-1966), David Hilbert (1862-1943), Hermann Klaus Hugo Weyl (1885-1955) – o que mostra uma familiaridade com os teóricos da lógica-matemática do século XX. As três publicações supramencionadas mostram o alto nível de interlocução acadêmica e atualização de Newton da Costa, enquanto o contexto brasileiro era: “no Brasil, a lógica ainda adormecia o profundo sono moderno-neoescolástico-positivista que historicamente tanto lhe prejudicara” (GOMES, 2013, p. 376).

No período de 1953 até 1975, foram identificados dezenas de títulos de publicações dacostianas, conforme registrados na Tabela 3.4. Neste período, uma característica é evidenciada por meio das publicações apresentadas na Tabela 3.4, a saber: há uma elaboração de uma LP (i.e. nascimento e infância) com resultados interessantes, todavia também há

questões importantes como *decidibilidade*²⁹, semântica, desenvolvimentos algébricos, *cálculos de sequentes*³⁰, assuntos estes publicados a partir de 1976.

Tabela 3.4 – Publicações de Newton da Costa no período de 1953 – 1975.

ANO	TÍTULO DA PUBLICAÇÃO	PUBLICADO EM
1953	<i>O Círculo Viena</i>	<i>Gráfica Tipoarte</i>
1954	<i>Sobre a teoria lógica da linguagem</i>	<i>Gráfica Tipoarte</i>
1954	<i>A natureza dos juízos matemáticos</i>	<i>Gráfica Tipoarte</i>
1955	<i>Nota sôbre o teorema de Wilson</i>	<i>Anuário da Sociedade Paranaense de Matemática</i>
1956	<i>Une generalization du théorème de Bouniakowsky</i>	<i>Anuário da Sociedade Paranaense de Matemática</i>
1956	<i>O estado atual da Filosofia da Matemática</i>	<i>Anuário da Sociedade Paranaense de Matemática</i>
1956	<i>Alguns teoremas elementares sôbre divisibilidade</i>	<i>Anuário da Sociedade Paranaense de Matemática</i>
1956	<i>As estruturas da Matemática</i>	<i>Anuário da Sociedade Paranaense de Matemática</i>
1957	<i>Considerações sobre o cálculo de Heyting</i>	<i>Anuário da Sociedade Paranaense de Matemática</i>
1957	<i>Kurt Gödel e os problemas da matemática atual</i>	<i>Anuário da Sociedade Paranaense de Matemática</i>
1958	<i>Nota sobre o conceito de contradição</i>	<i>Anuário da Sociedade Paranaense de Matemática</i>
1958	<i>Nota sobre a lógica de Brouwer-Heyting</i>	<i>Anuário da Sociedade Paranaense de Matemática</i>
1958	<i>Uma propriedade dos números primos</i>	<i>Revista da Faculdade Católica de Filosofia do Paraná</i>
1958	<i>Uma questão da filosofia da matemática</i>	<i>Anuário da Sociedade Paranaense de Matemática</i>
1958	<i>Sôbre a teoria lógica da linguagem</i>	<i>Revista Brasileira de Filosofia</i>

²⁹ "Uma frase [sentença] ou fórmula bem formada de uma teoria ou sistema formal é decidível se existe um algoritmo que permita determinar se a frase [sentença] ou fórmula é um teorema do sistema; caso contrário, é indecidível" (BRANQUINHO, In: BRANQUINHO; MURCHO; GOMES, 2006, p. 228).

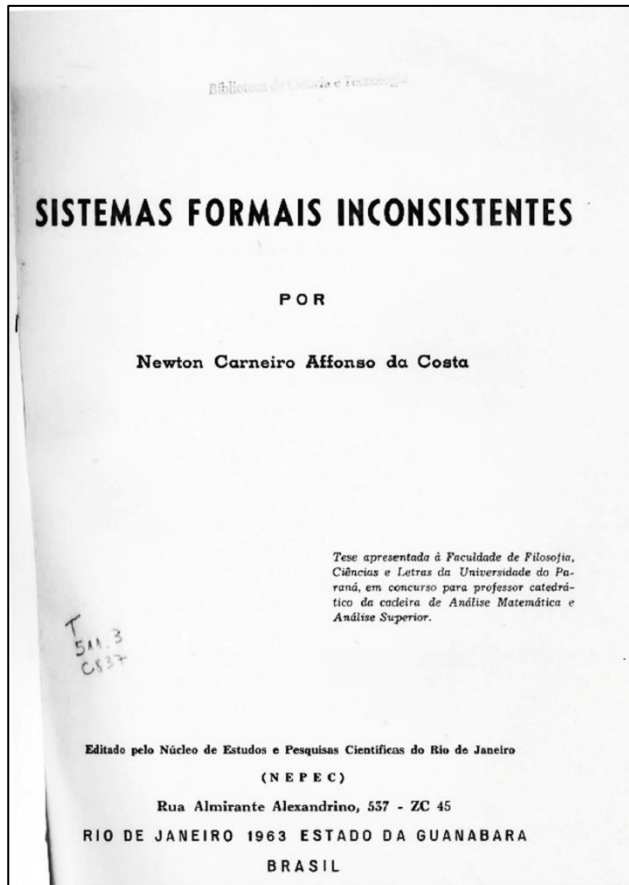
³⁰ *Cálculo dos sequentes* é uma variante do cálculo por dedução natural, que remete a origem a Gerard Gentzen (1909-1945) - cf. GENTZEN, Gerhard. *The Collected Papers of Gerhard Gentzen*. Amsterdam: North Holland, 1969.

1958	<i>Nota sobre o conceito de contradição</i>	<i>Anuário da Sociedade Paranaense de Matemática</i>
1959	<i>Espaços Topológicos e Funções Contínuas</i> [tese de livre docência]	<i>Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade do Paraná</i>
1959	<i>Observações sobre o conceito de existência em matemática</i>	<i>Anuário da Sociedade Paranaense de Matemática</i>
1959	<i>O significado da obra de Kurt Gödel para os fundamentos da matemática</i>	<i>Revista Brasileira de Filosofia</i>
1960	<i>Conceptualización de la filosofía científica</i>	<i>Revista de Filosofía de la Universidad de Costa Rica</i>
1960	<i>Correções ao artigo “Considerações sobre o cálculo de Heyting”</i>	<i>Anuário da Sociedade Paranaense de Matemática</i>
1962	<i>Um currículo para a formação do professor de Matemática Superior do Ensino Secundário</i>	<i>Boletim da Sociedade Paranaense de Matemática</i>
1962	<i>Introdução aos fundamentos da matemática</i>	<i>Gráficas da Livraria Globo</i>
1962	<i>Resenha de Kleene (1952)</i>	<i>Revista Brasileira de Filosofia</i>
1962	<i>Resenha de Hilbert e Ackermann (1962)</i>	<i>Revista Brasileira de Filosofia</i>
1962	<i>Problemas atuais da lógica</i>	<i>Instituto Brasileiro de Filosofia (São Paulo, SP) e Imprensa Universitária do Ceará (Fortaleza, CE)</i>
1962	<i>Sobre a natureza dos juízos matemáticos</i>	<i>Revista Brasileira de Filosofia</i>
1962	<i>Sobre um sistema do cálculo proposicional clássico</i>	<i>Ciência e Cultura</i> [editado pela Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência – volume 14]
1963	<i>Vicente Ferreira da Silva e a lógica</i>	<i>Revista Brasileira de Filosofia</i>
1963	<i>A situação atual da teoria dos conjuntos</i>	<i>Boletim da Sociedade Paranaense de Matemática</i>
1963	<i>Sistemas Formais Inconsistentes</i> [tese para Professor Catedrático]	<i>Núcleo de Estudos e Pesquisas Científicas do Rio de Janeiro (NEPEC)</i>
1963	<i>Calculs propositionnels pour le systems formels inconsistants</i>	<i>Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences</i>
1964	<i>Calculs des prédicats pour les systèmes formels inconsistants</i>	<i>Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences</i>
1964	<i>Calculs des prédicats avec égalité pour les systèmes formels inconsistants</i>	<i>Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences</i>

1964	<i>Calculs des descriptions systèmes formels inconsistants</i>	<i>Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences</i>
1964	<i>Sur um système inconsitant de théorie des ensembles</i>	<i>Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences</i>
1964	<i>Sur les calculs C_n</i>	<i>Anais da Academia Brasileira de Ciências</i>
1964	<i>Sur um théorème de Hilbert et Bernays</i>	<i>Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences</i>
1964	<i>Sur une hiérarchie de systems folmels</i>	<i>Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences</i>
1965	<i>On the systems of set theory</i>	<i>Proceedings Konenkl Ak Wetens</i>
1965	<i>Négations composées et Loi de Peirce dans lès systèmes C_n</i>	<i>Portugaliae Mathematica</i>
1965	<i>Sur les systèmes formels C_1, C_1^*, D_i et NF_i</i>	<i>Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences</i>
1966	<i>Álgebras de Curry</i>	<i>Universidade de São Paulo</i>
1966	<i>O paradox de Curry-Moh Schaw Kwei</i>	<i>Boletim da Sociedade de Matemática de São Paulo</i>
1966	<i>Transformadas no cálculo restritivo de predicados</i>	<i>Anais da Academia Brasileira de Ciências</i>
1966	<i>Opérations non-monotones dans les treillis</i>	<i>Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences</i>
1967	<i>Une nouvelle hiérarchie de théories inconsistantes</i>	<i>Publications du Département de Mathématiques [Université de Lyon]</i>
1967	<i>Remarques sur les univers d'Ehresmann-Dedecker</i>	<i>Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences</i>
1967	<i>Un nouveau système formel suggéré para Dedecker</i>	<i>Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences</i>
1967	<i>Two formal system of set theory</i>	<i>Proceedings Konenkl Ak Wetens</i>
1967	<i>Filtres et idéaux d'une algèbre C_n</i>	<i>Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences</i>
1968	<i>Sur la logique discursive de Jaskowski</i>	<i>Bulletin Acadamie Polonaise des Sciences</i>
1969	<i>On a set theory suggested by Dedecker and Ehresmann</i>	<i>Proceeding Japan Academy of Sciences</i>
1969	<i>Les algèbres C_ω</i>	<i>Comptes Rendus Hebdomadaires des</i>

<i>Séances de l'Académie des Sciences</i>		
1970	<i>Sur le schéma de 53a séparation</i>	<i>Nagoya Mathematical Journal</i>
1970	<i>Sur les systèmes D^* suggéré par Dedecker.</i>	<i>Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences</i>
1970	<i>On the underlying logic of two systems of set theory</i>	<i>Proceedings Konenkl Ak Wetens</i>
1970	<i>Sur um problema de Jaskowski</i>	<i>Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences</i>
1971	<i>Remarques sur les système NF_i</i>	<i>Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences</i>
1971	<i>On supernormal Ehresmann-Dedecker universes</i>	<i>Mathematische Zeitschrift</i>
1972	<i>Modèles et univers de Dedecker</i>	<i>Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences</i>
1973	<i>Sobre o conceito de transformada no cálculo restrito de predicados</i>	<i>Instituto de Matemática e Estatística da Universidade de São Paulo</i>
1974	<i>Le schème de la séparation dans les systems J_n'</i>	<i>Mathematica Japonica</i>
1974	<i>Remarques sur 53ês calculs $C_n, C_n^*, C_n^{\bar{}} \text{ et } D_n$</i>	<i>Comptes Rendus Hebdomadaires 53ês Séances de l'Académie 53ês Sciences</i>
1974	<i>On the theory of inconsistent formal systems</i>	<i>Notre Dame Journal of Formal Logic</i>
1974	<i>α-models and the system T and T^*</i>	<i>Notre Dame Journal of Formal Logic</i>
1975	<i>Remarks on Jaśkowski's discussive logic</i>	<i>Reports on Math Logic</i>
1975	<i>Sur les 'vbtos' selon M. Hatcher</i>	<i>Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences</i>
1975	<i>On the theory of inconsistent formal systems (erratum)</i>	<i>Notre Dame Journal of Formal Logic</i>

Fonte: Tabela elaborada a partir de informações de: Arruda (1980), da Costa, Marconi (1989); D'Ottaviano (1990); Bobenrieth Miserda (1996), Gomes (2013);



(a)

*do meu amigo e colega,
Prof. Lúcio E. Sant'Ana,
autor*

ÍNDICE Curitiba, 3/1/65

	Pág.
Agradecimento	1
Introdução	3
Primeira Parte	
Capítulo I : Cálculos Proposicionais para Sistemas Formais Incon-	
sistentes	7
Capítulo II : Cálculos de Predicados para Sistemas Formais Incon-	
sistentes	23
Capítulo III : Cálculos de Predicados com Identidade para Sistemas	
Formais Inconsistentes	33
Segunda Parte	
Capítulo IV : Descrições	41
Capítulo V : Aplicações à Teoria dos Conjuntos	49
Conclusões	63
Apêndice	65
Bibliografia	67

* * *

(b)

Figura 3.1 – (a) Portada da tese de Newton da Costa; (b) Sumário da tese de Newton da Costa.

Fonte: GOMES (2013, p. 413 e p. 415)

Em relação às publicações de da Costa visualizadas na Tabela 3.4, pode-se destacar a sua tese intitulada *Sistemas Formais Inconsistentes* (cf. Figura 3.1), que foi elaborada para o concurso de Professor Catedrático de Análise Matemática e Análise Superior da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade do Paraná. Esta tese foi publicada pelo Núcleo de Estudos e Pesquisas Científicas do Rio de Janeiro (NEPEC) em março de 1963, que marcou o nascimento da LP. Já a defesa se realizou em 5 de junho de 1964, onde cinco professores participaram da comissão julgadora, a saber: Edison Farah (USP), Cândido Lima da Silva Dias (USP), Leo Barsotti (UPR), Zélia M. Pavão (UPR), José B. de Paula (UPR). A portada e o sumário da tese de Professor de Cátedra de Newton da Costa são apresentados na Figura 3.1. É, na Introdução da tese mencionada, que se lê o objetivo de Newton da Costa (1963a, p. 3):

A ideia central do presente trabalho consiste, a grosso modo, no seguinte: um sistema dedutivo formalizado tendo por base a lógica elementar clássica (ou a lógica intuicionista, ou várias formas de lógicas polivalentes, ...), se for inconsistente, é trivial no sentido de que todas as suas proposições são demonstráveis; logo, assim encarado, não apresenta especial interesse matemático. Todavia, por diversos

motivos, como, por exemplo, para análises comparativas com sistemas consistentes e para valoração apropriada, do ponto de vista meta-matemático, dos diversos princípios em jogo, torna-se conveniente estudar, de maneira *direta*, os sistemas inconsistentes. Mas, para tanto, é imprescindível estruturar novos tipos de lógica elementar, com auxílio dos quais se possam manipular tais sistemas [...] Isto posto, a finalidade de nossa investigação é dupla: 1º) edificar novas categorias de lógica elementar, que se prestem para servir de base ao exame direto de sistemas dedutivos inconsistentes; 2º) aplicar tais categorias de lógica elementar à análise de sistemas dedutivos inconsistentes.

Para isso, da Costa estruturou a sua tese em cinco capítulos. No Capítulo I, intitulado *Cálculos Proposicionais para Sistemas Formais Inconsistentes*, se lê;

No primeiro [capítulo], estruturamos vários cálculos proposicionais que podem servir de base a sistemas dedutivos inconsistentes. Êstes cálculos, que designaremos por $C_0, C_1, C_2, \dots, C_n, \dots, C_\omega$, possuem, entre outras, as seguintes propriedades: a) neles não é válido o esquema

$$\neg(A \wedge \neg A),$$

que exprime o princípio da não contradição; b) em qualquer um dêles, de duas proposições contraditórias não se pode deduzir, em geral, qualquer proposição; c) nos cálculos mencionados, em certo sentido preciso, são verdadeiros o máximo de esquemas e de regras de dedução que valem no cálculo clássico; d) se denotarmos por C_0 o cálculo proposicional clássico, obtemos a seguinte ‘hierarquia’ de cálculos:

$$C_0, C_1, C_2, \dots, C_n, \dots, C_\omega, \quad ([SFI] 1)$$

Sendo, cada um, a partir do segundo, estritamente mais fraco do que os precedentes; e) se as proposições com as quais trabalhamos forem ‘bem comportadas’, em determinada acepções que serão precisadas, toda fórmula válida do cálculo clássico também o será em qualquer dos cálculos seguintes. Por último, introduzimos os conceitos de sistema dedutivo finitamente trivializável e de sistema dedutivo infinitamente trivializável. (DA COSTA, 1963a, p. 4)

No Capítulo II, intitulado *Cálculos de Predicados para Sistemas Formais Inconsistentes*, se lê;

No segundo capítulo, estudamos os cálculos de predicados correspondentes aos cálculos proposicionais da hierarquia anteriormente descrita; dentre diversos teoremas importantes, provamos que se um esquema não for proposicionalmente válido num dos cálculos da hierarquia acima, então não será válido, também, no cálculo de predicados correspondente. Resulta, assim, na hierarquia de cálculos de predicados,

$$C_0^*, C_1^*, C_2^*, \dots, C_n^*, \dots, C_\omega^*, \quad ([SFI] 2)$$

Em correspondência com os cálculos em ([SFI] 1). Para os cálculos ([SFI] 2), são verdadeiras afirmações análogas a a), b), c), d) e e); além disso, todos esses cálculos são indecidíveis. (DA COSTA, 1963a, pp. 4-5).

De forma semelhante, no Capítulo III, intitulado *Cálculos de Predicados com Identidade para Sistemas Formais Inconsistentes*, a hierarquia de cálculos de predicados paraconsistentes se estende para cálculos de predicados com igualdade, obtendo as

hierarquias: $C_0^=, C_1^=, C_2^=, \dots, C_n^=, \dots, C_\omega^=$, ([SFI] 3). A primeira parte desta tese encerra no capítulo III.

Na segunda parte da tese de da Costa (1963a), há dois capítulos, isto é, (1) Capítulo IV – *Descrições* e (2) Capítulo V – *Aplicações à Teoria dos Conjuntos*. Em suma, estes capítulos registram, em primeiro lugar, uma teoria das descrições segundo Rosser, que é postulada e aplicada em sistemas de teorias de conjuntos que são inconsistentes. Em outro momento, da Costa usa como ponto de partida as formulações para a teoria de conjuntos de Rosser e o sistema NF (ing. *New Foundations*) de Quine.

Na Tabela 3.4 outrora mencionada, aparecem dezenas de publicações na renomada *Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences de Paris* disseminando o nascimento da LP, logo após a publicação da tese de Cátedra de 1963.

3.3.3. O batismo e a adolescência: 1976-1991

No período passado (i.e seção 3.3.3), os teóricos ainda não propuseram um nome apropriado para as “*lógicas dos sistemas formais inconsistentes e não triviais*”. Em carta remetida por Newton da Costa ao filósofo peruano Francisco Miró Quesada Cantuarias (n. 1918), o matemático brasileiro o convidou para participar III Simpósio Latino-Americano de Lógica Matemática, a ser realizado na Unicamp, em 1976. Além disso, da Costa pede auxílio a fim de denominar a *nova lógica*. Em 29 de setembro de 1975, Miró Quesada encaminhou uma carta³¹ de resposta para Newton da Costa, com a sugestão de três nomes, a saber: *metaconsistente*, *ultraconsistente* ou *paraconsistente*³². Da Costa adotou “paraconsistente”, pois o prefixo grego ático “para” (gr. $\pi\alpha\rho\acute{\alpha}$) que significa “ao lado de”, se alinha com a ideia de exprimir uma lógica complementar à lógica clássica. Então, no III Simpósio Latino-Americano de Lógica Matemática realizado na Universidade Estadual de Campinas – 11 a 17 de julho de 1976, a denominada *lógicas dos sistemas formais inconsistentes e não triviais* foi batizada publicamente com o nome de Lógica Paraconsistente. Foi, nesse evento, mais

³¹ A carta de resposta do filósofo peruano Miró Quesada do dia 29 de setembro de 1975 para o Prof. Newton da Costa está disponível em Gomes (2013, pp.609-610).

³² Sobre a proposta do nome, Newton da Costa relata originalmente em espanhol: “Hace varios años cuando necesitaba una denominación conveniente y significativa, para una lógica que no eliminase, de salida, las contradicciones como falsas, esto es, absolutamente inaceptable, Miró Quesada me socorrió. Por otro lado, conviene recordar que por aquella época, todas las lógicas condenaban inapelablemente las contradicciones. La nueva lógica en la cual yo trabajaba aún encontraba, pues, mucha resistencia, era poco divulgada y los que de ella tomaban conocimiento se mostraban, en la gran mayoría, escépticos al respecto. Fue entonces que escribí a Miró Quesada, que veía a la nueva lógica con enorme entusiasmo, pidiéndole que me sugiriese un nombre para ésta. Recuerdo como si fuese hoy que él me respondió haciendo tres propuestas: ella podría ser llamada *metaconsistente*, *ultraconsistente* o *paraconsistente*. Después de comentar estas posibles denominaciones, afirmo que encontraba mejor la última. Para mí la palabra paraconsistente sonó espléndidamente y comencé a usarla, insistiendo, también en que todos los interesados hicieran lo mismo (DA COSTA, 1992, pp. 69-70).

precisamente no dia 15 de julho de 1976, que Miró Quesada fez uma exposição sobre o tema *Heterodox logics and the problem of the unity of logic*, em que se consagraram três termos, a saber: (1) “*lógica paraconsistente*”, (2) “*paraconsistência*” e (3) “*lógica paracompleta*” (cf. ARRUDA; DA COSTA; CHUAQUI, 1977, p. xvii). Denominam-se *lógicas paracompletas*, aquelas lógicas duais às paraconsistentes nas quais não vigoram o Princípio do Terceiro Excluído. Em 2012, Newton da Costa fez a seguinte observação:

Penso que o nome é fundamental. Quando o professor Miró Quesada, um grande amigo meu, peruano, sugeriu esse nome, em questão de meses, no mundo inteiro se falava em lógica paraconsistente. Nesse caso, quase que o nome criou a disciplina [...] Aliás, [ele] era titular da faculdade de Direito lá da Universidade de São Marcos, e, talvez, o primeiro livro de lógica jurídica da América Latina seja dele. (DA COSTA, l. 395-398; 400-402 apud GOMES, 2013, p. 464).

Alguns avanços na linha de pesquisa das LPs já podem ser destacados nesta época, como por exemplo: a demonstração da *decidibilidade* de C_1 por métodos algébricos por Manuel M. Fidel (1977), a criação de uma semântica para C_1 por Newton da Costa e Elias H. Alves (1976), a demonstração da não algebrização de C_1 por Chris Mortensen (1980), o desenvolvimento de um *cálculo de sequentes* por Béziau (1990). De forma semelhante, em março de 1984, houve a edição especial do periódico *Studia Logica* (1984), onde se dedicou aos assuntos relacionados à lógica paraconsistente. E, em 1989, foi publicada a primeira coleção de artigos, que foi editada por Priest, Routley e Norman intitulada “*Paraconsistent Logic: Essays on the Inconsistent*”.

3.3.4. A idade da razão: a partir de 1991

Quinze anos após o batismo da LP, ou melhor, depois de vinte oito anos do seu nascimento, o reconhecimento pelos matemáticos veio à tona. O marco foi uma seção especial editada no periódico *Mathematical Reviews* (1991). Sobre esse marco, Gomes destaca:

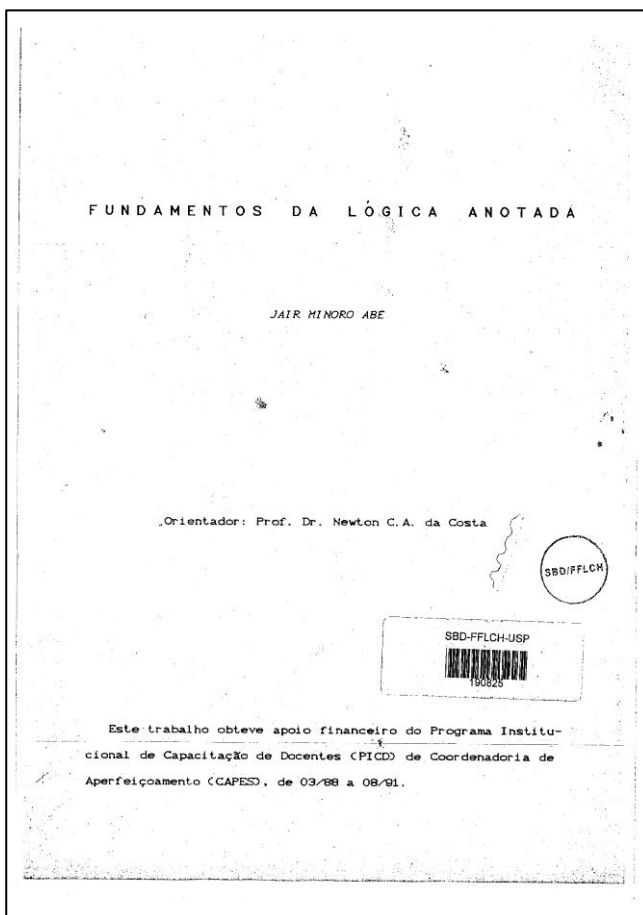
Com efeito, Newton da Costa antecipa aí um célebre acontecimento consequente à sua contribuição inaugural em lógica paraconsistente. Em 1991 a *Mathematics Subject Classification*, organizada pelos escritórios editoriais de *Mathematical Reviews* e *Zentralblatt für Mathematik*, que cataloga as áreas nas quais se subdivide a matemática contemporânea e é revista a cada 5 anos pela *American Mathematical Society*, passa a enumerar, na Seção *Logic and Foundations*, a entrada 03B53: *Paraconsistent Logic*. Trata-se de um reconhecimento sócio-institucional importante que qualifica a lógica paraconsistente como um domínio efetivo de estudos da matemática atual. (GOMES, 2013, p. 447).

Gomes (2013, pp. 465-478) destacou nove áreas de concentração acerca dos desenvolvimentos dos sistemas $C_n, C_n^*, C_n^-, 1 \leq n \leq \omega$, a saber: (1) *caracterização, decidibilidade e semântica*; (2) *métodos dedutivos*; (3) *desenvolvimentos algébricos*; (4) *paraconsistência e lógicas polivalentes*; (5) *teoria da quase-verdade*; (6) *teorias de quase conjuntos*; (7) *cálculo diferencial paraconsistente*; (8) *lógica da inconsistência formal* e (9) *paraconsistência e lógicas anotadas*.

Esta dissertação se dedica a área de concentração acerca da “*paraconsistência e lógicas anotadas*” apontada na tese doutoral de Gomes (2013). Na segunda metade da década de 1980, nasceu a lógica anotada pelas mãos de V. S. Subrahmanian, um pesquisador indiano radicado nos Estados Unidos. Ele investigou a representação e a codificação para o funcionamento de banco de dados (ing. *databases*) e bases de conhecimentos (ing. *knowledge bases*) ambos inconsistentes. Suas três primeiras publicações são em programação lógica e datadas de 1987, a saber: (1) “*Paraconsistent logic programming*” e co-autoria de Howard S. Blair (2) “*Towards a theory of evidencial reasoning in logic programming*” e (3) “*On semantics of quantitative logic programs*”. A ‘lógica anotada parcial’ das publicações de Blair e Subrahmanian (1987; 1988) foi permutada por uma ‘lógica anotada total’ encontrada em três publicações, a saber: Kifer e Lozinskii (1989) – onde se fez um tratamento das clausulas implicativas; Kifer, Krishnaprasad e Warren (1989) – onde se aplicaram as questões de “*inheritance networks*” e Kifer e Subrahmanian (1989) – onde se evidenciou a técnica de anotação englobando os problemas de “*fuzzy reasoning*”. O primeiro artigo com o tratamento dos aspectos sintático e semântico da lógica anotada foi “*Paraconsistent logics as a formalism for reasoning about inconsistent knowledge bases*”, publicado no periódico *Artificial Intelligence in Medicine* por Newton da Costa e V. S. Subrahmanian em 1989. De certa maneira, os artigos do pesquisador indiano foram desenvolvidos até a proposta de uma *lógica proposicional paraconsistente anotada $P\tau$* (DA COSTA; SUBRAHMANIAN; VAGO, 1991) e de uma *lógica de predicados paraconsistente anotada de primeira ordem $Q\tau$* (DA COSTA; ABE; SUBRAHMANIAN, 1991).

Em 1992, Jair Minoru Abe defendeu a sua tese doutoral sob a orientação do Prof. Dr. Newton da Costa sob o título “Fundamentos da Lógica Anotada”. A proposta de dissertar sob este tema foi motivada por seu orientador, em um curso sobre “Lógica não-clássicas” ministrado no VIII Simpósio Latino-Americano de Lógica Matemática, em João Pessoa, Paraíba – no mês de julho de 1989. Abe (1992) estudou a lógica dos predicados, teoria dos modelos, teoria anotada dos conjuntos e alguns sistemas modais, estabelecendo-se um estudo sistemático dos fundamentos das lógicas anotadas. Por volta de 1993, foi elaborada uma

linguagem de programação paraconsistente denominado Paralog. Outras publicações em construções de protótipos e especificações de uma arquitetura baseada em LPA, como por exemplo: em planejadores, bases de dados, sistemas de visão *et cetera* de uma célula de manufatura (PRADO, 1996) e representações de conhecimento por *frames* permitindo representar inconsistências e exceções (ÁVILA, 1996). Da Silva Filho, que foi orientado pelo Prof. Jair M. Abe, se interessou na aplicação da LPA Pr em circuitos digitais implementando portas lógicas *Complement*, *And* e *Or* paraconsistentes (DA SILVA FILHO, 1999). Novas investigações por meio da contribuição dada por da Silva Filho em relação aos circuitos elétricos paraconsistentes encaminharam a edificação do analisador lógico denominado para-analisador, que permite o tratamento de incertezas, inconsistências e paracompleteza. Em seguida, foram construídos controladores lógicos baseados em lógicas anotadas (i.e. ParaControl), simuladores lógicos (i.e. ParaSim) e ferramenta de tratamento de sinais (i.e. ParaSônico).



(a)

SUMÁRIO	
INTRODUÇÃO	7
1. Nota histórica	9
2. Observações sobre a lógica paraconsistente	13
3. Motivações para o estudo da lógica anotada	18
4. Descrição da tese	33
CAPÍTULO 1. A LÓGICA ANOTADA Pr	35
1.1. Introdução	35
1.2. O cálculo proposicional Pr	36
1.3. O cálculo de predicados Qr	70
1.4. Nova formulação da lógica Pr	88
1.5. Nova formulação da lógica Qr	91
CAPÍTULO 2. TEORIA ANOTADA DE MODELOS	95
2.1. Introdução	95
2.2. Alguns meta-teoremas	96
2.3. Teoria anotada de modelos	100
CAPÍTULO 3. TEORIA ANOTADA DE CONJUNTOS	112
3.1. Introdução	112
3.2. Teoria anotada de conjuntos	115
APÊNDICE	120
A) Novas formulações dos cálculos $\mathcal{L}_n$, $1 \leq n < \omega$	120
B) Lógica modal anotada SSR	123
C) Problemas em aberto	130
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	132

(b)

Figura 3.2 – (a) Portada da tese de Jair Minoro Abe; (b) Sumário da tese de Jair Minoro Abe.

Fonte: Elaboração própria

No campo da robótica, foi construída a robô Emmy com os conceitos da LPA outrora mencionados (cf. ABE; DA SILVA FILHO, 2003). O protótipo II da *Emmy* foi estudado por Torres (2004). Em seguida, foram construídas as robôs *Sofya*, *Amanda et cetera* motivadas pelos avanços obtidos nas pesquisas em LPA.

Nas pesquisas relacionadas à engenharia elétrica, destaca-se a tese doutoral de Helga Martins intitulada “A Lógica Paraconsistente Anotada de Quatro Valores - LPA4v aplicada em Sistema de Raciocínio Baseado em Casos para o Restabelecimento de Subestações Elétricas” (MARTINS, 2003). Trata-se da aplicação dos conceitos da LPA $E\tau$ com extensão para uma LPA de quatro valores (LPA4v) para restabelecimento de Subestações Elétricas. É apresentado um projeto de aplicação de Sistema Híbrido de Controle, que faz junção da Lógica Paraconsistente e Sistema de Raciocínio Baseado em Casos (RBC), obtendo-se uma forma de tratamento das inconsistências, útil em sistemas de controle e aplicado em um Restabelecimento de Subestação Elétrica. Este projeto deu origem ao algoritmo "RBC-Para-Especialista" (cf. MARTINS, 2003, pp. 71-87).

Em 2006, na área de engenharia de produção, Fábio R. de Carvalho orientado pelo Prof. Jair M. Abe defendeu sua tese doutoral intitulada “Aplicação da Lógica Paraconsistente Anotada em tomada de decisão na Engenharia de Produção”. Trata-se de um processo de tomada de decisão, denominado de Método de Análise pelo Baricentro (MAB), que se baseia na LPA $E\tau$ e no algoritmo para-analisador (cf. DA COSTA *et al.*, 1999; DA SILVA FILHO; ABE, 2001).

3.4. Lógica Paraconsistente Anotada Evidencial $E\tau$

A LPA $E\tau$ possui uma *Linguagem* $E\tau$ e anotações dadas por meio de proposições atômicas do tipo $p(\mu_1; \mu_2)$, onde p é uma proposição atômica; μ_1 e μ_2 são os graus de evidência³³ favorável e de evidência contrária de p respectivamente. Na LPA $E\tau$, os dois graus supramencionados pertencem a um intervalo real unitário fechado – ou seja: $\mu_1, \mu_2 \in [0, 1]$.

³³ O termo evidência adotado em uma LPA $E\tau$ não se emprega em um sentido hirto (ou não flexível). Os “graus de evidência” podem ser permutados para “grau de crença”, que é uma possibilidade da aplicação dada à interpretação do problema em pauta. Sobre este sentido não rigoroso do termo “evidência”, Jair M. Abe afirma: “A leitura dos valores μ [ou μ_1], λ [ou μ_2] dependem das aplicações consideradas e podem sofrer mudanças: com efeito μ [ou μ_1] pode ser o grau de crença favorável e λ [ou μ_2] o grau de crença contrária da proposição p ; também, μ [ou μ_1] pode indicar a probabilidade expressa por p ocorrer e λ [ou μ_2] a probabilidade expressa por p não ocorrer” (ABE, In: ABE; SILVA FILHO, CELESTINO; DE ARAÚJO, 2011, p. 43).

A leitura de $p(\mu_1; \mu_2)$ na LPA $E\tau$ é: “creio³⁴ na proposição p com grau de evidência favorável μ_1 e grau de evidência contrária μ_2 ”. De forma semelhante, a leitura da proposição atômica $q(\mu_1, \mu_2)$ é: “creio na proposição q com grau de evidência favorável μ_1 e grau de evidência contrária μ_2 ”. Abe chama esta leitura de “intuitiva” (In: ABE; SILVA FILHO, CELESTINO; DE ARAÚJO, 2011, p. 43).

Neste contexto, segue um exemplo. Dada uma proposição atômica $r \equiv$ “o ensaio de eficiência energética do inversor é viável para o Selo Procel”, faça uma leitura intuitiva dos cinco casos a seguir, uma vez que, o grau de evidência favorável (μ_1) está associado à nota de aprovação do ensaio pelo laboratório do fabricante e o grau de evidência contrária (μ_2) está indexado à nota de reprovação do ensaio pelo laboratório acreditado pelo Inmetro. Então, a nota máxima de μ_1 é 1,0 e esta significa que há uma evidência totalmente favorável, isto é, a nota máxima de aprovação atribuída a proposição atômica r na avaliação do laboratório do fabricante é 1,0. Já a nota máxima de μ_2 é 1,0 e esta significa que há uma evidência totalmente contrária, ou seja, a nota máxima de reprovação atribuída a proposição atômica r na avaliação do laboratório acreditado pelo Inmetro é de 1,0.

- Caso 1 – Dadas as anotações $(\mu_1; \mu_2) = (1,0; 0,0) \rightarrow$ A leitura intuitiva será “o resultado do ensaio de eficiência energética do inversor é viável para o Selo Procel com evidência totalmente favorável” – ou seja, “há uma evidência totalmente favorável que o ensaio de eficiência energética do inversor é viável para o Selo Procel”. Em suma, o laboratório do fabricante aprovou ($\mu_1 = 1,0$) e o laboratório acreditado pelo INMETRO não reprovou ($\mu_2 = 0,0$) o ensaio de eficiência energética para o Selo Procel;
- Caso 2 – Dadas as anotações $(\mu_1; \mu_2) = (0,0; 1,0) \rightarrow$ A leitura intuitiva será “o resultado do ensaio de eficiência energética do inversor é viável para o Selo Procel com evidência totalmente contrária” – ou seja, “há uma evidência totalmente contrária que o ensaio de eficiência energética do inversor é viável para o Selo Procel”; Em suma, o laboratório do fabricante não aprovou ($\mu_1 = 0,0$) e o laboratório acreditado pelo INMETRO reprovou ($\mu_2 = 1,0$) o ensaio de eficiência energética para o Selo Procel;
- Caso 3 – Dadas as anotações $(\mu_1; \mu_2) = (1,0; 1,0) \rightarrow$ A leitura intuitiva será “o resultado ensaio de eficiência energética do inversor é viável para o Selo Procel com evidência totalmente inconsistente”. Em suma, o laboratório do

³⁴ O termo “creio” e os seus correlatos “crença” ou “descrença” se referem à ideia de subjetividade e o uso do sentido rigoroso não é adequado (cf. ABE, In: ABE; SILVA FILHO, CELESTINO; DE ARAÚJO, 2011, p. 43).

fabricante aprovou ($\mu_1 = 1,0$) e o laboratório acreditado pelo Inmetro reprovou ($\mu_2 = 1,0$) o ensaio de eficiência energética para o Selo Procel. Para o caso de evidência totalmente inconsistente, Jair Minoro Abe (In: ABE; SILVA FILHO, CELESTINO; DE ARAÚJO, 2011, p. 43) nos oferece dois exemplos, a saber:

Exemplo 1. Seja a proposição $p \equiv$ “O aluno passou no exame”. Temos [...] Se anotarmos com (1,0, 1,0), a leitura intuitiva será “O aluno passou no exame com evidência totalmente inconsistente”. Isto pode se suceder se o aluno não estudou o suficiente e ao mesmo tempo uma pessoa amiga diz tê-lo visto confiante após o exame [...].

Exemplo 2. Seja a proposição $p \equiv$ “O paciente está acometido de pneumonia”. Temos [...] Se anotarmos com (1,0, 1,0), a leitura intuitiva será: “o paciente está acometido de pneumonia com evidência totalmente inconsistente”. Isto pode se suceder se, por exemplo, um médico é de opinião que o paciente está acometido de pneumonia, mas outro especialista diz que não pode ser pneumonia por um outro tipo de exame [...].

- Caso 4 – Dadas as anotações $(\mu_1; \mu_2) = (0,0; 0,0) \rightarrow$ A leitura intuitiva será “o resultado do ensaio de eficiência energética do inversor é viável para o Selo Procel com evidência totalmente paracompleta” – ou seja, “há uma evidência total que o ensaio de eficiência energética do inversor não é viável para o Selo Procel”. Em suma, o laboratório do fabricante não aprovou ($\mu_1 = 0,0$) e o laboratório acreditado pelo INMETRO não reprovou ($\mu_2 = 0,0$) o ensaio de eficiência energética para o Selo Procel. Este caso é possível, uma vez que não há o laboratório do fabricante, recorrendo ao laboratório acreditado pelo Inmetro.
- Caso 5 – com as anotações $(\mu_1; \mu_2) = (0,5; 0,5) \rightarrow$ A leitura intuitiva será “o ensaio de eficiência energética do inversor é viável para o Selo Procel com evidência indefinida” - ou seja, “há uma evidência favorável idêntica à evidência contrária”. Intuitivamente, tem-se uma indefinição: “o ensaio de eficiência energética do inversor é [in]viável para o Selo Procel?”.

3.4.1. Conectivos

Um conectivo é uma expressão de uma linguagem natural (e.g. "não", "e", "ou", "ou [...] ou, mas não ambos", "se [...] então [...]”, "se e somente se”) ou um símbolo de uma linguagem formal (e.g. $\neg$, $\wedge$, $\vee$, $\underline{\vee}$, $\rightarrow$, $\leftrightarrow$). Por exemplo, sejam p e q duas proposições atômicas de uma linguagem formal que significam respectivamente na linguagem natural: "o

inversor *off grid* é viável" e "o inversor *on grid* é viável". Sendo assim, pode-se exemplificar a leitura da linguagem formal por sua correspondente tradução na linguagem natural adotada conforme mostrada na Tabela 3.5.

Tabela 3.5 – Exemplos da transição de linguagem formal para linguagem natural.

LINGUAGEM FORMAL	LINGUAGEM NATURAL
$\neg p$	O inversor <i>off grid</i> não é viável
$\neg q$	O inversor <i>on grid</i> não é viável
$p \wedge q$	O inversor <i>offgrid</i> é viável e o inversor <i>on grid</i> é viável
$p \vee q$	O inversor <i>offgrid</i> é viável ou o inversor <i>on grid</i> é viável
$p \underline{\vee} q$	Ou o inversor <i>offgrid</i> é viável ou o inversor <i>on grid</i> é viável, mas não ambos
$p \rightarrow q$	Se o inversor <i>off grid</i> é viável então o inversor <i>on grid</i> é viável
$p \leftrightarrow q$	O inversor <i>off grid</i> é viável se e somente se o inversor <i>on grid</i> é viável

Fonte: Elaboração própria

Na literatura especializada em lógica, encontram-se algumas notações diferenciadas para o mesmo conectivo em uma linguagem formal. Na Tabela 3.6, são representadas algumas notações em sua forma simbólica associando ao nome dos conectivos.

Tabela 3.6 – Forma simbólica dos conectivos encontrados na literatura especializada em Lógica.

Nome do Conectivo	Geral	Russell Post	Lewis	Hilbert Kolmogorov	Lukasiewicz Jařkowski
Negação	$\neg p$	$\sim p$	$\sim p$	$\bar{P}$	Np
Conjunção	$p \wedge q$	$p.q$	pq	$P \& Q$	Kpq
Disjunção	$p \vee q$	$p \vee q$	$p \vee q$	$P \vee Q$	Apq
Implicação material	$p \rightarrow q$	$p \supset q$	$p \supset q$	$P \rightarrow Q$	Cpq
Equivalência	$p \leftrightarrow q$	$p \equiv q$	$p = q$	$P \sim Q$	Epq
Símbolos de agrupamento	$\{[()]\}$	$:::$	$:::$	$\{[()]\}$	não tem

Fonte: Tabela adaptada de Bobenrieth Miserda (1996, p. xxxvii)

Adota-se, nesta dissertação, a forma simbólica "Geral" conforme visto na segunda coluna da Tabela 3.6. Sob o aspecto semântico, podem-se utilizar os conectivos da linguagem formal a fim de visualizar a *valoração* (V_i) de proposições associadas aos operadores lógicos do tipo unário (e.g. $\neg$) ou binário (e.g. $\wedge$, $\vee$, $\underline{\vee}$, $\rightarrow$, $\leftrightarrow$). Por exemplo, uma lógica clássica, onde $V_i: \{p, q\} \rightarrow \{0, 1\}$ - se p e q são proposições atômicas, FALSO = 0 e VERDADEIRO = 1,

então uma combinação dessas proposições atômicas com *fórmulas bem-formadas* pode ser visualizada na Tabela de Valores (cf. Tabela 3.7) com suas devidas *valorações*.

Tabela 3.7 – Tabela de Valores das proposições p e q de uma lógica clássica

p	q	$\neg p$	$\neg q$	$p \wedge q$	$p \vee q$	$p \vee q$	$p \rightarrow q$	$p \leftrightarrow q$
1	1	0	0	1	1	0	1	1
1	0	0	1	0	1	1	0	0
0	1	1	0	0	1	1	1	0
0	0	1	1	0	0	0	1	1

Fonte: Elaboração própria.

Nesse contexto, são explanados a seguir cinco operadores lógicos da LPA $E\tau$, a saber: NOT (NÃO), AND (E), OR (OU), MÁX, MÍN.

Operador NOT (NÃO) da LPA $E\tau$

Seja a proposição atômica do tipo $p(\mu_{p1}; \mu_{p2})$, então o conectivo da negação é dado pela forma simbólica $\neg p(\mu_{p1}; \mu_{p2})$ e isto equivale a operação NOT (NÃO) na LPA $E\tau$ apresentada em Eq. 3.1.

$$\text{NOT}p(\mu_{p1}; \mu_{p2}) = p(\mu_{p2}; \mu_{p1}) \quad (\text{Eq 3.1})$$

Por exemplo, revistando os cinco casos supramencionados, onde é dada a proposição atômica $r \equiv$ “o resultado do ensaio de eficiência energética do inversor é viável para o Selo Procel”. Qual seria o resultado ao aplicar o operador NOT para as anotações de caso? E qual seria o resultado do estado lógico da proposição negada? Estes resultados se encontram na Tabela 3.8.

Tabela 3.8 – Exemplo do uso da negação para cinco estados lógicos hirtos

Estado Lógico	Símbolo	μ_{r1}	μ_{r2}	$r(\mu_{r1}; \mu_{r2})$	$\text{NOT}r(\mu_{r1}; \mu_{r2})$	Resultado
VERDADEIRO	V	1,0	0,0	$r(1,0; 0,0)$	$r(0,0; 1,0)$	$\neg V = F$
FALSO	F	0,0	1,0	$r(0,0; 1,0)$	$r(1,0; 0,0)$	$\neg F = V$
INCONSISTENTE	$\top$	1,0	1,0	$r(1,0; 1,0)$	$r(1,0; 1,0)$	$\neg \top = \top$
PARACOMPLETO	$\perp$	0,0	0,0	$r(0,0; 0,0)$	$r(0,0; 0,0)$	$\neg \perp = \perp$
INDEFINIDO	I	0,5	0,5	$r(0,5; 0,5)$	$r(0,5; 0,5)$	$\neg I = I$

Fonte: Elaboração própria.

Com base na Tabela 3.8, fazem-se as leituras intuitivas para os cinco casos hipotéticos, a saber:

- Caso 1 – Dadas as anotações $(\mu_1; \mu_2) = (1,0; 0,0) \rightarrow$ Esta anotação representa o estado lógico VERDADEIRO (V) para a proposição r . A leitura intuitiva de $r(\mu_{r1}; \mu_{r2})$ – “Com evidência favorável total e evidência contrária nula, conclui-se que: é verdade que o resultado do ensaio de eficiência energética do inversor é viável para o Selo Procel”. Ou seja, $V_I(r(\mu_{r1}; \mu_{r2})) = \text{VERDADEIRO}$. A negação apresenta a seguinte leitura intuitiva de NOT $r(\mu_{r1}; \mu_{r2})$ – “Com evidência favorável nula e evidência contrária total, conclui-se que: é falso que o resultado do ensaio de eficiência energética do inversor é viável para o Selo Procel”. Ou seja, $V_I(\text{NOT } r(\mu_{r1}; \mu_{r2})) = \text{FALSO}$;
- Caso 2 – Dadas as anotações $(\mu_1, \mu_2) = (0,0; 1,0) \rightarrow$ Esta anotação representa o estado lógico FALSO (F) para a proposição r . A leitura intuitiva de $r(\mu_{r1}; \mu_{r2})$ – “Com evidência favorável nula e evidência contrária total, conclui-se que: é verdade que o resultado do ensaio de eficiência energética do inversor não é viável para o Selo Procel”. Ou seja, $V_I(r(\mu_{r1}; \mu_{r2})) = \text{FALSO}$. A negação apresenta a seguinte leitura intuitiva de NOT $r(\mu_{r1}; \mu_{r2})$ – “Com evidência favorável total e evidência contrária nula, é falso que o resultado do ensaio de eficiência energética do inversor não é viável para o Selo Procel”. Ou seja, $V_I(\text{NOT } r(\mu_{r1}; \mu_{r2})) = \text{VERDADEIRO}$;
- Caso 3 – Dadas as anotações $(\mu_1; \mu_2) = (1,0; 1,0) \rightarrow$ Esta anotação representa o estado lógico INCONSISTENTE ($\top$) para a proposição r . A leitura intuitiva de $r(\mu_{r1}; \mu_{r2})$ – “Com evidência favorável total e evidência contrária total (i.e. evidência totalmente inconsistente), não se pode concluir sobre a viabilidade ou inviabilidade do resultado do ensaio de eficiência energética do inversor para o Selo Procel, pois são apresentadas evidências favorável e contrária a 100%”. Ou seja, $V_I(r(\mu_{r1}; \mu_{r2})) = \text{INCONSISTENTE}$. A negação apresenta a seguinte leitura intuitiva de NOT $r(\mu_{r1}; \mu_{r2})$ – “Com evidência totalmente inconsistente, não se pode concluir sobre a viabilidade ou inviabilidade do resultado do ensaio de eficiência energética do inversor para o Selo Procel, pois são apresentadas evidências favorável e contrária a 100%”. Ou seja, $V_I(\text{NOT } r(\mu_{r1}; \mu_{r2})) = \text{INCONSISTENTE}$;

- Caso 4 – Dadas as anotações $(\mu_1; \mu_2) = (0,0; 0,0) \rightarrow$ Esta anotação representa o estado lógico PARACOMPLETO ($\perp$) para a proposição r . A leitura intuitiva de $r(\mu_{r1}; \mu_{r2})$ – “Com evidência favorável nula e evidência contrária nula (i.e. evidência totalmente paracompleta), não se pode concluir sobre a viabilidade ou inviabilidade do resultado do ensaio de eficiência energética do inversor para o Selo Procel, pois são apresentadas evidências favorável e contrária a 0%”. Ou seja, $V_1(r(\mu_{r1}; \mu_{r2})) = \text{PARACOMPLETO}$. A negação apresenta a seguinte leitura intuitiva de NOT $r(\mu_{r1}; \mu_{r2})$ – “Com evidência totalmente paracompleta, não se pode concluir sobre a viabilidade ou inviabilidade do resultado do ensaio de eficiência energética do inversor para o Selo Procel, pois são apresentadas evidências favorável e contrária a 0%”. Ou seja, $V_1(\text{NOT } r(\mu_{r1}; \mu_{r2})) = \text{PARACOMPLETO}$;
- Caso 5 – com as anotações $(\mu_1, \mu_2) = (0,5; 0,5) \rightarrow$ Esta anotação representa o estado lógico INDEFINIDO (I) para a proposição r . A leitura intuitiva de $r(\mu_{r1}; \mu_{r2})$ – “Com evidência favorável a 0,5 e evidência contrária a 0,5 (i.e. evidência indefinida), não se pode concluir sobre a viabilidade ou inviabilidade do resultado do ensaio de eficiência energética do inversor para o Selo Procel, pois são apresentadas evidências favorável e contrária a 50%”. Ou seja, $V_1(r(\mu_{r1}; \mu_{r2})) = \text{INDEFINIDO}$. A negação apresenta a seguinte leitura intuitiva de NOT $r(\mu_{r1}; \mu_{r2})$ – “Com evidência indefinida, não se pode concluir sobre a viabilidade ou inviabilidade do resultado do ensaio de eficiência energética do inversor para o Selo Procel, pois são apresentadas evidências favorável e contrária a 50%”. Ou seja, $V_1(\text{NOT } r(\mu_{r1}; \mu_{r2})) = \text{INDEFINIDO}$.

Operador AND (E) da LPA E τ

Seja uma *proposição molecular* denotada pelo símbolo $r(\mu_{r1}; \mu_{r2})$, que é uma *fórmula bem formada* de duas proposições atômicas do tipo $p(\mu_{p1}; \mu_{p2})$ e $q(\mu_{q1}; \mu_{q2})$ ligadas pelo conectivo da conjunção ($\wedge$), então a forma simbólica da *proposição molecular* supracitada fica: $r(\mu_{r1}; \mu_{r2}) = p(\mu_{p1}; \mu_{p2}) \wedge q(\mu_{q1}; \mu_{q2}) = p(\mu_{p1}; \mu_{p2}) \text{ AND } q(\mu_{q1}; \mu_{q2})$. A conjunção equivale à operação AND (E) e é apresentada na Eq. 3.2.

$$p(\mu_{p1}; \mu_{p2}) \text{ AND } q(\mu_{q1}; \mu_{q2}) = r(\text{mín}\{\mu_{p1}, \mu_{q1}\}; \text{mín}\{\mu_{p2}, \mu_{q2}\}) \quad (\text{Eq 3.2})$$

Onde, o resultado é dado pela linguagem simbólica $r(\mu_{r1}; \mu_{r2})$ e tem o *grau de evidência favorável resultante* $\mu_{r1} = \min\{\mu_{p1}; \mu_{q1}\}$ e o *grau de evidência contrária resultante* $\mu_{r2} = \min(\mu_{p2}; \mu_{q2})$.

Por exemplo, sejam as proposições $p(0,8; 0,6)$ e $q(0,7; 0,5)$, que resultam em uma proposição r . As anotações das proposições p e q são respectivamente: $\mu_{p1} = 0,8$, $\mu_{p2} = 0,6$, $\mu_{q1} = 0,7$ e $\mu_{q2} = 0,5$. Com o uso da Eq. 3.2, as anotações da proposição r , a saber, μ_{r1} e μ_{r2} , são calculadas assim: $p(0,8; 0,6) \text{ AND } q(0,7; 0,5) = r(\min\{0,8, 0,7\}; \min\{0,6, 0,5\}) = r(0,7; 0,5)$, logo, $\mu_{r1} = 0,7$ e $\mu_{r2} = 0,5$.

Operador OR (OU) da LPA E τ

Seja uma *proposição molecular* denotada pelo símbolo $r(\mu_{r1}; \mu_{r2})$, que é uma *fórmula bem formada* de duas proposições atômicas do tipo $p(\mu_{p1}; \mu_{p2})$ e $q(\mu_{q1}; \mu_{q2})$ ligadas pelo conectivo de disjunção ($\vee$), então a forma simbólica da *proposição molecular* supracitada fica: $r(\mu_{r1}; \mu_{r2}) = p(\mu_{p1}; \mu_{p2}) \vee q(\mu_{q1}; \mu_{q2}) = p(\mu_{p1}; \mu_{p2}) \text{ OR } q(\mu_{q1}; \mu_{q2})$. A disjunção equivale à operação OR (OU) também conhecida como *operação de maximização* e é apresentada na Eq. 3.3.

$$p(\mu_{p1}; \mu_{p2}) \text{ OR } q(\mu_{q1}; \mu_{q2}) = r(\max\{\mu_{p1}, \mu_{q1}\}; \max\{\mu_{p2}, \mu_{q2}\}) \quad (\text{Eq 3.3})$$

Onde, o resultado é dado pela linguagem simbólica $r(\mu_{r1}; \mu_{r2})$ e tem o *grau de evidência favorável resultante* $\mu_{r1} = \max\{\mu_{p1}, \mu_{q1}\}$ e o *grau de evidência contrária resultante* $\mu_{r2} = \max\{\mu_{p2}; \mu_{q2}\}$.

Por exemplo, sejam as proposições $p(0,8; 0,6)$ e $q(0,7; 0,5)$, que resultam em uma proposição r . As anotações das proposições p e q são respectivamente: $\mu_{p1} = 0,8$, $\mu_{p2} = 0,6$, $\mu_{q1} = 0,7$ e $\mu_{q2} = 0,5$. Com o uso da Eq. 3.3, as anotações da proposição r , a saber, μ_{r1} e μ_{r2} , são calculadas assim: $p(0,8; 0,6) \text{ OR } q(0,7; 0,5) = r(\max\{0,8, 0,7\}, \max\{0,6, 0,5\}) = r(0,8; 0,5)$, logo, $\mu_{r1} = 0,8$, $\mu_{r2} = 0,6$.

Operador MÁX da LPA E τ

Seja uma *proposição molecular* denotada pelo símbolo $r(\mu_{r1}; \mu_{r2})$, que é uma *fórmula bem formada* de duas proposições atômicas do tipo $p(\mu_{p1}; \mu_{p2})$ e $q(\mu_{q1}; \mu_{q2})$ ligadas pelo operador lógico da LPA E τ MÁX, então a forma simbólica da proposição molecular

supracitada fica: $r(\mu_{r1}; \mu_{r2}) = p(\mu_{p1}; \mu_{p2}) \text{ MÁX } q(\mu_{q1}; \mu_{q2})$ ou $r(\mu_{r1}; \mu_{r2}) = \text{MÁX}\{p(\mu_{p1}; \mu_{p2}), q(\mu_{q1}; \mu_{q2})\}$ e esta maximização é designada por F. R. de Carvalho e Abe (2011, p. 11) de **maximizante** a fim de não confundir com o operador OR da LPA Et. A Eq. 3.4 apresenta o operador MÁX.

$$\text{MÁX } \{p(\mu_{p1}; \mu_{p2}), q(\mu_{q1}; \mu_{q2})\} = r(\text{máx}\{\mu_{p1}, \mu_{q1}\}; \text{mín}\{\mu_{p2}, \mu_{q2}\}) \quad (\text{Eq 3.4})$$

Onde, o resultado é dado pela linguagem simbólica $r(\mu_{r1}; \mu_{r2})$ e tem o *grau de evidência favorável resultante* $\mu_{r1} = \text{máx}\{\mu_{p1}, \mu_{q1}\}$ e o *grau de evidência contrária resultante* $\mu_{r2} = \text{mín}\{\mu_{p2}, \mu_{q2}\}$.

Por exemplo, sejam as proposições $p(0,8; 0,6)$ e $q(0,7; 0,5)$, que resultam em uma proposição r . As anotações das proposições p e q são respectivamente: $\mu_{p1} = 0,8$, $\mu_{p2} = 0,6$, $\mu_{q1} = 0,7$ e $\mu_{q2} = 0,5$. Com o uso da Eq. 3.4, as anotações da proposição r , a saber, μ_{r1} e μ_{r2} , são calculadas assim: $\text{MÁX}\{p(0,8; 0,6), q(0,7; 0,5)\} = r(\text{máx}\{0,8, 0,7\}; \text{mín}\{0,6, 0,5\}) = r(0,8; 0,5)$, logo, $\mu_{r1} = 0,8$ e $\mu_{r2} = 0,5$.

Operador Mín da LPA Et

Seja uma *proposição molecular* denotada pelo símbolo $r(\mu_{r1}; \mu_{r2})$, que é uma *fórmula bem formada* de duas proposições atômicas do tipo $p(\mu_{p1}; \mu_{p2})$ e $q(\mu_{q1}; \mu_{q2})$ ligadas pelo operador lógico da LPA Et MÁX, então a forma simbólica da proposição molecular supracitada fica: $r(\mu_{r1}; \mu_{r2}) = p(\mu_{p1}; \mu_{p2}) \text{ MÍN } q(\mu_{q1}; \mu_{q2})$ ou $r(\mu_{r1}; \mu_{r2}) = \text{MÍN}\{p(\mu_{p1}; \mu_{p2}); q(\mu_{q1}; \mu_{q2})\}$ e esta minimização é designada por F. R. de Carvalho e Abe (2011, p. 11) de **minimizante** a fim de não confundir com o operador AND da LPA Et. A Eq. 3.5 apresenta o operador MÍN.

$$\text{MÍN}\{p(\mu_{p1}; \mu_{p2}), q(\mu_{q1}; \mu_{q2})\} = r(\text{mín}\{\mu_{p1}, \mu_{q1}\}; \text{máx}\{\mu_{p2}, \mu_{q2}\}) \quad (\text{Eq 3.5})$$

Onde, o resultado é dado pela linguagem simbólica $r(\mu_{r1}; \mu_{r2})$ e tem o *grau de evidência favorável resultante* $\mu_{r1} = \text{mín}\{\mu_{p1}, \mu_{q1}\}$ e o *grau de evidência contrária resultante* $\mu_{r2} = \text{máx}\{\mu_{p2}, \mu_{q2}\}$.

Por exemplo, sejam as proposições $p(0,8; 0,6)$ e $q(0,7; 0,5)$, que resultam em uma proposição r . As anotações das proposições p e q são respectivamente: $\mu_{p1} = 0,8$, $\mu_{p2} = 0,6$, $\mu_{q1} = 0,7$ e $\mu_{q2} = 0,5$. Com o uso da Eq. 3.5, as anotações da proposição r , a saber, μ_{r1} e μ_{r2} , são calculadas assim: $\text{MÍN}\{p(0,8; 0,6), q(0,7; 0,5)\} = r(\text{mín}\{0,8, 0,7\}; \text{máx}\{0,6, 0,5\}) = r(0,7; 0,6)$, logo, $\mu_{r1} = 0,7$, $\mu_{r2} = 0,6$.

Apresentam-se as Figuras 3.3 a 3.6 com quatro exemplos a fim de observar a conformidade da localização dos operadores AND, OR, MÁX e MÍN. Por exemplo, a Figura 3.3 mostra graficamente a localização das anotações das proposições $p(0,80; 0,60)$ e $q(0,70; 0,50)$ e as operações $q = p \text{ AND } q$, $p = p \text{ OR } q$, $r_2 = p \text{ MÁX } q$ e $r_1 = p \text{ MÍN } q$.

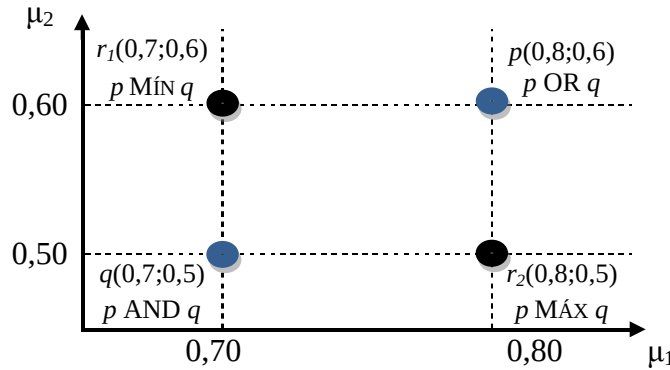


Figura 3.3 – Gráfico das anotações $p(0,8; 0,6)$ e $q(0,7; 0,5)$ com as operações AND, OR, MÁX e MÍN.
Fonte: Elaboração própria.

A Figura 3.4 mostra no gráfico a localização das anotações das proposições $p(0,70; 0,60)$ e $q(0,80; 0,50)$ e as operações $r_2 = p \text{ AND } q$, $r_1 = p \text{ OR } q$, $q = p \text{ MÁX } q$ e $p = p \text{ MÍN } q$.

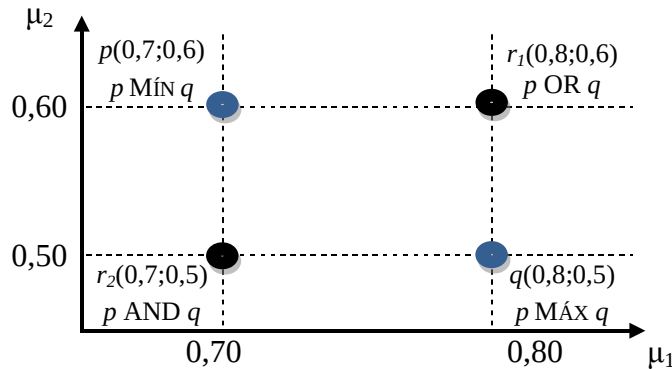


Figura 3.4 – Gráfico das anotações $p(0,7; 0,6)$ e $q(0,8; 0,5)$ com as operações AND, OR, MÁX e MÍN.
Fonte: Elaboração própria.

A Figura 3.5 mostra no gráfico a localização das anotações das proposições $p(0,75; 0,60)$ e $q(0,75; 0,50)$ e as operações $p = p \text{ AND } q = p \text{ MÁX } q$ e $q = p \text{ OR } q = p \text{ MÍN } q$.

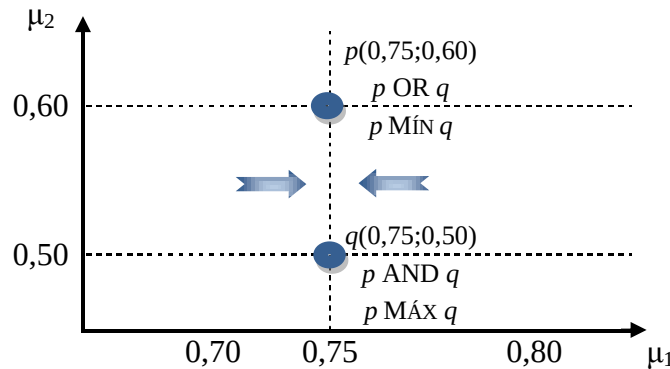


Figura 3.5 – Gráfico das anotações $p(0,75; 0,60)$ e $q(0,75; 0,50)$ com as operações AND, OR, MÁX e MÍN.
Fonte: Elaboração própria.

A Figura 3.6 mostra no gráfico a localização das anotações das proposições $p(0,70; 0,55)$ e $q(0,80; 0,55)$ e os resultados das operações $p \text{ AND } q$, $p \text{ OR } q$, $p \text{ MÁX } q$ e $p \text{ MÍN } q$.

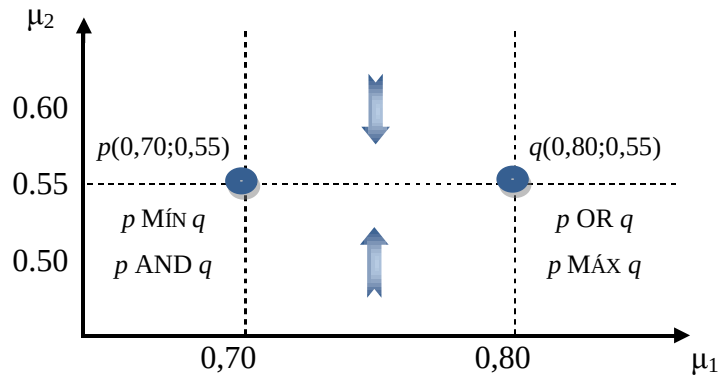


Figura 3.6 – Gráfico das anotações $p(0,70; 0,55)$ e $q(0,80; 0,55)$ com as operações AND, OR, MÁX e MÍN.
Fonte: Elaboração própria.

Sobre as vantagens e desvantagens dos operadores AND e MÍN e OR e MÁX, segue-se a observação acerca dos operadores de maximização e de minimização,

Portanto, observa-se que há duas maneiras de se aplicarem as regras de maximização e de minimização da lógica Et. Em alguns aspectos, uma tem vantagens sobre a outra; em outros, desvantagens. Por exemplo, a primeira maneira permite identificar melhor contradições existentes na base de dados, mas, em compensação, a segunda é mais intuitiva e leva a resultados mais previsíveis e coerentes (DE CARVALHO, ABE, 2011, p. 11).

Nesta dissertação, utilizam-se os operadores MÁX e MÍN para maximização e minimização, respectivamente, a fim de calcular as anotações resultantes no processamento do MPDM (cf. seção 5.3).

3.4.2. Tabela de Valores com nove estados lógicos hirtos

Um Quadrado Unitário do Plano Cartesiano (QUPC), que será detalhado na próxima seção (3.4.3), é apresentado com nove estados lógicos hirtos (ou não flexíveis).

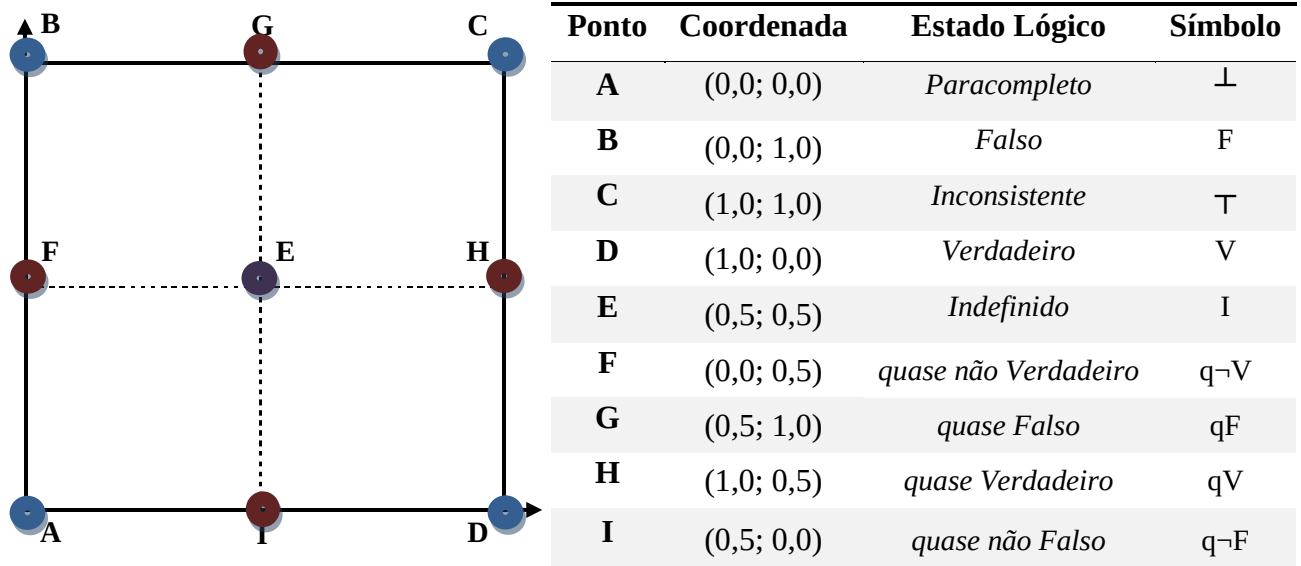


Figura 3.7 - Quadrado Unitário do Plano Cartesiano com nove estados lógicos hirtos.
Fonte: Elaboração própria.

A Tabela 3.9 mostra um exemplo do uso da negação, da conjunção, da disjunção, do maximizante e do minimizante com os nove estados lógicos hirtos representados pelo conjunto $\{V, F, \top, \perp, I, qV, q\neg V, qF, q\neg F\}$ e suas correspondentes anotações do tipo $(\mu_1; \mu_2)$. Onde, $V_i(p)$ e $V_i(q)$ é a *valoração* das proposições $p(\mu_{p1}; \mu_{p2})$ e $q(\mu_{q1}; \mu_{q2})$, ou simplesmente p e q , respectivamente.

Tabela 3.9 – Tabela de Valores de duas proposições p e q dos com os conectivos de conjunção, disjunção, maximizante, minimizante para os nove pontos associados aos estados lógicos hirtos.

$V_i(p)$	$V_i(q)$	$p(\mu_{p1}; \mu_{p2})$	$q(\mu_{q1}; \mu_{q2})$	$p \text{ AND } q$	$p \text{ OR } q$	$p \text{ MÁX } q$	$p \text{ MÍN } q$
V	V	(1,0; 0,0)	(1,0; 0,0)	(1,0; 0,0)	(1,0; 0,0)	(1,0; 0,0)	(1,0; 0,0)
V	F	(1,0; 0,0)	(0,0; 1,0)	(0,0; 0,0)	(1,0; 1,0)	(1,0; 0,0)	(0,0; 1,0)
V	$\top$	(1,0; 0,0)	(1,0; 1,0)	(1,0; 0,0)	(1,0; 1,0)	(1,0; 0,0)	(1,0; 1,0)
V	$\perp$	(1,0; 0,0)	(0,0; 0,0)	(0,0; 0,0)	(1,0; 0,0)	(1,0; 0,0)	(0,0; 0,0)
V	I	(1,0; 0,0)	(0,5; 0,5)	(0,5; 0,0)	(1,0; 0,5)	(1,0; 0,0)	(0,5; 0,5)
V	qV	(1,0; 0,0)	(1,0; 0,5)	(1,0; 0,0)	(1,0; 0,5)	(1,0; 0,0)	(1,0; 0,5)
V	$q\neg V$	(1,0; 0,0)	(0,0; 0,5)	(0,0; 0,0)	(1,0; 0,5)	(1,0; 0,0)	(0,0; 0,5)
V	qF	(1,0; 0,0)	(0,5; 1,0)	(0,5; 0,0)	(1,0; 1,0)	(1,0; 0,0)	(0,5; 1,0)
V	$q\neg F$	(1,0; 0,0)	(0,5; 0,0)	(0,5; 0,0)	(1,0; 0,0)	(1,0; 0,0)	(0,5; 0,0)
F	V	(0,0; 1,0)	(1,0; 0,0)	(0,0; 0,0)	(1,0; 1,0)	(1,0; 0,0)	(0,0; 1,0)
F	F	(0,0; 1,0)	(0,0; 1,0)	(0,0; 1,0)	(0,0; 1,0)	(0,0; 1,0)	(0,0; 1,0)
F	$\top$	(0,0; 1,0)	(1,0; 1,0)	(0,0; 1,0)	(1,0; 1,0)	(1,0; 1,0)	(0,0; 1,0)

F	$\perp$	(0,0; 1,0)	(0,0; 0,0)	(0,0; 0,0)	(0,0; 1,0)	(0,0; 0,0)	(0,0; 1,0)
F	I	(0,0; 1,0)	(0,5; 0,5)	(0,0; 0,5)	(0,5; 1,0)	(0,5; 0,5)	(0,0; 1,0)
F	qV	(0,0; 1,0)	(1,0; 0,5)	(0,0; 0,5)	(1,0; 1,0)	(1,0; 0,5)	(0,0; 1,0)
F	q¬V	(0,0; 1,0)	(0,0; 0,5)	(0,0; 0,5)	(0,0; 1,0)	(0,0; 0,5)	(0,0; 1,0)
F	qF	(0,0; 1,0)	(0,5; 1,0)	(0,0; 1,0)	(0,5; 1,0)	(0,5; 1,0)	(0,0; 1,0)
F	q¬F	(0,0; 1,0)	(0,5; 0,0)	(0,0; 0,0)	(0,5; 1,0)	(0,5; 1,0)	(0,0; 1,0)
⊤	V	(1,0; 1,0)	(1,0; 0,0)	(1,0; 0,0)	(1,0; 1,0)	(1,0; 0,0)	(1,0; 1,0)
⊤	F	(1,0; 1,0)	(0,0; 1,0)	(0,0; 1,0)	(1,0; 1,0)	(1,0; 1,0)	(0,0; 1,0)
⊤	$\perp$	(1,0; 1,0)	(1,0; 1,0)	(1,0; 1,0)	(1,0; 1,0)	(1,0; 1,0)	(1,0; 1,0)
⊤	$\perp$	(1,0; 1,0)	(0,0; 0,0)	(0,0; 0,0)	(1,0; 1,0)	(1,0; 0,0)	(0,0; 1,0)
⊤	I	(1,0; 1,0)	(0,5; 0,5)	(0,5; 0,5)	(1,0; 1,0)	(1,0; 0,5)	(0,5; 1,0)
⊤	qV	(1,0; 1,0)	(1,0; 0,5)	(1,0; 0,5)	(1,0; 1,0)	(1,0; 0,5)	(1,0; 1,0)
⊤	q¬V	(1,0; 1,0)	(0,0; 0,5)	(0,0; 0,5)	(1,0; 1,0)	(1,0; 0,5)	(0,0; 1,0)
⊤	qF	(1,0; 1,0)	(0,5; 1,0)	(0,5; 1,0)	(1,0; 1,0)	(1,0; 1,0)	(0,5; 1,0)
⊤	q¬F	(1,0; 1,0)	(0,5; 0,0)	(0,5; 0,0)	(1,0; 1,0)	(1,0; 0,0)	(0,5; 1,0)
$\perp$	V	(0,0; 0,0)	(1,0; 0,0)	(0,0; 0,0)	(1,0; 0,0)	(1,0; 0,0)	(0,0; 0,0)
$\perp$	F	(0,0; 0,0)	(0,0; 1,0)	(0,0; 0,0)	(0,0; 1,0)	(0,0; 0,0)	(0,0; 1,0)
$\perp$	$\perp$	(0,0; 0,0)	(1,0; 1,0)	(0,0; 0,0)	(1,0; 1,0)	(1,0; 0,0)	(0,0; 1,0)
$\perp$	$\perp$	(0,0; 0,0)	(0,0; 0,0)	(0,0; 0,0)	(0,0; 0,0)	(0,0; 0,0)	(0,0; 0,0)
$\perp$	I	(0,0; 0,0)	(0,5; 0,5)	(0,0; 0,0)	(0,5; 0,5)	(0,5; 0,0)	(0,0; 0,5)
$\perp$	qV	(0,0; 0,0)	(1,0; 0,5)	(0,0; 0,0)	(1,0; 0,5)	(1,0; 0,0)	(0,0; 0,5)
$\perp$	q¬V	(0,0; 0,0)	(0,0; 0,5)	(0,0; 0,0)	(0,0; 0,5)	(0,0; 0,0)	(0,0; 0,5)
$\perp$	qF	(0,0; 0,0)	(0,5; 1,0)	(0,0; 0,0)	(0,5; 1,0)	(0,5; 0,0)	(0,0; 1,0)
$\perp$	q¬F	(0,0; 0,0)	(0,5; 0,0)	(0,0; 0,0)	(0,5; 0,0)	(0,5; 0,0)	(0,0; 0,0)
I	V	(0,5; 0,5)	(1,0; 0,0)	(0,5; 0,0)	(1,0; 0,5)	(1,0; 0,0)	(0,5; 0,5)
I	F	(0,5; 0,5)	(0,0; 1,0)	(0,0; 0,5)	(0,5; 1,0)	(0,5; 0,5)	(0,0; 1,0)
I	$\perp$	(0,5; 0,5)	(1,0; 1,0)	(0,5; 0,5)	(1,0; 1,0)	(1,0; 0,5)	(0,5; 1,0)
I	$\perp$	(0,5; 0,5)	(0,0; 0,0)	(0,0; 0,0)	(0,5; 0,5)	(0,5; 0,0)	(0,0; 0,5)
I	I	(0,5; 0,5)	(0,5; 0,5)	(0,5; 0,5)	(0,5; 0,5)	(0,5; 0,5)	(0,5; 0,5)
I	qV	(0,5; 0,5)	(1,0; 0,5)	(0,5; 0,5)	(1,0; 0,5)	(1,0; 0,5)	(0,5; 0,5)
I	q¬V	(0,5; 0,5)	(0,0; 0,5)	(0,0; 0,5)	(0,5; 0,5)	(0,5; 0,5)	(0,0; 0,5)
I	qF	(0,5; 0,5)	(0,5; 1,0)	(0,5; 0,5)	(0,5; 1,0)	(0,5; 0,5)	(0,5; 1,0)
I	q¬F	(0,5; 0,5)	(0,5; 0,0)	(0,5; 0,0)	(0,5; 0,5)	(0,5; 0,0)	(0,5; 0,5)
qV	V	(1,0; 0,5)	(1,0; 0,0)	(1,0; 0,0)	(1,0; 0,5)	(1,0; 0,0)	(1,0; 0,5)
qV	F	(1,0; 0,5)	(0,0; 1,0)	(0,0; 0,5)	(1,0; 1,0)	(1,0; 0,5)	(0,0; 1,0)
qV	$\perp$	(1,0; 0,5)	(1,0; 1,0)	(1,0; 0,5)	(1,0; 1,0)	(1,0; 0,5)	(1,0; 1,0)
qV	$\perp$	(1,0; 0,5)	(0,0; 0,0)	(0,0; 0,0)	(1,0; 0,5)	(1,0; 0,0)	(0,0; 0,5)
qV	I	(1,0; 0,5)	(0,5; 0,5)	(0,5; 0,5)	(1,0; 0,5)	(1,0; 0,5)	(0,5; 0,5)
qV	qV	(1,0; 0,5)	(1,0; 0,5)	(1,0; 0,5)	(1,0; 0,5)	(1,0; 0,5)	(1,0; 0,5)
qV	q¬V	(1,0; 0,5)	(0,0; 0,5)	(0,0; 0,5)	(1,0; 0,5)	(1,0; 0,5)	(0,0; 0,5)
qV	qF	(1,0; 0,5)	(0,5; 1,0)	(0,5; 0,5)	(1,0; 1,0)	(1,0; 0,5)	(0,5; 1,0)
qV	q¬F	(1,0; 0,5)	(0,5; 0,0)	(0,5; 0,0)	(1,0; 0,5)	(1,0; 0,0)	(0,5; 0,5)
q¬V	V	(0,0; 0,5)	(1,0; 0,0)	(0,0; 0,0)	(1,0; 0,5)	(1,0; 0,0)	(0,0; 0,5)
q¬V	F	(0,0; 0,5)	(0,0; 1,0)	(0,0; 0,5)	(0,0; 1,0)	(0,0; 0,5)	(0,0; 1,0)
q¬V	$\perp$	(0,0; 0,5)	(1,0; 1,0)	(0,0; 0,5)	(1,0; 1,0)	(1,0; 0,5)	(0,0; 1,0)
q¬V	$\perp$	(0,0; 0,5)	(0,0; 0,0)	(0,0; 0,0)	(0,0; 0,5)	(0,0; 0,0)	(0,0; 0,5)
q¬V	I	(0,0; 0,5)	(0,5; 0,5)	(0,0; 0,5)	(0,5; 0,5)	(0,5; 0,5)	(0,0; 0,5)
q¬V	qV	(0,0; 0,5)	(1,0; 0,5)	(0,0; 0,5)	(1,0; 0,5)	(1,0; 0,5)	(0,0; 0,5)
q¬V	q¬V	(0,0; 0,5)	(0,0; 0,5)	(0,0; 0,5)	(0,0; 0,5)	(0,0; 0,5)	(0,0; 0,5)
q¬V	qF	(0,0; 0,5)	(0,5; 1,0)	(0,0; 0,5)	(0,5; 1,0)	(0,5; 0,5)	(0,0; 1,0)
q¬V	q¬F	(0,0; 0,5)	(0,5; 0,0)	(0,0; 0,0)	(0,5; 0,5)	(0,5; 0,0)	(0,0; 0,5)
qF	V	(0,5; 1,0)	(1,0; 0,0)	(0,5; 0,0)	(1,0; 0,0)	(1,0; 0,0)	(0,5; 0,0)
qF	F	(0,5; 1,0)	(0,0; 1,0)	(0,0; 1,0)	(0,5; 1,0)	(0,5; 1,0)	(0,0; 1,0)
qF	$\perp$	(0,5; 1,0)	(1,0; 1,0)	(0,5; 1,0)	(1,0; 1,0)	(1,0; 1,0)	(0,5; 1,0)
qF	$\perp$	(0,5; 1,0)	(0,0; 0,0)	(0,0; 0,0)	(0,5; 1,0)	(0,5; 0,0)	(0,0; 1,0)

qF	I	(0,5; 1,0)	(0,5; 0,5)	(0,5; 0,5)	(0,5; 1,0)	(0,5; 0,5)	(0,5; 1,0)
qF	qV	(0,5; 1,0)	(1,0; 0,5)	(0,5; 0,5)	(1,0; 1,0)	(1,0; 0,5)	(0,5; 1,0)
qF	q¬V	(0,5; 1,0)	(0,0; 0,5)	(0,0; 0,5)	(0,5; 1,0)	(0,5; 0,5)	(0,0; 1,0)
qF	qF	(0,5; 1,0)	(0,5; 1,0)	(0,5; 1,0)	(0,5; 1,0)	(0,5; 1,0)	(0,5; 1,0)
qF	q¬F	(0,5; 1,0)	(0,5; 0,0)	(0,5; 0,0)	(0,5; 1,0)	(0,5; 0,0)	(0,5; 1,0)
q¬F	V	(0,5; 0,0)	(1,0; 0,0)	(0,5; 0,0)	(1,0; 0,0)	(1,0; 0,0)	(0,5; 0,0)
q¬F	F	(0,5; 0,0)	(0,0; 1,0)	(0,0; 0,0)	(0,5; 1,0)	(0,5; 0,0)	(0,0; 1,0)
q¬F	⊥	(0,5; 0,0)	(1,0; 1,0)	(0,5; 0,0)	(1,0; 1,0)	(1,0; 0,0)	(0,5; 1,0)
q¬F	⊥	(0,5; 0,0)	(0,0; 0,0)	(0,0; 0,0)	(0,5; 0,0)	(0,5; 0,0)	(0,0; 0,0)
q¬F	I	(0,5; 0,0)	(0,5; 0,5)	(0,5; 0,0)	(0,5; 0,5)	(0,5; 0,0)	(0,5; 0,5)
q¬F	qV	(0,5; 0,0)	(1,0; 0,5)	(0,5; 0,0)	(1,0; 0,5)	(1,0; 0,0)	(0,5; 0,5)
q¬F	q¬V	(0,5; 0,0)	(0,0; 0,5)	(0,0; 0,0)	(0,5; 0,5)	(0,5; 0,0)	(0,0; 0,5)
q¬F	qF	(0,5; 0,0)	(0,5; 1,0)	(0,5; 0,0)	(0,5; 1,0)	(0,5; 0,0)	(0,5; 1,0)
q¬F	q¬F	(0,5; 0,0)	(0,5; 0,0)	(0,5; 0,0)	(0,5; 0,0)	(0,5; 0,0)	(0,5; 0,0)

Fonte: Elaboração própria

A Tabela 3.10 mostra uma Tabela de Valores com os resultados obtidos com o uso da negação, da conjunção, da disjunção, do maximizante e do minimizante com os nove estados lógicos hirtos. As proposições p e q utilizadas na Tabela 3.10 têm os valores lógicos de $V_i(p)$ e $V_i(q)$ respectivamente. Já as operações NOT p , NOT q , p AND q , p OR q , p MÁX q e p MÍN q são interpretadas como a negação de $V_i(p)$ e $V_i(q)$, a conjunção de $V_i(p)$ e $V_i(q)$, a disjunção de $V_i(p)$ e $V_i(q)$, o maximizante de $V_i(p)$ e $V_i(q)$ e o minimizante $V_i(p)$ e $V_i(q)$ nessa ordem.

Tabela 3.10 – Tabela de Valores de duas proposições p e q para a negação, a conjunção, a disjunção, a maximizante, a minimizante para os nove estados lógicos hirtos.

$V_i(p)$	$V_i(q)$	NOT p	NOT q	p AND q	p OR q	p MÁX q	p MÍN q
V	V	F	F	V	V	V	V
V	F	F	V	⊥	⊥	V	F
V	⊥	F	⊥	V	⊥	V	⊥
V	I	F	I	q¬F	qV	V	I
V	qV	F	qF	V	qV	V	qV
V	q¬V	F	q¬F	⊥	qV	V	q¬V
V	qF	F	qV	q¬F	⊥	V	qF
V	q¬F	F	q¬V	q¬F	V	V	q¬F
F	V	V	F	⊥	⊥	V	F
F	F	V	V	F	F	F	F
F	⊥	V	⊥	F	⊥	⊥	F
F	I	V	I	q¬V	qF	I	F
F	qV	V	qF	q¬V	⊥	qV	F
F	q¬V	V	q¬F	q¬V	F	q¬V	F
F	qF	V	qV	F	qF	qF	F
F	q¬F	V	q¬V	⊥	qF	q¬F	F
⊥	V	⊥	F	V	⊥	V	⊥
⊥	F	⊥	V	F	⊥	⊥	F

$q \neg F$	$\perp$	$q \neg V$	$\perp$	$\perp$	$q \neg F$	$q \neg F$	$\perp$
$q \neg F$	I	$q \neg V$	I	$q \neg F$	I	$q \neg F$	I
$q \neg F$	qV	$q \neg V$	qF	$q \neg F$	qV	V	I
$q \neg F$	$q \neg V$	$q \neg V$	$q \neg F$	$\perp$	I	$q \neg F$	$q \neg V$
$q \neg F$	qF	$q \neg V$	qV	$q \neg F$	qF	$q \neg F$	qF
$q \neg F$	$q \neg F$	$q \neg V$	$q \neg V$	$q \neg F$	$q \neg F$	$q \neg F$	$q \neg F$

Fonte: Elaboração própria

Percebe-se que, quatro estados lógicos foram adicionados nas Tabelas 3.9 e 3.10, a saber: [1] QUASE VERDADEIRO (qV), [2] QUASE FALSO (qF), [3] QUASE NÃO VERDADEIRO ($q \neg V$) e [4] QUASE NÃO FALSO ($q \neg F$). Os estados lógicos não hirtos (ou flexíveis) são apresentados no tópico dos “Estados de Decisão: Extremos e não Extremos” na seção (3.4.5).

3.4.3. O reticulado τ das anotações

Seja o par $(\mu_1; \mu_2)$ uma *constante de anotação* já conceituado nesta dissertação. Tal par é um elemento de $[0, 1] \times [0, 1]$, que se indica também dessa forma $[0, 1]^2$. De modo que a notação $|\tau|$ é o produto cartesiano $[0, 1]^2$ do intervalo fechado unitário real. Isto significa afirmar que, $|\tau| = [0, 1] \times [0, 1]$. O *Quadrado Unitário do Plano Cartesiano* $[0, 1]^2$ (DA COSTA, 1999) com a *relação de ordem total* ($\leq^*$) inframencionada constitui um reticulado³⁵ fixo dado pela estrutura matemática $\langle |\tau|, \leq^* \rangle$ denominado de *reticulado τ das anotações* (cf. ABE, In: ABE; SILVA FILHO, CELESTINO; DE ARAÚJO, 2011, p. 49; DE CARVALHO; ABE, 2012, p. 39). A *relação de ordem total* é definida pela equivalência lógica: $\forall \mu_{p1}, \mu_{p2}, \mu_{q1}, \mu_{q2} \in |\tau|, (\mu_{p1}; \mu_{p2}) \leq^* (\mu_{q1}; \mu_{q2}) \Leftrightarrow \mu_{p1} \leq \mu_{q1} \text{ e } \mu_{p2} \leq \mu_{q2}$, sendo $\leq$ a *relação de ordem usual* dos números reais.

As seis propriedades (cf. ABE, In: ABE; SILVA FILHO, CELESTINO; DE ARAÚJO, 2011, p. 49) apresentadas a seguir “permitem dizer que o conjunto $[0, 1]^2$ com a ordem $\leq^*$ constitui um reticulado” (DE CARVALHO; ABE, 2012, p. 40).

Propriedade 1 - [Reflexividade]

$$\forall \mu_1, \mu_2 \in \tau, (\mu_1; \mu_2) \leq^* (\mu_1; \mu_2).$$

Propriedade 2 - [Antissimetria]

$$\forall \mu_{p1}, \mu_{p2}, \mu_{q1}, \mu_{q2} \in \tau, (\mu_{p1}; \mu_{p2}) \leq^* (\mu_{q1}; \mu_{q2}) \text{ e } (\mu_{q1}; \mu_{q2}) \leq^* (\mu_{p1}; \mu_{p2}), \text{ implicam } (\mu_{p1}; \mu_{p2}) = (\mu_{q1}; \mu_{q2})$$

³⁵ Sobre a teoria dos reticulados, sugere-se a obra: CONWAY, J. H.; SLOANE, N. J. A. *Sphere Packings, Lattices and Groups*. New York: Springer, 1999.

Propriedade 3 - [Transitividade]

$\forall \mu_{p1}, \mu_{p2}, \mu_{q1}, \mu_{q2}, \mu_{r1}, \mu_{r2} \in \tau$,
 $(\mu_{p1}; \mu_{p2}) \leq^* (\mu_{q1}; \mu_{q2})$ e $(\mu_{q1}; \mu_{q2}) \leq^* (\mu_{r1}; \mu_{r2})$, implicam $(\mu_{p1}; \mu_{p2}) \leq^* (\mu_{r1}; \mu_{r2})$

Propriedade 4 - [Existência do Supremo]

$\forall \mu_{p1}, \mu_{p2}, \mu_{q1}, \mu_{q2} \in \tau$, existe o supremo (*sup*) de $\{(\mu_{p1}; \mu_{p2}), (\mu_{q1}; \mu_{q2})\}$ indicado por:
 $(\mu_{p1}; \mu_{p2}) \text{ MÁX } (\mu_{q1}; \mu_{q2}) = (\text{máx}(\mu_{p1}; \mu_{q1}), \text{mín}(\mu_{p2}; \mu_{q2}))$

Propriedade 5 - [Existência do Ínfimo]

$\forall \mu_{p1}, \mu_{p2}, \mu_{q1}, \mu_{q2} \in \tau$, existe o ínfimo (*inf*) de $\{(\mu_{p1}; \mu_{p2}), (\mu_{q1}; \mu_{q2})\}$ indicado por:
 $(\mu_{p1}; \mu_{p2}) \text{ MÍN } (\mu_{q1}; \mu_{q2}) = (\text{mín}(\mu_{p1}; \mu_{q1}), \text{máx}(\mu_{p2}; \mu_{q2}))$

Propriedade 6

$\forall \mu_1, \mu_2 \in \tau$, $(0,0; 1,0) \leq^* (\mu_1; \mu_2) \leq^* (1,0; 0,0)$.
 Portanto, *inf* $\tau = (0,0; 1,0)$ e *sup* $\tau = (1,0; 0,0)$

O reticulado τ associado à *linguagem E* da LPA $E\tau$ permite destacar por meio gráfico os estados lógicos conforme mostrado na Figura 3.8.

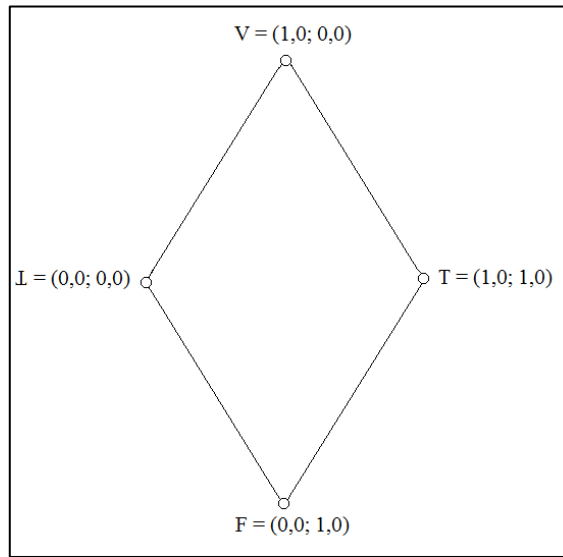


Figura 3.8 – Diagrama do reticulado τ das anotações.
 Fonte: ABE; SILVA FILHO, CELESTINO; DE ARAÚJO, 2011, p. 49.

Na seção próxima (3.4.4), verifica-se a migração das características do *reticulado τ das anotações* apresentada nesta seção (3.4.3) e visualizado na Figura 3.8 para uma construção no plano cartesiano, ou seja, o *QUPC*.

3.4.4. QUPC associado à LPA $E\tau$

Seja “*T*” a interpretação dada ao conjunto de proposições “*P*” associada às *valorações* (V_I). Sendo esta, uma função do tipo: $V_I = F \rightarrow [0,1] \times [0,1]$, onde F é o conjunto das fórmulas com visualização gráfica em um *Quadrado Unitário do Plano Cartesiano* –

QUPC (DA COSTA, 1999). Então, existe uma interpretação para o reticulado τ de acordo com a função: $I = P \rightarrow |\tau|$.

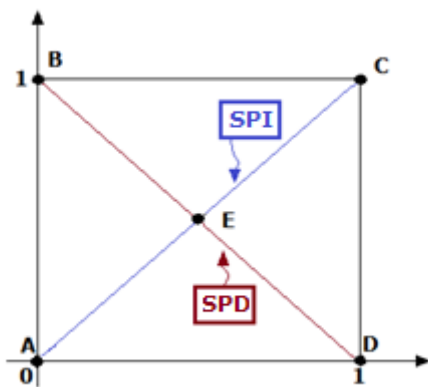
O QUPC tem duas variáveis delimitadas no intervalo fechado de 0 a 1. A variável que excursiona no intervalo fechado de 0 a 1 no eixo da abscissa é o *grau de evidência favorável* (μ_1). De forma análoga, a variável que excursiona no intervalo fechado de 0 a 1 no eixo da ordenada é o *grau de evidência contrária* (μ_2). As diagonais do QUPC também são identificadas, ou seja, o segmento de reta $\overline{AC}$ é o *Segmento Perfeitamente Indefinido* (SPI) e o segmento de reta $\overline{BD}$ é o *Segmento Perfeitamente Definido* (SPD) de acordo com as Eq. 3.6 e Eq. 3.7.

$$\text{Segmento Perfeitamente Definido (SPD)} \quad \mu_1 + \mu_2 - 1 = 0 \quad 0 \leq \mu_1, \mu_2 \leq 1 \quad (\text{Eq. 3.6})$$

$$\text{Segmento Perfeitamente Indefinido (SPI)} \quad \mu_1 - \mu_2 = 0 \quad 0 \leq \mu_1, \mu_2 \leq 1 \quad (\text{Eq. 3.7})$$

Nota-se que as *constantes de anotações* ($\mu_1; \mu_2$) que incidem no SPI (i.e. segmento $\overline{AC}$) possuem uma relação $\mu_1 = \mu_2$, que se infere da Eq. 3.7. Quando as evidências favorável e contrária são idênticas, mostra uma indefinição com uma variação do estado lógico INCONSISTENTE (1,0; 1,0) até o PARACOMPLETO (0,0; 0,0). Por outro lado, as constantes de anotações (μ_1, μ_2) que incidem no SPD (i.e. segmento $\overline{BD}$) possuem uma característica da evidência favorável ser uma complementação da evidência contrária e vice e versa, ou seja, $\mu_1 = 1 - \mu_2$, ou $\mu_2 = 1 - \mu_1$, respectivamente; isto é, ambas soluções algébricas são inferências da Eq. 3.6. É interessante perceber que, as constantes de anotações ($\mu_1; \mu_2$) nas extremidades do SPD representam o comportamento do uso da lógica clássica ou do caso ‘clássico’ no QUPC (cf. ABE, In: ABE; SILVA FILHO, CELESTINO; DE ARAÚJO, 2011, p. 51).

Os pontos notáveis do QUPC e as equações da reta para a LPC e para a LPI dadas pelas Eq. 3.6 e Eq. 3.7 respectivamente são visualizados na Figura 3.9.



Ponto	Coordenada	Estado Lógico	Símbolo
A	(0,0; 0,0)	Paracompleto	$\perp$
B	(0,0; 1,0)	Falso	F
C	(1,0; 1,0)	Inconsistente	$\top$
D	(1,0; 0,0)	Verdadeiro	V
E	(0,5; 0,5)	Indefinido	I

Figura 3.9 – Pontos notáveis do QUPC, a SPD e a SPI.
Fonte: Elaboração própria.

Sobre os seis “GRAUS”

Apresentam-se seis graus a fim de mensurar a proximidade ou a distância de uma *constante de anotação* $(\mu_1, \mu_2) = [0, 1] \times [0, 1]$ qualquer aos SPD e SPI. Estes seis graus são: GRAU DE FALSIDADE (G_F), GRAU DE VERDADE (G_V), GRAU DE INCONSISTÊNCIA (G_T), GRAU DE PARACOMPLETEZA ($G_\perp$), GRAU DE CERTEZA (G_C) e GRAU DE INCERTEZA (G_I). Estes indicadores dependem da *constante de anotação* $(\mu_1, \mu_2) = [0, 1] \times [0, 1]$ e inferem um valor associado dentro de uma escala de $[-1, 0]$ ou $[0, 1]$ ou $[-1, 1]$ conforme se visualiza a seguir:

GRAU DE FALSIDADE (G_F)	$G_F: [0, 1] \times [0, 1] \rightarrow [-1, 0]$
GRAU DE VERDADE (G_V)	$G_V: [0, 1] \times [0, 1] \rightarrow [0, 1]$
GRAU DE INCONSISTÊNCIA (G_T)	$G_T: [0, 1] \times [0, 1] \rightarrow [0, 1]$
GRAU DE PARACOMPLETEZA ($G_\perp$)	$G_\perp: [0, 1] \times [0, 1] \rightarrow [-1, 0]$
GRAU DE CERTEZA (G_C)	$G_C: [0, 1] \times [0, 1] \rightarrow [-1, 1]$
GRAU DE INCERTEZA (G_I)	$G_I: [0, 1] \times [0, 1] \rightarrow [-1, 1]$

Sendo que, Abe (In: ABE; SILVA FILHO, CELESTINO; DE ARAÚJO, 2011, p. 51) define os seis graus já mencionados pelas Eq. 3.8 a 3.13, a saber:

$$G_F(\mu_1, \mu_2) = \mu_1 - \mu_2, \text{ desde que } \mu_1 - \mu_2 \leq 0 \quad (\text{Eq. 3.8})$$

$$G_V(\mu_1, \mu_2) = \mu_1 - \mu_2, \text{ desde que } \mu_1 - \mu_2 \geq 0 \quad (\text{Eq. 3.9})$$

$$G_T(\mu_1, \mu_2) = \mu_1 + \mu_2 - 1, \text{ desde que } \mu_1 + \mu_2 - 1 \geq 0 \quad (\text{Eq. 3.10})$$

$$G_\perp(\mu_1, \mu_2) = \mu_1 + \mu_2 - 1, \text{ desde que } \mu_1 + \mu_2 - 1 \leq 0 \quad (\text{Eq. 3.11})$$

$$G_C(\mu_1, \mu_2) = \mu_1 - \mu_2, \text{ desde que } -1 \leq \mu_1 - \mu_2 \leq 1 \quad (\text{Eq. 3.12})$$

$$G_I(\mu_1, \mu_2) = \mu_1 + \mu_2 - 1, \text{ desde que } -1 \leq \mu_1 + \mu_2 - 1 \leq 1 \quad (\text{Eq. 3.13})$$

Qual é a interpretação dos seis graus apresentados? A seguir, é explanado o significado para cada grau e sua relação de distanciamento e de aproximação com o SPD e o SPI.

GRAU DE FALSIDADE (G_F)	Mensura o quão uma anotação $(\mu_1; \mu_2)$ distancia do SPD e quão se aproxima do estado lógico FALSO.
GRAU DE VERDADE (G_V)	Mensura o quão uma anotação $(\mu_1; \mu_2)$ distancia do SPD e quão se aproxima do estado lógico VERDADEIRO.
GRAU DE INCONSISTÊNCIA (G_T)	Mensura o quão uma anotação $(\mu_1; \mu_2)$ distancia do SPI e quão se aproxima do estado lógico INCONSISTENTE.

GRAU DE PARACOMPLETEZA ($G_{\perp}$)	Mensura o quão uma anotação ($\mu_1; \mu_2$) distancia do SPI e quão se aproxima do estado lógico PARACOMPLETO.
GRAU DE CERTEZA (G_C)	Mensura a excursão de uma anotação ($\mu_1; \mu_2$) entre o $-1 \leq \mu_1 - \mu_2 \leq 1$, onde G_C máximo = 1 no estado lógico VERDADEIRO e G_C mínimo = -1 no estado lógico FALSO.
GRAU DE INCERTEZA (G_I)	Mensura a excursão de uma anotação ($\mu_1; \mu_2$) entre o $-1 \leq \mu_1 + \mu_2 - 1 \leq 1$, onde G_I máximo = 1 no estado lógico INCONSISTENTE e G_I mínimo = -1 no estado lógico PARACOMPLETO.

Estados de Decisão: Extremos e Não Extremos

Neste ponto, é necessário registrar uma observação de Abe (*In*: ABE; SILVA FILHO, CELESTINO; DE ARAÚJO, 2011, p. 52): “podemos trabalhar com ‘faixas’ de verdade ao invés de a ‘verdade’ ser um conceito ‘hírtio’, ‘inflexível’. Talvez melhor [é] dizermos que a verdade é uma faixa de certeza com respeito a certa proposição”. Esta observação conduz aos conceitos de *valores limites extremos*, e mais adiante, a definição de *estados extremos e não extremos* a fim de apresentar no QUPC os estados de decisão.

Em primeiro lugar, os quatro valores limites extremos estão listados a seguir:

VALOR DE CONTROLE DE VERACIDADE (V_{CV})	$0 \leq (V_{CV}) \leq 1$
VALOR DE CONTROLE DE FALSIDADE (V_{CF})	$-1 \leq (V_{CF}) \leq 0$
VALOR DE CONTROLE DE INCONSISTÊNCIA (V_{CI})	$0 \leq (V_{CI}) \leq 1$
VALOR DE CONTROLE DE PARACOMPLETEZA (V_{CP})	$-1 \leq (V_{CP}) \leq 0$

Estes valores supramencionados norteiam quando uma proposição é considerada, por exemplo, “verdadeira” como decisão viável (positiva), “falsa” como decisão inviável (negativa) e assim por diante. A Figura 3.10 mostra a divisão do QUPC em áreas e sua relação com o GRAU DE CERTEZA, o GRAU DE INCERTEZA e aos quatro valores de controles mencionados. Já na Figura 3.11 é apresentado o QUPC em função das anotações μ_1 e μ_2 , ou seja, o dispositivo (ou algoritmo) para-analisador.

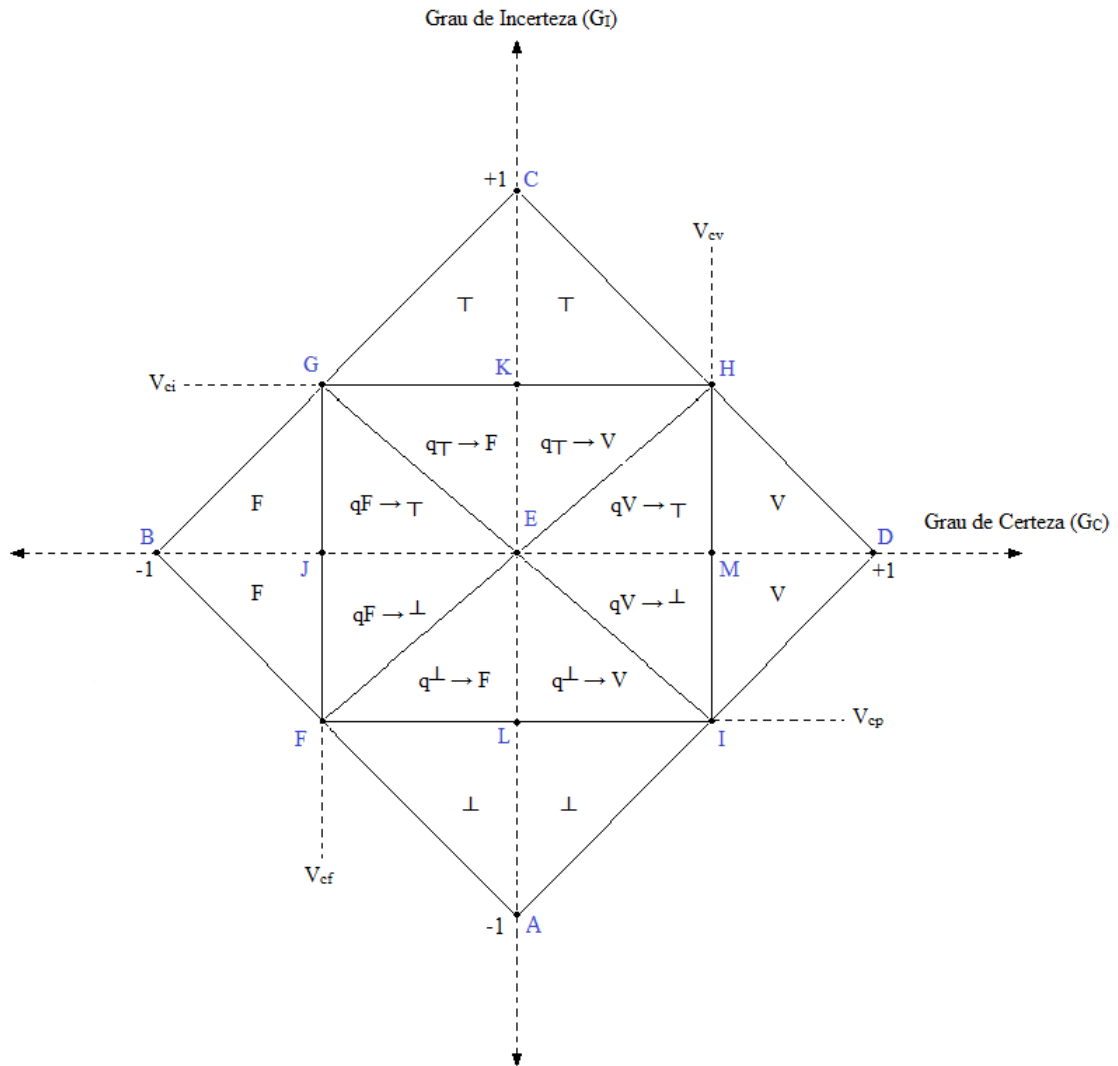


Figura 3.10 – QUPC com o G_C e G_I e os Valores de Controles V_{CV} , V_{CF} , V_{CP} e V_{CI} .
Fonte: Elaboração própria.

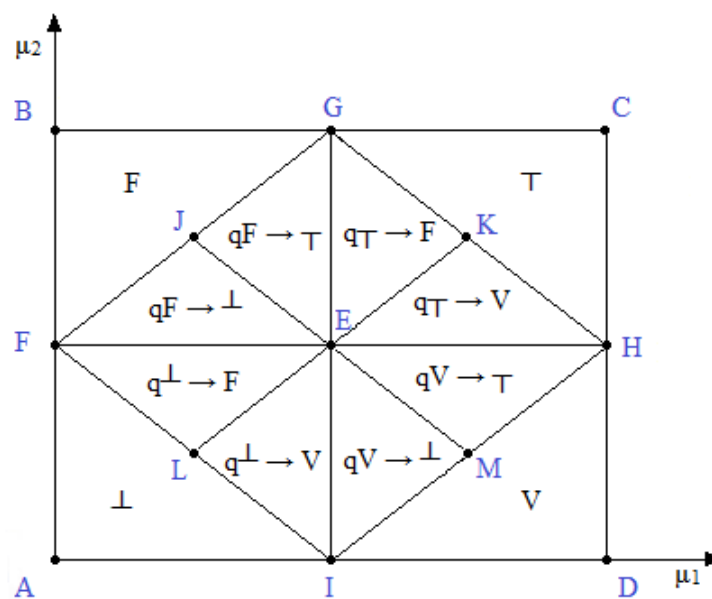


Figura 3.11 – Dispositivo para-analisador ou QUPC em função das anotações μ_1 e μ_2
Fonte: Elaboração própria

São observadas nas Figuras 3.10 e 3.11 que as doze áreas delimitadas por triângulos apontam para uma configuração de estados lógicos da LPA $E\tau$. Nesse contexto, a perspectiva de estado lógico não é mais hirta. Além disso, os estados lógicos estão agrupados nos denominados “Estados de Decisão”, que são dois, a saber: “Estados [de Decisão] Extremos” ou “Estados [de Decisão] Não Extremos”. Esta configuração dada pela Figura 3.11 foi denominada de dispositivo ou algoritmo para-analisador (cf. DA COSTA; ABE; MUROLO; DA SILVA FILHO; LEITE, 1999; DE CARVALHO, 2011, p. 47). A descrição dos doze estados lógicos da LPA $E\tau$, o Estado de Decisão, a região triangular limítrofe para cada estado lógico no dispositivo para-analisador e os símbolos dos estados lógicos são mostrados na Tabela 3.11.

Tabela 3.11 – O Estado de Decisão, a região triangular limítrofe para cada estado lógico no dispositivo para-analisador, as descrições e símbolos dos doze estados lógicos da LPA $E\tau$.

ESTADO DE DECISÃO	REGIÃO	ESTADO LÓGICO	SÍMBOLO
Extremo	AFI	Paracompleto	$\perp$
Extremo	BFG	Falso	F
Extremo	CGH	Inconsistente	$\top$
Extremo	DHI	Verdadeiro	V
Não Extremo	EFJ	quase Falso tendendo ao Paraconsistente	$qF \rightarrow \perp$
Não Extremo	EFL	quase Paracompleto tendendo ao Falso	$q\perp \rightarrow F$
Não Extremo	EGJ	quase Falso tendendo ao Inconsistente	$qF \rightarrow \top$
Não Extremo	EGK	quase Inconsistente tendendo ao Falso	$q\top \rightarrow F$
Não Extremo	EHK	quase Inconsistente tendendo ao Verdadeiro	$q\top \rightarrow V$
Não Extremo	EHM	quase Verdadeiro tendendo ao Inconsistente	$qV \rightarrow \top$
Não Extremo	EIL	quase Verdadeiro tendendo ao Paracompleto	$qV \rightarrow \perp$
Não Extremo	EIM	quase Paracompleto tendendo ao Verdadeiro	$q\perp \rightarrow V$

Fonte: Elaboração própria

Na Tabela 3.11, é importante registrar que, as proposições pertencentes à área DHI representam um estado lógico “Verdadeiro”, ou seja, são viáveis. Já a área BFG é de região de inviabilidade no dispositivo para-analisador. As dez regiões restantes são não conclusivas, em relação à viabilidade e à inviabilidade.

3.5. Considerações finais

Neste capítulo, foram mostradas as noções fundamentais de lógica a fim de inserir as palavras-chave utilizadas por especialistas em Lógica Paraconsistente (LP). Estas palavras-chave são: axiomas, teoremas, conceitos primitivos e derivativos, aspectos sintáticos e semânticos, sistema axiomático ou teoria, consistência (i.e. não contraditoriedade) e trivialidade. Esses conceitos subsidiaram para a definição de LP e de teoria paraconsistente (outrora denominada de Sistemas Formais Inconsistentes), ou seja: “diz-se que uma *lógica* é *paraconsistente* quando ela pode ser usada como lógica subjacente de uma teoria inconsistente e não-trivial. Diz-se que uma *teoria* é *paraconsistente* quando a sua lógica subjacente for paraconsistente” (ARRUDA, 1990, p. 4).

Mostrou também na seção (3.3) um panorama histórico sobre o surgimento e o desenvolvimento da LP até as primeiras publicações sobre a Lógica Paraconsistente Anotada (LPA). Para isso, adotou-se o esquema de periodização de Béziau (*In*: DA COSTA, BÉZIAU, BUENO, 1998, pp. 99-112), ou seja, a divisão em quatro períodos, a saber: (1) a gestação: 1910 – 1963, (2) nascimento e infância: 1963 – 1976, (3) o batismo e a adolescência: 1976 – 1991 e (4) a idade da razão: a partir de 1991. A pesquisa histórica e literária da LP feita nesta dissertação passou pelas críticas e interpretação do logicista polonês Jan Łukasiewicz acerca do PNC encontrado nos escritos de Aristóteles, pelas publicações de Nikolai Aleksandrovich Vasil’ev e a sua recepção entre os especialistas no assunto, a lógica discussiva de Stanisław Jaśkowski e as contribuições das obras de Newton da Costa. Em seguida, foram mencionados os artigos pioneiros do pesquisador indiano V. S. Subrahmanian datados na década de 1980 sobre o tema das lógicas anotadas. Nesse contexto, foram desenvolvidas duas propostas. A primeira de uma *lógica proposicional paraconsistente anotada* $P\tau$ (DA COSTA; SUBRAHMANIAN; VAGO, 1991) e a segunda, uma *lógica de predicados paraconsistente anotada de primeira ordem* $Q\tau$ (DA COSTA; ABE; SUBRAHMANIAN, 1991). Uma publicação mais dedicada é encontrada na tese doutoral do Prof. Jair Minoro Abe sobre os fundamentos da lógica anotada (ABE, 1992) defendida na USP sob a orientação do Prof. Newton da Costa. Encerra-se, esse panorama histórico com a aparição da Lógica Paraconsistente Anotada Evidencial $E\tau$ (LPA $E\tau$) e o algoritmo (ou dispositivo) para-analisador (cf. DA COSTA *et al.*, 1999; DA SILVA FILHO; ABE, 2001), que suportam o denominado Método Paraconsistente de Decisão (MPD) – onde a tese doutoral de Fabio Romeu de Carvalho (2006) é uma importante leitura para o tema em lide.

Na seção (3.4), mostraram-se os recursos da LPA $E\tau$ e do algoritmo para-analisador. Para isso, foram apresentados cinco conectivos associados aos operadores da LPA $E\tau$: negação (NOT), conjunção (AND), disjunção (OR), maximizante (MÁX) e minimizante (MÍN). Destacou-se a opção, nesta dissertação, dos operadores MÁX e MÍN em lugar do OR e AND no MPDM (cf. seção 5.3). Uma Tabela de Verdade com nove estados lógicos hirtos em um QUPC foi elaborada a fim de mostrar as operações lógicas supramencionadas entre duas proposições atômicas hipotéticas $p(\mu_{p1}; \mu_{p2})$ e $q(\mu_{q1}; \mu_{q2})$. O reticulado das anotações τ e o passo a passo para a construção do QUPC foram mostrados. Além disso, apresentaram-se os seis graus de decisão. É importante registrar, que o Grau de Incerteza (G_I) e o Grau de Certeza (G_C) são os graus de decisão essenciais para o MPDM a ser empregado na seção (5.2). Finaliza-se, esta seção (3.4), com os Estados de Decisão, onde a viabilidade de uma proposição ou de um conjunto de proposições está associada ao estado lógico “Verdadeiro”. Isto significa que, no dispositivo para-analisador, a região triangular DHI da Figura 3.11 deve ser observada quando se trata da viabilidade de cada resultado dos ensaios laboratoriais avaliados. De forma semelhante, as proposições pertencentes à região triangular BFD representam a inviabilidade da questão estudada, isto é, o estado lógico “Falso”. As dez regiões restantes são interpretadas como “não conclusiva” – ou seja, não é inviável nem viável.

No próximo capítulo, duas aplicações com o uso da teoria de LPA $E\tau$ e do algoritmo para-analisador são apresentadas a fim de exemplificar a aplicação dos procedimentos do MPD.

4. Sobre o Método Paraconsistente de Decisão

4.1. Considerações iniciais

Neste capítulo, são abordadas as etapas do Método Paraconsistente de Decisão³⁶ (DE CARVALHO, 2002, 2003, 2006, DE CARVALHO; ABE, 2011). A fim de organizar a apresentação desse método, optou-se por dividir esse capítulo em três seções, a saber: (4.2) Pré-Processamento, (4.3) Processamento e (4.4) Pós-Processamento. Na Figura 4.1, é apresentado um diagrama com os três procedimentos e as nove etapas do MPD.

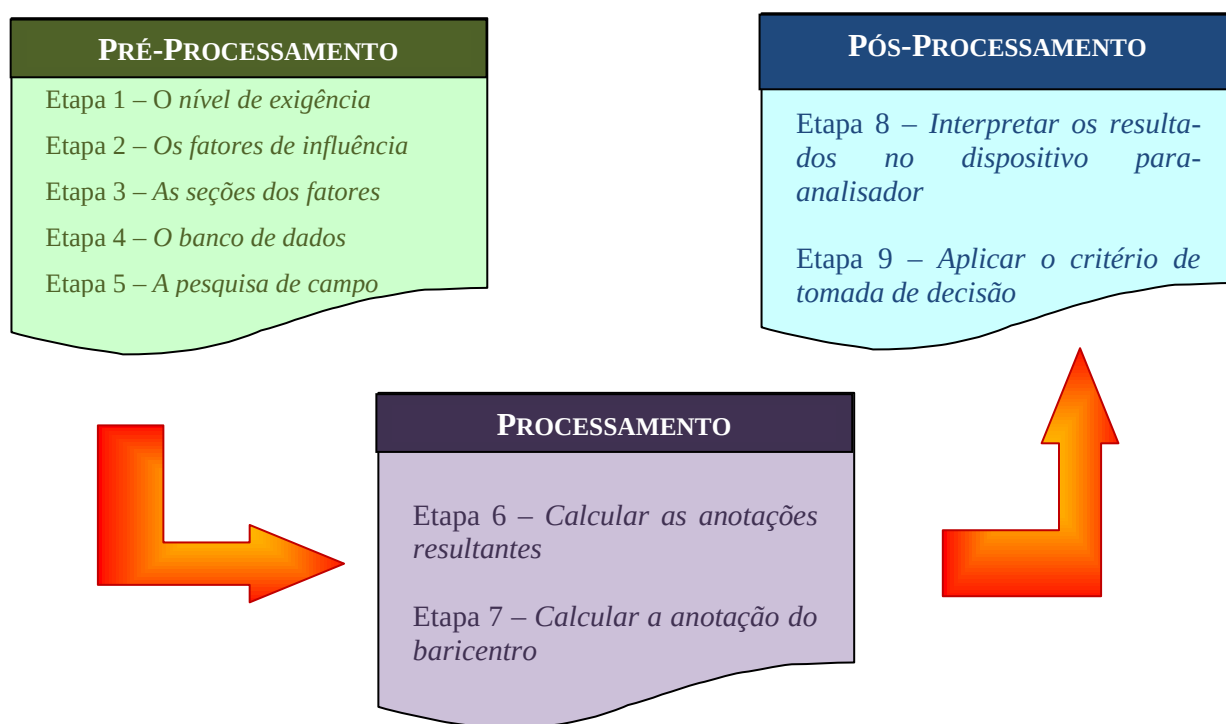


Figura 4.1 – Diagrama dos três procedimentos do Método Paraconsistente de Decisão.
Fonte: Elaboração própria

³⁶ Sobre a motivação e a origem do nome do método, de Carvalho e Abe declaram “A Pesquisa Operacional tem-se mostrado um assunto vastíssimo e inesgotável [...] Dentro da Pesquisa Operacional está inserido o estudo das tomadas de decisão. Muito se tem pesquisado sobre este assunto, vários métodos de tomadas de decisão têm sido desenvolvidos, mas, até hoje, nenhum conseguiu dar um ponto final ao assunto e, acreditamos, nenhum conseguirá fazê-lo. Uma rápida navegada pela *Internet* pode mostrar o quanto se pesquisa e o quanto se publica sobre os chamados *Decision Support Systems*, *DSS*. Estes constituem uma classe de sistemas de informação (incluindo, mas não se limitando a sistemas computacionais), que dão suporte a atividades de tomadas de decisão nas organizações e nos negócios. E é nessa área que nos enveredamos, procurando dar mais uma contribuição ao mundo científico, ao desenvolver um novo método de decisão fundamentado em uma lógica alternativa à clássica, de recente descoberta, a lógica paraconsistente anotada evidencial. A ele demos o nome de **Método Paraconsistente de Decisão, MPD**.” (DE CARVALHO; ABE, 2011, p. 9).

Um ponto de destaque do MPD é a figura do *Engenheiro do Conhecimento (EC)*, que é responsável por organizar todo processo de análise para a tomada de decisão final (e.g. a manipulação dos dados de forma a “traduzir” para a linguagem da LPA Et aplicada ao MPD e a análise de viabilidade do empreendimento para tomada de decisão). Com a finalidade de amalgamar o conhecimento teórico adquirido em cada etapa (com exceção das Etapas 1 e 2), foram apresentados dois exemplos, a saber, o **Exemplo 4.1 - Viabilidade de uma instituição de ensino superior abrir um novo curso X em uma determinada região Y** e o **Exemplo 4.2 - Viabilidade do lançamento de um produto X em uma determinada região Y**.

Para este capítulo foram utilizadas quatro referências essenciais como base teórica para descrever as etapas do MPD, a saber: (1) (DE CARVALHO, 2002); (2) (DE CARVALHO; BRUNSTEIN; ABE, 2003); (3) (DE CARVALHO, 2006) e (4) (DE CARVALHO; ABE, 2011).

4.2. Pré-processamento

Em processo de *Descoberta de Conhecimento em Base de Dados*³⁷ é definido *pré-processamento* como “a etapa na qual os dados disponíveis são preparados como limpeza, integração, seleção e transformação dos dados” (APPEL, 2010). Onde, os estágios do pré-processamento são: *limpeza de dados* é a “remoção de dados ruidosos, valores faltantes e inconsistentes vindos do processo de coletas de dados” (APPEL, 2010, p. 14); *integração* é a “combinação de diversas fontes de dados” (APPEL, 2010, p. 14), *transformação* é “responsável pela transformação de dados em formatos apropriados” (APPEL, 2010, p. 14) e *seleção* é a “seleção de objetos ou atributos obtendo um conjunto de dados que possuam uma representação menor” (APPEL, 2010, p. 15).

Nesse sentido, é oportuno destacar que o pré-processamento do Método Paraconsistente de Decisão não está alinhado como essa definição. Geralmente, as denominadas *Lógicas Paraconsistentes*³⁸ derrogam o princípio da não-contradição e, com isso, estágios como limpeza de dados, integração, transformação e seleção não são levados em

³⁷ O processo *Descoberta de Conhecimento em Base de Dados*, tradicionalmente conhecido entre os especialistas como KDD - *Knowledge Discovery in Database*, foi definido pela primeira vez como sendo: “o processo de identificação de padrões válidos, inéditos, potencialmente úteis e essencialmente compreensíveis embutidos nos dados” (FAYYAD *et alii*, 1996).

³⁸ É digno de nota a consideração de Ayda I. Arruda, onde declara: “uma condição necessária para que uma lógica seja paraconsistente é que nela, de uma fórmula A e de sua negação $\neg A$, não seja possível, em geral, deduzir qualquer fórmula B. Pode parecer que essa condição esteja ligada à não validade da lei da contradição na forma $\neg(A \ \& \ \neg A)$. Contudo, isso não acontece em geral. Existem lógicas paraconsistentes onde essa forma da lei da contradição é válida (por exemplo, no sistema de cálculo proposicional delineado por S. Jaskowski), e lógicas paraconsistentes onde essa forma de lei da contradição não é válida em geral (por exemplo, nos sistemas C_n , $1 \leq n \leq \omega$, construídos por N. C. A. da Costa” (ARRUDA, 1990, p. 5).

consideração no MPD. Então, o que é o pré-processamento do MPD? É todo procedimento de pesquisa (e.g. levantamento de dados e considerações) planejado pelo *Engenheiro do Conhecimento* a fim de elaborar o banco de dados necessário como base para os *cálculos das anotações* (cf. processamento). Nas seções a seguir, são descritas as etapas 1 a 5 do pré-processamento do MPD sugerida por de Carvalho e ABE (2011, pp. 60-74).

4.2.1. Etapa 1 – Fixar o nível de exigência

A primeira tarefa do *Engenheiro do Conhecimento* é fixar o *nível de exigência (NE)*. Este é o mínimo valor do módulo do *grau de certeza (GC)* a fim de que este esteja contido na *região de verdade* (i.e. tomada de decisão favorável ou viabilidade) ou na *região de falsidade* (i.e. tomada de decisão desfavorável - *inviabilidade*) (DE CARVALHO, 2003, pp. 52-53). Em suma, essas ideias determinam a regra de decisão de acordo com a Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – A relação do nível de exigência com a regra de decisão.

REGRA DE DECISÃO	DESCRIÇÃO DA DECISÃO
$GC \geq NE$	<i>Decisão favorável (viabilidade)</i>
$GC \leq -NE$	<i>Decisão desfavorável (inviabilidade)</i>
$-NE < GC < NE$	<i>Não conclusivo</i>

Fonte: Tabela adaptada (DE CARVALHO; ABE, 2011).

O *nível de exigência* está relacionado com a segurança da tomada de uma decisão, ou seja, “depende da responsabilidade que este implica, do envolvimento ou não de risco para vidas humanas etc.” (DE CARVALHO; ABE, 2011, p. 57).

Na Figura 4.2, são apresentados quatro gráficos com o *dispositivo para-analisador* com quatro níveis de exigência diferentes, a saber: (1) o reticulado τ com $NE = 0,50$; (2) o reticulado τ com $NE = 0,70$; (3) o reticulado τ com $NE = 0,80$ e (4) o reticulado τ com $NE = 0,95$.

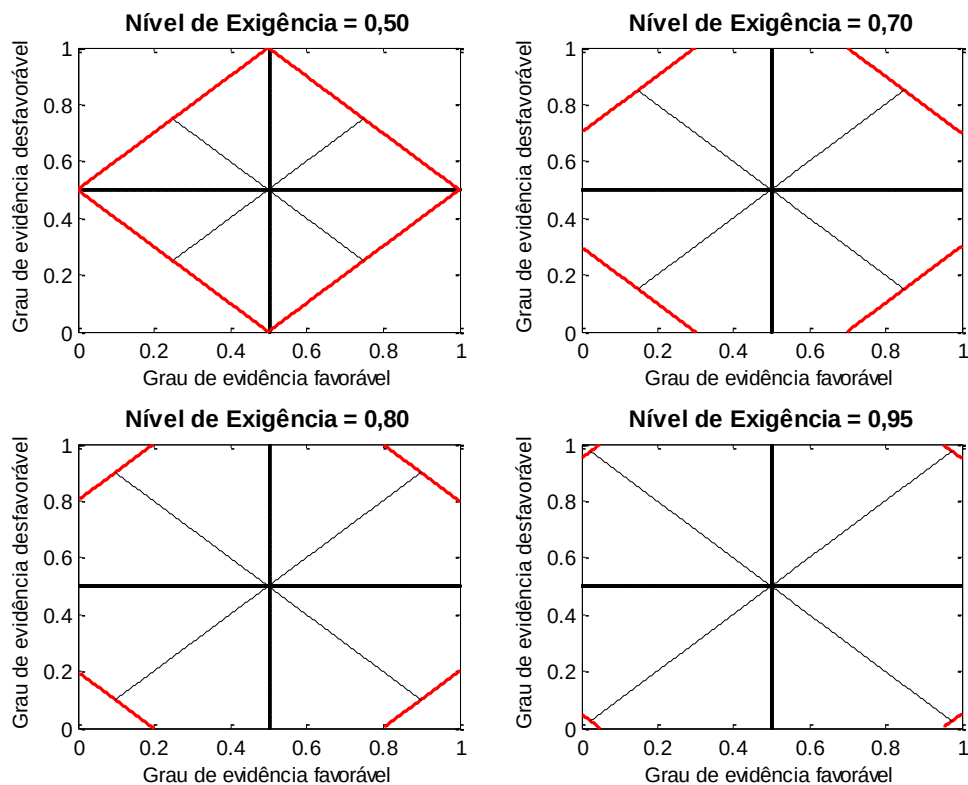


Figura 4.2 – Exemplos de reticulados τ com níveis de exigências 0,50; 0,70; 0,80 e 0,95.

Fonte: Elaboração própria.

4.2.2. Etapa 2 - Pesquisar os fatores de influências

O fracasso ou o sucesso de um empreendimento depende da influência de alguns fatores que devem ser pesquisados e verificados pelo *Engenheiro do Conhecimento*. O levantamento dos fatores, que influenciam um empreendimento, pode ser realizado por meio de entrevistas com especialistas, de consulta a projetos similares, de planejamento estratégico de instituições do mesmo ramo, de literaturas especializadas e de outros tipos de pesquisas.

Uma vez identificados os *fatores de influências* ou os *fatores associados a um empreendimento* (F_i), é oportuno verificar a pertinência (i.e. atribuir pesos - P_k) que este tem em relação ao projeto. Sobre esse assunto, se lê:

Pesquisados os fatores que influem no sucesso (ou fracasso) do empreendimento, também cabe ao EC [engenheiro do conhecimento] selecionar os n fatores F_i ($1 \leq i \leq n$) mais importantes e de maior influência, ou seja, aqueles cujas condições poderão afetar acentuadamente a viabilidade do empreendimento. Um desses fatores em condições muito favoráveis faz o resultado da análise tender bastante para a viabilidade (decisão favorável) do empreendimento. Se os fatores escolhidos podem influir de maneiras diferentes ou se têm importâncias diferentes na decisão, um mais que outros, essas diferenças poderão ser compensadas pela atribuição de pesos diferentes a cada um dos fatores escolhidos (DE CARVALHO; ABE, 2011, p. 62)

Esse método de Carvalho (2002) denominou de MFI, “o que significa que pode ser estabelecido um número diferente de faixas para cada fator” (CARVALHO, 2002) ou uma

proposta de modificação está sob a perspectiva do “estabelecimento de cenários para os fatores, que poderia ser chamado de Método de Análise dos Fatores MFC por Cenários como uma simplificação do MFI de Carvalho (2002)” (DOMINGUES, BRUNSTEIN; ABE, 1999).

Na próxima seção, são apresentados três casos a fim de exemplificar os conceitos de *fatores associados a um empreendimento* (F_i) e de *seções dos fatores de influência de um empreendimento* (S_j).

4.2.3. Etapa 3 - Estabelecer as seções dos fatores de influência

As *seções dos fatores de influência de um empreendimento* (S_j) são refinamentos atribuídos a cada *fator associado* (F_i). É oportuno frisar que dependendo do nível de especificidade do projeto, às vezes, não é necessário tal refinamento em seções, o que torna essa seção opcional para alguns empreendimentos.

Conforme descrito na seção anterior, são apresentados dois exemplos a fim de apresentar os conceitos dessas duas etapas.

Exemplo 4.1 - Viabilidade de uma instituição de ensino superior abrir um novo curso X (e.g. Curso de Graduação em Engenharia de Energia) em uma determinada região Y (e.g. Itajubá).

São listados doze fatores associados ao empreendimento (F_1 até F_{12}). Para cada fator foram estabelecidas três seções (i.e. S_1 = favorável; S_2 = indiferente; S_3 = desfavorável). Denomina-se *variável linguística* o nome que foi associado a cada seção, ou seja, nesse exemplo, foram utilizadas as seguintes *variáveis linguísticas*: "favorável", "indiferente", "desfavorável". Na Tabela 4.2, estão mencionados os doze fatores, os critérios de classificação para as três seções e as *variáveis linguísticas* associadas para cada seção (cf. DE CARVALHO; ABE, 2011, pp. 94-95).

Tabela 4.2 - Caso hipotético de uma instituição de ensino superior abrir um curso X em uma região Y com os fatores associados ao empreendimento, critérios de classificação das seções e *variáveis linguísticas* das seções.

F₁: Relação Candidato/Vaga (C/V) do curso X nos exames de seleção da região Y.		
S ₁ :	$C/V > 4$	Favorável
S ₂ :	$2 \leq C/V \leq 4$	Indiferente
S ₃ :	$C/V < 2$	Desfavorável
F₂: Números de concluintes (N_c) do ensino médio na região Y.		
S ₁ :	$N_c > 2V$	Favorável
S ₂ :	$V \leq N_c \leq 2V$	Indiferente
S ₃ :	$N_c < V$	Desfavorável
V = número de vagas oferecidas para o ensino superior na região Y.		

F₃: Números de empregos (N_e) oferecidos anualmente na região Y.		
S ₁ :	$N_e > 2F$	Favorável
S ₂ :	$F \leq N_e \leq 2F$	Indiferente
S ₃ :	$N_e < F$	Desfavorável
F = número anual de formados no ensino superior na região Y.		
F₄: Relação familiar mensal média (R_f) da população da região Y.		
S ₁ :	$R_f > \text{R\$ } 6.000,00$	Favorável
S ₂ :	$\text{R\$ } 2.000,00 \leq R_f \leq \text{R\$ } 6.000,00$	Indiferente
S ₃ :	$R_f < \text{R\$ } 2.000,00$	Desfavorável
F₅: Índice médio anual (I_a) de desistências do curso.		
S ₁ :	$I_a < 10\%$	Favorável
S ₂ :	$10\% \leq I_a \leq 40\%$	Indiferente
S ₃ :	$I_a > 40\%$	Desfavorável
F₆: Densidade Demográfica (DD) da região Y.		
S ₁ :	$DD > 400 \text{ habitantes/km}^2$	Favorável
S ₂ :	$100 \text{ habitantes/km}^2 \leq DD \leq 400 \text{ habitantes/km}^2$	Indiferente
S ₃ :	$DD < 100 \text{ habitantes/km}^2$	Desfavorável
F₇: Custo dos investimentos em ativos fixos (C_{af}).		
S ₁ :	$C_{af} < 75\% R_a$	Favorável
S ₂ :	$75\% R_a \leq C_{af} \leq 125\% R_a$	Indiferente
S ₃ :	$C_{af} > 125\% R_a$	Desfavorável
R_a = Receita anual prevista para o curso X.		
F₈: Conceito da instituição junto à comunidade.		
S ₁ :	Conceito A ou Conceito B	Favorável
S ₂ :	Conceito C	Indiferente
S ₃ :	Conceito D ou Conceito E	Desfavorável
F₉: Custo mensal com os professores (C_{mp}).		
S ₁ :	$C_{mp} < 40\% R_m$	Favorável
S ₂ :	$40\% R_m \leq C_{mp} \leq 70\% R_m$	Indiferente
S ₃ :	$C_{mp} > 70\% R_m$	Desfavorável
R_m = Receita mensal prevista com o curso X.		
F₁₀: Valor da mensalidade (M_c) do curso X.		
S ₁ :	$M_c < 80\% M_m$	Favorável
S ₂ :	$80\% M_m \leq M_c \leq 120\% M_m$	Indiferente
S ₃ :	$M_m > 120\% M_m$	Desfavorável
M_m = Mensalidade média do curso X (ou similares) nas outras escolas da região Y.		
F₁₁: Número médio de alunos por sala (N_{as}).		
S ₁ :	$N_{as} > 80$	Favorável
S ₂ :	$50 \leq N_{as} \leq 80$	Indiferente
S ₃ :	$N_{as} < 50$	Desfavorável
F₁₂: Número médio de funcionários por turma (N_{ft}).		
S ₁ :	$N_{ft} < 5$	Favorável
S ₂ :	$5 \leq N_{ft} \leq 10$	Indiferente
S ₃ :	$N_{ft} > 10$	Desfavorável

Fonte: Tabela adaptada (DE CARVALHO; ABE, 2011).

Exemplo 4.2 - Viabilidade do lançamento de um produto X (e.g. *Smart TV*) em uma determinada região Y (e.g. Rio de Janeiro).

São listados dez fatores associados ao empreendimento (F_1 até F_{10}). Para cada fator foram estabelecidas cinco seções (i.e. S_1 = muito favorável; S_2 = favorável; S_3 = indiferente; S_4 = desfavorável; S_5 = muito desfavorável). Sendo assim, nesse exemplo, as *variáveis linguísticas* são: "muito favorável", "favorável", "indiferente", "desfavorável" e "muito desfavorável". Na Tabela 4.3, estão mencionados os dez fatores, os critérios de classificação para as cinco seções e as *variáveis linguísticas* associadas para cada seção (cf. DE CARVALHO; BRUNSTEIN; ABE, 2004, pp. 282-291; DE CARVALHO, 2006, pp. 160-162).

Tabela 4.3 - Caso hipotético de um lançamento de um produto X em uma região Y com os fatores associados ao empreendimento, critérios de classificação das seções e *variáveis linguísticas* das seções.

F₁: Necessidade e utilidade do produto X na região Y.		
S_1 :	$\pi > 90\%$	Muito favorável
S_2 :	$70\% < \pi \leq 90\%$	Favorável
S_3 :	$30\% \leq \pi \leq 70\%$	Indiferente
S_4 :	$10\% \leq \pi < 30\%$	Desfavorável
S_5 :	$\pi < 10\%$	Muito Desfavorável
π = percentagem da população que utiliza o produto X na região Y		
F₂: Quantidade de atributos (η) ou funções dos produtos.		
S_1 :	$\eta > 1,5\eta_m$	Muito favorável
S_2 :	$1,2\eta_m < \eta \leq 1,5\eta_m$	Favorável
S_3 :	$0,8\eta_m \leq \eta \leq 1,2\eta_m$	Indiferente
S_4 :	$0,5\eta_m \leq \eta < 0,8\eta_m$	Desfavorável
S_5 :	$\eta < 0,5\eta_m$	Muito Desfavorável
η_m = Média dos atributos ou funções dos produtos similares do mercado.		
F₃: Concorrência (i.e. qualidade e quantidade de concorrentes na região Y).		
S_1 :	Muito pequena	Muito favorável
S_2 :	Pequena	Favorável
S_3 :	Média	Indiferente
S_4 :	Grande	Desfavorável
S_5 :	Muito grande	Muito Desfavorável
F₄: Potencialidade dos clientes (i.e. poder aquisitivo da população da região Y).		
S_1 :	Muito pequena	Muito favorável
S_2 :	Pequena	Favorável
S_3 :	Média	Indiferente
S_4 :	Grande	Desfavorável
S_5 :	Muito grande	Muito Desfavorável
F₅: Aceitação do produto ou de produto similar já existente no mercado na região Y.		
S_1 :	$\pi > 90\%$	Muito favorável
S_2 :	$70\% < \pi \leq 90\%$	Favorável
S_3 :	$30\% \leq \pi \leq 70\%$	Indiferente

S ₄ :	$10\% \leq \pi < 30\%$	<i>Desfavorável</i>
S ₅ :	$\pi < 10\%$	<i>Muito Desfavorável</i>
π = percentagem da população que utiliza o produto X na região Y.		
F₆: Preço do Produto no Mercado (PPM).		
S ₁ :	$PPM < 70\%PPM_m$	<i>Muito favorável</i>
S ₂ :	$70\%PPM_m \leq PPM < 90\%PPM_m$	<i>Favorável</i>
S ₃ :	$90\%PPM_m \leq PPM \leq 110\%PPM_m$	<i>Indiferente</i>
S ₄ :	$110\%PPM_m < PPM < 130\%PPM_m$	<i>Desfavorável</i>
S ₅ :	$PPM > 130\%PPM_m$	<i>Muito Desfavorável</i>
PPM_m = Média do preço do produto no mercado.		
F₇: Custo estimado do produto (CEP)		
S ₁ :	$CEP < 20\%PPM_m$	<i>Muito favorável</i>
S ₂ :	$20\%PPM_m \leq CEP < 40\%PPM_m$	<i>Favorável</i>
S ₃ :	$40\%PPM_m \leq CEP \leq 60\%PPM_m$	<i>Indiferente</i>
S ₄ :	$60\%PPM_m < CEP < 80\%PPM_m$	<i>Desfavorável</i>
S ₅ :	$CEP > 80\%PPM_m$	<i>Muito Desfavorável</i>
PPM_m = Média do preço do produto no mercado.		
F₈: Ciclo de Vida do Produto (CVP)		
S ₁ :	$CVP > 10T$	<i>Muito favorável</i>
S ₂ :	$8T < CVP \leq 10T$	<i>Favorável</i>
S ₃ :	$4T \leq CVP \leq 8T$	<i>Indiferente</i>
S ₄ :	$2T \leq CVP < 4T$	<i>Desfavorável</i>
S ₅ :	$CVP < 2T$	<i>Muito Desfavorável</i>
T = Unidade de tempo (e.g. ano)		
F₉: Prazo de Execução (PE) = Prazo de Desenvolvimento + Implantação do produto X		
S ₁ :	$PE < 10\%CVP$	<i>Muito favorável</i>
S ₂ :	$10\% CVP \leq PE < 30\% CVP$	<i>Favorável</i>
S ₃ :	$30\% CVP \leq PE \leq 70\% CVP$	<i>Indiferente</i>
S ₄ :	$70\% CVP < PE < 90\% CVP$	<i>Desfavorável</i>
S ₅ :	$PE > 90\% CVP$	<i>Muito Desfavorável</i>
CVP = Ciclo de Vida do Produto.		
F₁₀: Investimento (INV) = Fase de Desenvolvimento + Implantação do produto X		
S ₁ :	$INV < 20\% RES_{NET}$	<i>Muito favorável</i>
S ₂ :	$20\% RES_{NET} \leq INV < 40\% RES_{NET}$	<i>Favorável</i>
S ₃ :	$40\% RES_{NET} \leq INV \leq 60\% RES_{NET}$	<i>Indiferente</i>
S ₄ :	$60\% RES_{NET} < INV < 80\% RES_{NET}$	<i>Desfavorável</i>
S ₅ :	$INV > 80\% RES_{NET}$	<i>Muito Desfavorável</i>
RES_{NET} = Resultado líquido esperado no ciclo de vida do produto.		

Fonte: Tabela adaptada (DE CARVALHO; ABE, 2011).

4.2.4. Etapa 4 - Construir o banco de dados

Nesta etapa, cabe ao *Engenheiro do Conhecimento* a tarefa de escolher os especialistas, de recolher as informações obtidas pelos especialistas (i.e os pesos e os *graus de evidências*) e de construir o banco de dados do MPD. Os especialistas escolhidos da área ou de áreas afins pelo EC cumprem duas finalidades: (1) atribuir pesos (se necessário!) aos

fatores pesquisados pelo EC e (2) atribuir os *graus de evidências favoráveis* (μ_1) e *graus de evidências contrárias* (μ_2) para cada seção dos fatores descritas na Etapa 3.

Em relação ao número de especialistas envolvidos no processo, é oportuno registrar que: “embora o processo permita, não é aconselhável a utilização de menos de quatro especialistas, para que o resultado não fique dotado de muita subjetividade” (DE CARVALHO; ABE, 2011, p. 63).

Como seria um modelo de banco de dados do MPD para quatro especialistas? Para essa questão, a Tabela 4.4 apresenta um modelo de banco de dados com quatro especialistas. Estes quatro atores hipotéticos atribuem um *peso* (P_i) para cada *fator de influência* (F_i) e atribuem uma nota de 0 a 1 para cada *seção do fator de influência* (S_j) sob a perspectiva da *evidência favorável* (*grau de crença* - μ_1) e da *evidência desfavorável* (i.e. *grau de descrença* - μ_2). Onde, a anotação $\mu_{1(2,3,4)}$ significa o *grau de crença* (μ_1) do *fator de influência* 2 (F_2), da *seção* 3 (S_3) e do *Especialista* 4 (E_4) nessa ordem. De forma semelhante, a anotação $\mu_{2(4,2,3)}$ significa o *grau de descrença* (μ_2) do *fator de influência* 4 (F_4), da *seção* 2 (S_2) e do *Especialista* 3 (E_3) nessa ordem.

Tabela 4.4 – Banco de dados do MPD com cinco fatores de influência, pesos por fator de influência, três seções por fator de influência e com a anotação dos graus de crença (μ_1) e de descrença (μ_2) de quatro especialistas.

FATOR F_i	PESO P_i	SEÇÃO S_j	ESPECIALISTA 1		ESPECIALISTA 2		ESPECIALISTA 3		ESPECIALISTA 4	
			μ_1	μ_2	μ_1	μ_2	μ_1	μ_2	μ_1	μ_2
F_1	P_1	S_1	$\mu_{1(1,1,1)}$	$\mu_{2(1,1,1)}$	$\mu_{1(1,1,2)}$	$\mu_{2(1,1,2)}$	$\mu_{1(1,1,3)}$	$\mu_{2(1,1,3)}$	$\mu_{1(1,1,4)}$	$\mu_{2(1,1,4)}$
		S_2	$\mu_{1(1,2,1)}$	$\mu_{2(1,2,1)}$	$\mu_{1(1,2,2)}$	$\mu_{2(1,2,2)}$	$\mu_{1(1,2,3)}$	$\mu_{2(1,2,3)}$	$\mu_{1(1,2,4)}$	$\mu_{2(1,2,4)}$
		S_3	$\mu_{1(1,3,1)}$	$\mu_{2(1,3,1)}$	$\mu_{1(1,3,2)}$	$\mu_{2(1,3,2)}$	$\mu_{1(1,3,3)}$	$\mu_{2(1,3,3)}$	$\mu_{1(1,3,4)}$	$\mu_{2(1,3,4)}$
F_2	P_2	S_1	$\mu_{1(2,1,1)}$	$\mu_{2(2,1,1)}$	$\mu_{1(2,1,2)}$	$\mu_{2(2,1,2)}$	$\mu_{1(2,1,3)}$	$\mu_{2(2,1,3)}$	$\mu_{1(2,1,4)}$	$\mu_{2(2,1,4)}$
		S_2	$\mu_{1(2,2,1)}$	$\mu_{2(2,2,1)}$	$\mu_{1(2,2,2)}$	$\mu_{2(2,2,2)}$	$\mu_{1(2,2,3)}$	$\mu_{2(2,2,3)}$	$\mu_{1(2,2,4)}$	$\mu_{2(2,2,4)}$
		S_3	$\mu_{1(2,3,1)}$	$\mu_{2(2,3,1)}$	$\mu_{1(2,3,2)}$	$\mu_{2(2,3,2)}$	$\mu_{1(2,3,3)}$	$\mu_{2(2,3,3)}$	$\mu_{1(2,3,4)}$	$\mu_{2(2,3,4)}$
F_3	P_3	S_1	$\mu_{1(3,1,1)}$	$\mu_{2(3,1,1)}$	$\mu_{1(3,1,2)}$	$\mu_{2(3,1,2)}$	$\mu_{1(3,1,3)}$	$\mu_{2(3,1,3)}$	$\mu_{1(3,1,4)}$	$\mu_{2(3,1,4)}$
		S_2	$\mu_{1(3,2,1)}$	$\mu_{2(3,2,1)}$	$\mu_{1(3,2,2)}$	$\mu_{2(3,2,2)}$	$\mu_{1(3,2,3)}$	$\mu_{2(3,2,3)}$	$\mu_{1(3,2,4)}$	$\mu_{2(3,2,4)}$
		S_3	$\mu_{1(3,3,1)}$	$\mu_{2(3,3,1)}$	$\mu_{1(3,3,2)}$	$\mu_{2(3,3,2)}$	$\mu_{1(3,3,3)}$	$\mu_{2(3,3,3)}$	$\mu_{1(3,3,4)}$	$\mu_{2(3,3,4)}$
F_4	P_4	S_1	$\mu_{1(4,1,1)}$	$\mu_{2(4,1,1)}$	$\mu_{1(4,1,2)}$	$\mu_{2(4,1,2)}$	$\mu_{1(4,1,3)}$	$\mu_{2(4,1,3)}$	$\mu_{1(4,1,4)}$	$\mu_{2(4,1,4)}$
		S_2	$\mu_{1(4,2,1)}$	$\mu_{2(4,2,1)}$	$\mu_{1(4,2,2)}$	$\mu_{2(4,2,2)}$	$\mu_{1(4,2,3)}$	$\mu_{2(4,2,3)}$	$\mu_{1(4,2,4)}$	$\mu_{2(4,2,4)}$
		S_3	$\mu_{1(4,3,1)}$	$\mu_{2(4,3,1)}$	$\mu_{1(4,3,2)}$	$\mu_{2(4,3,2)}$	$\mu_{1(4,3,3)}$	$\mu_{2(4,3,3)}$	$\mu_{1(4,3,4)}$	$\mu_{2(4,3,4)}$
F_5	P_5	S_1	$\mu_{1(5,1,1)}$	$\mu_{2(5,1,1)}$	$\mu_{1(5,1,2)}$	$\mu_{2(5,1,2)}$	$\mu_{1(5,1,3)}$	$\mu_{2(5,1,3)}$	$\mu_{1(5,1,4)}$	$\mu_{2(5,1,4)}$
		S_2	$\mu_{1(5,2,1)}$	$\mu_{2(5,2,1)}$	$\mu_{1(5,2,2)}$	$\mu_{2(5,2,2)}$	$\mu_{1(5,2,3)}$	$\mu_{2(5,2,3)}$	$\mu_{1(5,2,4)}$	$\mu_{2(5,2,4)}$
		S_3	$\mu_{1(5,3,1)}$	$\mu_{2(5,3,1)}$	$\mu_{1(5,3,2)}$	$\mu_{2(5,3,2)}$	$\mu_{1(5,3,3)}$	$\mu_{2(5,3,3)}$	$\mu_{1(5,3,4)}$	$\mu_{2(5,3,4)}$

Fonte: Tabela adaptada (DE CARVALHO; ABE, 2011).

Nesse momento, retorna-se ao Exemplo 4.1, ou seja, o estudo da viabilidade de um curso X na região Y, com a finalidade de visualizar o formato do banco de dados deste exemplo. Para esse caso hipotético, o *Engenheiro do Conhecimento* colheu as opiniões de quatro especialistas, a saber: (1) E_1 : sociólogo; (2) E_2 : economista; (3) E_3 : pedagogo e (4) E_4 :

administrador de empresas (cf. DE CARVALHO, 2006, p. 151). Os *fatores de influência* escolhidos são praticamente iguais, isto significa que tem o mesmo peso (i.e. $P_i = 1$). As opiniões dos valores das evidências favorável e contrária atribuídas pelos especialistas supracitados estão listadas na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 – Banco de dados para o MPD relativo ao Exemplo 4.1.

Fator F_i	Peso P_i	Seção S_j	E_1		E_2		E_3		E_4	
			μ_1	μ_2	μ_1	μ_2	μ_1	μ_2	μ_1	μ_2
F_1	1	S_1	1,00	0,00	0,90	0,10	1,00	0,20	0,80	0,30
		S_2	0,90	0,20	0,60	0,30	0,80	0,40	0,50	0,60
		S_3	0,70	0,40	0,30	0,80	0,60	0,50	0,20	0,90
F_2	1	S_1	0,90	0,20	0,80	0,20	1,00	0,30	0,80	0,10
		S_2	0,80	0,30	0,60	0,40	0,80	0,40	0,60	0,40
		S_3	0,30	0,70	0,10	0,90	0,50	0,70	0,00	0,90
F_3	1	S_1	0,90	0,10	0,80	0,20	1,00	0,10	0,70	0,30
		S_2	0,60	0,40	0,60	0,50	0,70	0,30	0,50	0,50
		S_3	0,30	0,60	0,50	0,80	0,40	0,70	0,10	0,90
F_4	1	S_1	0,90	0,20	1,00	0,10	0,80	0,30	0,70	0,40
		S_2	0,60	0,30	0,70	0,40	0,70	0,60	0,50	0,60
		S_3	0,20	0,80	0,30	0,70	0,10	0,80	0,00	0,90
F_5	1	S_1	0,90	0,10	0,80	0,20	1,00	0,10	0,70	0,30
		S_2	0,70	0,20	0,60	0,50	0,70	0,30	0,50	0,50
		S_3	0,10	0,80	0,50	0,80	0,40	0,70	0,10	0,90
F_6	1	S_1	0,80	0,10	0,80	0,20	1,00	0,30	0,80	0,10
		S_2	0,60	0,30	0,60	0,40	0,80	0,40	0,60	0,40
		S_3	0,30	0,70	0,10	0,90	0,50	0,70	0,00	0,90
F_7	1	S_1	1,00	0,00	1,00	0,10	0,80	0,30	0,70	0,40
		S_2	0,80	0,30	0,70	0,40	0,70	0,60	0,50	0,60
		S_3	0,50	0,80	0,30	0,70	0,10	0,80	0,00	0,90
F_8	1	S_1	1,00	0,00	0,90	0,10	1,00	0,20	0,80	0,30
		S_2	0,80	0,30	0,60	0,30	0,80	0,40	0,50	0,60
		S_3	0,50	0,80	0,30	0,80	0,60	0,50	0,20	0,90
F_9	1	S_1	1,00	0,00	0,90	0,20	1,00	0,10	0,80	0,30
		S_2	0,80	0,30	0,70	0,40	0,80	0,20	0,50	0,60
		S_3	0,30	0,90	0,20	0,90	0,50	0,60	0,00	0,90
F_{10}	1	S_1	0,90	0,00	0,80	0,20	1,00	0,30	0,80	0,10
		S_2	0,50	0,50	0,60	0,40	0,80	0,40	0,60	0,40
		S_3	0,30	0,80	0,10	0,90	0,50	0,70	0,00	0,90
F_{11}	1	S_1	1,00	0,00	1,00	0,10	1,00	0,00	0,80	0,20
		S_2	0,80	0,30	0,70	0,40	0,90	0,20	0,50	0,40
		S_3	0,20	0,90	0,30	0,90	0,50	0,50	0,00	1,00
F_{12}	1	S_1	1,00	0,10	0,80	0,20	1,00	0,30	0,80	0,10
		S_2	0,70	0,20	0,60	0,40	0,80	0,40	0,60	0,40
		S_3	0,40	0,60	0,10	0,90	0,50	0,70	0,00	0,90

Fonte: Tabela adaptada (DE CARVALHO; ABE, 2011).

Para o Exemplo 4.2 – análise de viabilidade do lançamento de um produto X em uma região Y, o *Engenheiro do Conhecimento* selecionou quatro especialistas, a saber: (1) E_1 : profissional de marketing, (2) E_2 : economista, (3) E_3 : engenheiro de produção e (4) E_4 : administrador de empresas (DE CARVALHO, 2006, p. 162). Os fatores de influência escolhidos são praticamente iguais, ou seja, todos têm o mesmo peso (i.e. $P_i = 1$). As opiniões dos especialistas relacionados aos valores das evidências favorável e contrária estão listadas na Tabela 4.6.

Tabela 4.6 – Banco de dados para o MPD relativo ao Exemplo 4.2.

Fator F_i	Peso P_i	Seção S_j	E_1		E_2		E_3		E_4	
			μ_1	μ_2	μ_1	μ_2	μ_1	μ_2	μ_1	μ_2
F_1	1	S_1	0,88	0,04	0,94	0,14	0,84	0,08	0,78	0,03
		S_2	0,63	0,19	0,79	0,23	0,73	0,14	0,59	0,24
		S_3	0,48	0,43	0,53	0,44	0,58	0,39	0,48	0,41
		S_4	0,23	0,77	0,41	0,61	0,33	0,73	0,29	0,53
		S_5	0,01	0,94	0,13	0,88	0,14	1,00	0,17	0,91
F_2	1	S_1	1,00	0,05	0,95	0,15	1,00	0,10	0,85	0,00
		S_2	0,75	0,25	0,85	0,25	0,85	0,30	0,73	0,35
		S_3	0,55	0,45	0,55	0,45	0,65	0,40	0,45	0,55
		S_4	0,35	0,65	0,31	0,79	0,29	0,70	0,24	0,83
		S_5	0,00	0,95	0,15	0,75	0,15	0,85	0,25	1,00
F_3	1	S_1	0,92	0,08	0,98	0,18	0,88	0,12	0,82	0,07
		S_2	0,67	0,23	0,83	0,27	0,77	0,18	0,63	0,28
		S_3	0,52	0,47	0,57	0,48	0,62	0,43	0,52	0,45
		S_4	0,17	0,73	0,24	0,65	0,37	0,67	0,33	0,64
		S_5	0,05	0,98	0,17	0,83	0,18	0,02	0,21	0,95
F_4	1	S_1	0,95	0,11	1,00	0,21	0,91	0,15	0,85	0,10
		S_2	0,70	0,26	0,86	0,30	0,80	0,21	0,66	0,31
		S_3	0,55	0,50	0,60	0,51	0,65	0,46	0,55	0,48
		S_4	0,30	0,76	0,48	0,68	0,22	0,70	0,28	0,60
		S_5	0,08	1,00	0,20	0,86	0,21	0,05	0,24	0,98
F_5	1	S_1	1,00	0,88	0,06	0,10	0,95	0,85	0,04	0,00
		S_2	0,70	0,20	0,80	0,30	0,80	0,20	0,70	0,30
		S_3	0,50	0,50	0,60	0,50	0,60	0,40	0,50	0,40
		S_4	0,30	0,70	0,33	0,69	0,30	0,70	0,26	0,73
		S_5	0,00	1,00	0,10	0,80	0,90	0,08	1,00	0,15
F_6	1	S_1	0,90	0,10	1,00	0,10	0,90	0,00	1,00	0,00
		S_2	0,80	0,30	0,80	0,20	0,70	0,30	0,70	0,20
		S_3	0,60	0,50	0,60	0,40	0,50	0,40	0,50	0,50
		S_4	0,40	0,60	0,40	0,70	0,30	0,60	0,30	0,70
		S_5	0,10	0,80	0,20	0,90	0,13	1,00	0,00	1,00
F_7	1	S_1	0,95	0,15	1,00	0,10	0,85	0,00	1,00	0,05
		S_2	0,85	0,25	0,85	0,30	0,73	0,35	0,75	0,25
		S_3	0,55	0,45	0,65	0,40	0,45	0,55	0,55	0,45
		S_4	0,40	0,65	0,35	0,75	0,24	0,78	0,35	0,65
		S_5	0,05	0,88	0,15	0,85	0,12	1,00	0,00	0,95

F_8	1	S_1	0,98	0,18	0,88	0,12	0,82	0,07	0,92	0,08
		S_2	0,83	0,27	0,77	0,18	0,63	0,28	0,67	0,23
		S_3	0,57	0,48	0,62	0,43	0,52	0,45	0,52	0,47
		S_4	0,45	0,65	0,37	0,85	0,33	0,57	0,27	0,86
		S_5	0,08	0,83	0,18	0,95	0,21	0,95	0,05	0,98
F_9	1	S_1	1,00	0,21	0,91	0,15	0,85	0,10	0,95	0,11
		S_2	0,86	0,30	0,80	0,21	0,66	0,31	0,70	0,26
		S_3	0,60	0,51	0,65	0,46	0,55	0,48	0,55	0,50
		S_4	0,39	0,76	0,30	0,70	0,36	0,60	0,30	0,76
		S_5	0,10	0,86	0,15	0,93	0,24	0,98	0,08	1,00
F_{10}	1	S_1	0,94	0,14	0,84	0,08	0,78	0,03	0,88	0,04
		S_2	0,79	0,23	0,73	0,14	0,59	0,24	0,63	0,19
		S_3	0,53	0,44	0,58	0,39	0,48	0,41	0,48	0,43
		S_4	0,41	0,69	0,33	0,63	0,29	0,53	0,23	0,69
		S_5	0,13	0,79	0,14	0,90	0,17	0,91	0,01	0,94

Fonte: Tabela adaptada (DE CARVALHO; ABE, 2011).

4.2.5. Etapa 5 - Fazer pesquisa de campo

A pesquisa de campo também é uma atribuição do *Engenheiro do Conhecimento*. Este deve-se “fazer a pesquisa de campo e verificar qual é a condição real de cada um dos fatores de influência, ou seja, é pesquisar em que seção S_j cada fator F_i se encontra” (DE CARVALHO; ABE, 2011, p. 65). Em suma, uma seção do banco de dados foi selecionada por meio da pesquisa de campo. Para ilustrar, retornam-se aos Exemplos 4.1 e 4.2.

Tabela 4.7 – Banco de dados sintetizado para o MPD relativo ao Exemplo 4.1 depois da pesquisa de campo.

Fator F_i	Peso P_i	Seção S_j	E_1		E_2		E_3		E_4	
			μ_1	μ_2	μ_1	μ_2	μ_1	μ_2	μ_1	μ_2
F_1	1	S_1	1,00	0,00	0,90	0,10	1,00	0,20	0,80	0,30
F_2	1	S_1	0,90	0,20	0,80	0,20	1,00	0,30	0,80	0,10
F_3	1	S_3	0,30	0,60	0,50	0,80	0,40	0,70	0,10	0,90
F_4	1	S_3	0,20	0,80	0,30	0,70	0,10	0,80	0,00	0,90
F_5	1	S_3	0,10	0,80	0,50	0,80	0,40	0,70	0,10	0,90
F_6	1	S_1	0,80	0,10	0,80	0,20	1,00	0,30	0,80	0,10
F_7	1	S_3	0,50	0,80	0,30	0,70	0,10	0,80	0,00	0,90
F_8	1	S_1	1,00	0,00	0,90	0,10	1,00	0,20	0,80	0,30
F_9	1	S_2	0,80	0,30	0,70	0,40	0,80	0,20	0,50	0,60
F_{10}	1	S_1	0,90	0,00	0,80	0,20	1,00	0,30	0,80	0,10
F_{11}	1	S_3	0,20	0,90	0,30	0,90	0,50	0,50	0,00	1,00
F_{12}	1	S_2	0,70	0,20	0,60	0,40	0,80	0,40	0,60	0,40

Fonte: Tabela adaptada (DE CARVALHO; ABE, 2011).

Tabela 4.8 – Banco de dados sintetizado para o MPD relativo ao Exemplo 4.2 depois da pesquisa de campo.

Fator	Peso	Seção	E_1		E_2		E_3		E_4	
F_i	P_i	S_j	μ_1	μ_2	μ_1	μ_2	μ_1	μ_2	μ_1	μ_2
F_1	1	S_5	0,01	0,94	0,13	0,88	0,14	1,00	0,17	0,91
F_2	1	S_1	1,00	0,05	0,95	0,15	1,00	0,10	0,85	0,00
F_3	1	S_1	0,92	0,08	0,98	0,18	0,88	0,12	0,82	0,07
F_4	1	S_2	0,70	0,26	0,86	0,30	0,80	0,21	0,66	0,31
F_5	1	S_1	1,00	0,88	0,06	0,10	0,95	0,85	0,04	0,00
F_6	1	S_5	0,10	0,80	0,20	0,90	0,13	1,00	0,00	1,00
F_7	1	S_4	0,40	0,65	0,35	0,75	0,24	0,78	0,35	0,65
F_8	1	S_4	0,45	0,65	0,37	0,85	0,33	0,57	0,27	0,86
F_9	1	S_1	1,00	0,21	0,91	0,15	0,85	0,10	0,95	0,11
F_{10}	1	S_2	0,79	0,23	0,73	0,14	0,59	0,24	0,63	0,19

Fonte: Tabela adaptada (DE CARVALHO; ABE, 2011).

4.3. Processamento do MPD

Entende-se por processamento do MPD todos os cálculos efetuados, que convergirão a uma solução no algoritmo para-analisador. Este procedimento se divide em duas etapas, a saber: (1) calcular as anotações resultantes e (2) calcular o baricentro das anotações resultantes.

4.3.1. Etapa 6 - Calcular as anotações resultantes

Nessa etapa, o *Engenheiro do Conhecimento* deve realizar três tarefas, a saber: (1) dividir os especialistas em grupos por áreas do conhecimento (se necessário!), (2) esquematizar a aplicação com o uso do conectivo *conjunção* (AND) e do conectivo *disjunção* (OR) e (3) efetuar o *cálculo das anotações resultantes* (μ_{R1} , μ_{R2}) do esquema elaborado pelo *EC*.

Nos dois exemplos dados neste capítulo, a regra de maximização é dada pelo *operador da disjunção* (OR) e a regra de minimização é dada pelo *operador da conjunção* (AND). Observam-se as *evidências favoráveis* e *desfavoráveis* dos especialistas 1 e 2 na última linha da Tabela 4.7, onde se lê:

$$\mu_{1[E1]} = 0,79 \leftrightarrow \text{evidência favorável do especialista 1 (E}_1\text{)};$$

$$\mu_{2[E1]} = 0,23 \leftrightarrow \text{evidência desfavorável do especialista 1 (E}_1\text{)};$$

$$\mu_{1[E2]} = 0,73 \leftrightarrow \text{evidência favorável do especialista 2 (E}_2\text{)};$$

$$\mu_{2[E2]} = 0,14 \leftrightarrow \text{evidência desfavorável do especialista 2 (E}_2\text{)};$$

A operação de *disjunção* entre E_1 e E_2 é dada pela equação 4.1.

$$E_{12} = E_1 \text{ OR } E_2 = (\text{máx} \{ \mu_{1[E1]}, \mu_{1[E2]} \}; \text{máx} \{ \mu_{2[E1]}, \mu_{2[E2]} \}) \quad (\text{Eq. 4.1})$$

Ou seja,

$$E_{12} = E_1 \text{ OR } E_2 = (\text{máx}\{0,70, 0,60\}; \text{máx}\{0,20, 0,40\})$$

A anotação resultante (E_{12}), para esse caso hipotético, onde se aplicou o *operador da disjunção* entre E_1 e E_2 é:

$$E_{12} = (0,70; 0,40)$$

Quando se emprega o mesmo exemplo para o *operador da conjunção* entre E_1 e E_2 obtém-se a equação 4.2.

$$E_{12} = E_1 \text{ AND } E_2 = (\text{mín}\{ \mu_{1[E1]}, \mu_{1[E2]} \}; \text{mín}\{ \mu_{2[E1]}, \mu_{2[E2]} \}) \quad (\text{Eq. 4.2})$$

Ou seja,

$$E_{12} = E_1 \text{ AND } E_2 = (\text{mín}\{0,70, 0,60\}; \text{mín}\{0,20, 0,40\})$$

A anotação resultante (E_{12}), para esse exemplo hipotético, onde se aplicou o *operador de conjunção* entre E_1 e E_2 é:

$$E_{12} = E_1 \text{ AND } E_2 = (0,60; 0,20)$$

Em caso de dúvidas nos procedimentos dos operadores de *disjunção* e de *conjunção* da LPA Et, o capítulo anterior dessa dissertação pode ser consultado ou literaturas especializadas nesse assunto (cf. ABE, 1992; DA COSTA; ABE; MUROLO, 1999; DA SILVA FILHO, 1999; DE CARVALHO, 2006).

Revisitando o Exemplo 4.1, a primeira tarefa do EC nessa seção foi escolher os quatro especialistas e classificar em dois grupos, ou seja: o *GRUPO 1* é formado por um

sociólogo (E_1) e um economista (E_2); o *GRUPO 2* é formado por um pedagogo (E_3) e um administrador de empresas (E_4). Na segunda tarefa, o *EC* estabeleceu as regras de maximização e de minimização como visualizado na equação 4.3. Onde, E_R é o *cálculo da anotação resultante* e esse procedimento aplicar-se-á em cada seção de fator do banco de dados do Exemplo 4.1, ou seja, em cada linha da Tabela 4.7.

$$E_R = (E_1 \text{ OR } E_2) \text{ AND } (E_3 \text{ OR } E_4) \quad (\text{Eq. 4.3})$$

Manipulando a equação 4.3, obtém-se a equação 4.4, que é o *cálculo da anotação resultante* (E_R) do Exemplo 4.1.

$$E_R = (\text{mín}\{\text{máx}\{\mu_{1[E1]}, \mu_{1[E2]}\}, \text{máx}\{\mu_{2[E1]}, \mu_{2[E2]}\}\}; \text{mín}\{\text{máx}\{\mu_{1[E3]}, \mu_{1[E4]}\}, \text{máx}\{\mu_{2[E3]}, \mu_{2[E4]}\}\})$$

$$E_R = (\text{mín}\{\mu_{1[E1, E2]}; \mu_{2[E1, E2]}\}; \text{mín}\{\mu_{1[E3, E4]}; \mu_{2[E3, E4]}\})$$

$$E_R = (\mu_{1R}; \mu_{2R}) \quad (\text{Eq. 4.4})$$

O esquema elaborado pelo *Engenheiro do Conhecimento* com as regras de maximização e de minimização para o Exemplo 4.1 pode ser visualizado na Figura 4.3.

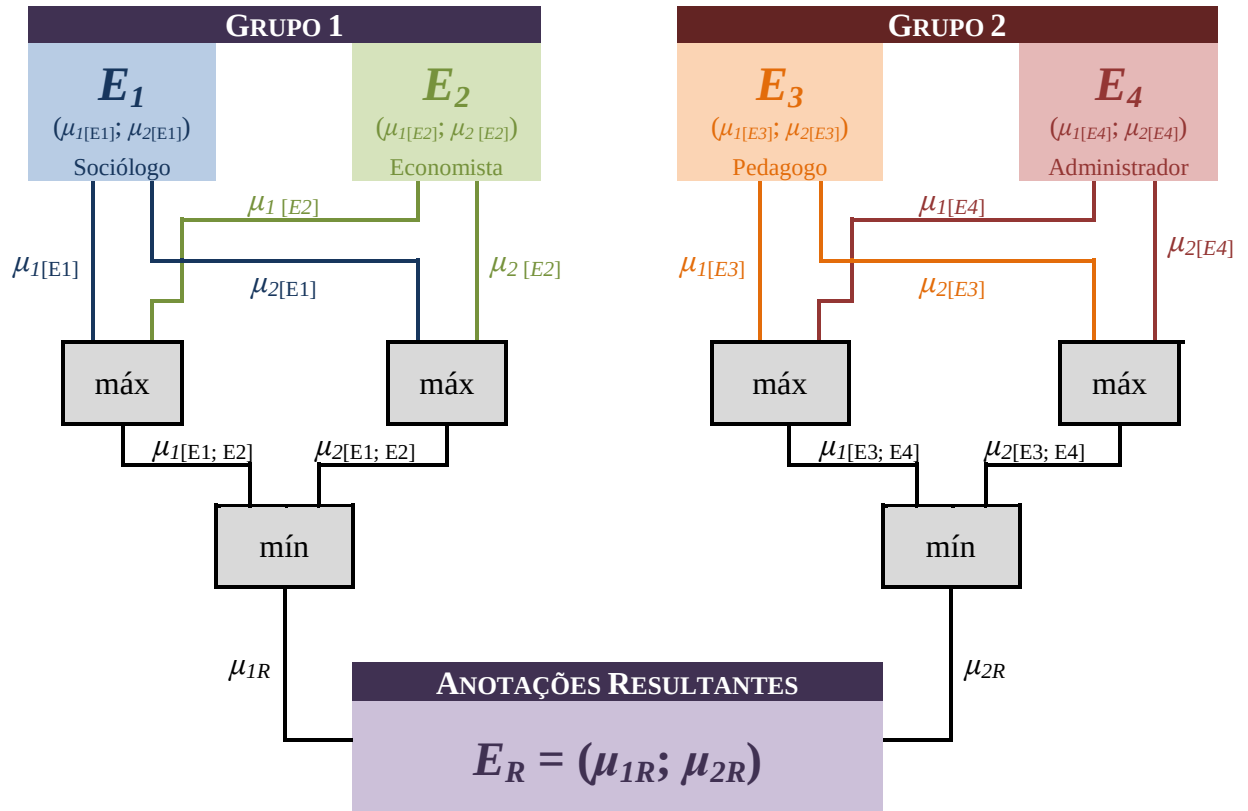


Figura 4.3 – Esquema das regras de maximização (OR) e de minimização (AND) do Exemplo 4.1
Fonte: Elaboração própria.

A configuração do esquema é uma interpretação do *EC*. Não é aleatório e essa interpretação por grupos tem justificativa. Na Tabela 4.9, são mostradas as *anotações resultantes* ($E_R = (\mu_{1R}; \mu_{2R})$) para o Exemplo 4.1, onde se calcula as anotações conforme a equação 4.3 para cada *seção de fator* outrora apresentada no banco de dados resumido da Tabela 4.7.

Tabela 4.9 – Anotações resultantes do Exemplo 4.1.

Fator F_i	Peso P_i	Seção S_j	E_1		E_2		E_3		E_4		$E_1 \text{ OR } E_2$		$E_3 \text{ OR } E_4$		E_R	
			μ_1	μ_2	μ_1	μ_2	μ_1	μ_2	μ_1	μ_2	μ_1	μ_2	μ_1	μ_2	μ_{1R}	μ_{2R}
F_1	1	S_1	1,00	0,00	0,90	0,10	1,00	0,20	0,80	0,30	1,00	0,10	1,00	0,30	1,00	0,10
F_2	1	S_1	0,90	0,20	0,80	0,20	1,00	0,30	0,80	0,10	0,90	0,20	1,00	0,30	0,90	0,20
F_3	1	S_3	0,30	0,60	0,50	0,80	0,40	0,70	0,10	0,90	0,50	0,80	0,40	0,90	0,40	0,80
F_4	1	S_3	0,20	0,80	0,30	0,70	0,10	0,80	0,00	0,90	0,30	0,80	0,10	0,90	0,10	0,80
F_5	1	S_3	0,10	0,80	0,50	0,80	0,40	0,70	0,10	0,90	0,70	0,50	0,70	0,50	0,70	0,50
F_6	1	S_1	0,80	0,10	0,80	0,20	1,00	0,30	0,80	0,10	0,80	0,20	1,00	0,30	0,80	0,20
F_7	1	S_3	0,50	0,80	0,30	0,70	0,10	0,80	0,00	0,90	0,50	0,80	0,10	0,90	0,10	0,80
F_8	1	S_1	1,00	0,00	0,90	0,10	1,00	0,20	0,80	0,30	1,00	0,10	1,00	0,30	1,00	0,10
F_9	1	S_2	0,80	0,30	0,70	0,40	0,80	0,20	0,50	0,60	0,80	0,40	0,80	0,60	0,80	0,40
F_{10}	1	S_1	0,90	0,00	0,80	0,20	1,00	0,30	0,80	0,10	0,90	0,20	1,00	0,30	0,90	0,20
F_{11}	1	S_3	0,20	0,90	0,30	0,90	0,50	0,50	0,00	1,00	0,30	0,90	0,50	1,00	0,30	0,90
F_{12}	1	S_2	0,70	0,20	0,60	0,40	0,80	0,40	0,60	0,40	0,70	0,40	0,80	0,40	0,70	0,40

Fonte: Tabela adaptada (DE CARVALHO; ABE, 2011).

Na Tabela 4.10, estão listados os *fatores de influência* (F_i) e as *anotações resultantes* para cada seção de fator para o Exemplo 4.1.

Tabela 4.10 – Fatores de influência por anotações resultantes do Exemplo 4.1.

Fator de Influência F_i	Anotação Resultante E_R	
	μ_{1R}	μ_{2R}
F_1 = Relação Candidato/Vaga do curso X	1,00	0,10
F_2 = Números de concluintes do ensino médio na região Y	0,90	0,20
F_3 = Número de Empregos oferecidos na região Y	0,40	0,80
F_4 = Renda familiar mensal média	0,10	0,80
F_5 = Índice Anual médio de desistência do curso X	0,70	0,50
F_6 = Densidade Demográfica da região Y	0,80	0,20
F_7 = Custo dos Investimentos em Ativos Fixos	0,10	0,80
F_8 = Conceito da instituição junto à comunidade	1,00	0,10
F_9 = Custo mensal com os professores	0,80	0,40
F_{10} = Valor da mensalidade do curso X	0,90	0,20
F_{11} = Número médio de alunos por sala	0,30	0,90
F_{12} = Número médio de funcionários por turma	0,70	0,40

Fonte: Tabela adaptada (DE CARVALHO; ABE, 2011).

Revisitando o Exemplo 4.2, o *Engenheiro do Conhecimento* adotou de forma análoga a Equação 4.3, todavia, os quatro especialistas convocados em dois grupos foram: GRUPO1 formado por um profissional de *marketing* (E_1) e um economista (E_2); GRUPO 2 é formado por um engenheiro de produção (E_3) e um administrador de empresas (E_4). Segundo o EC, o profissional de *marketing* (i.e. especialista 1) e o economista (i.e. especialista 2) têm a perspectivas semelhantes para esse problema, por isso, houve um agrupamento por meio do *operador disjunção*. De forma análoga, o EC interpretou que o engenheiro de produção (i.e. especialista 3) e o administrador de empresa (i.e. especialista 4) têm visões semelhantes, por isso, houve um agrupamento por meio do *operador disjunção*.

O esquema planejado pelo *Engenheiro do Conhecimento* com as regras de maximização e de minimização para o Exemplo 4.2 pode ser visualizado na Figura 4.3.

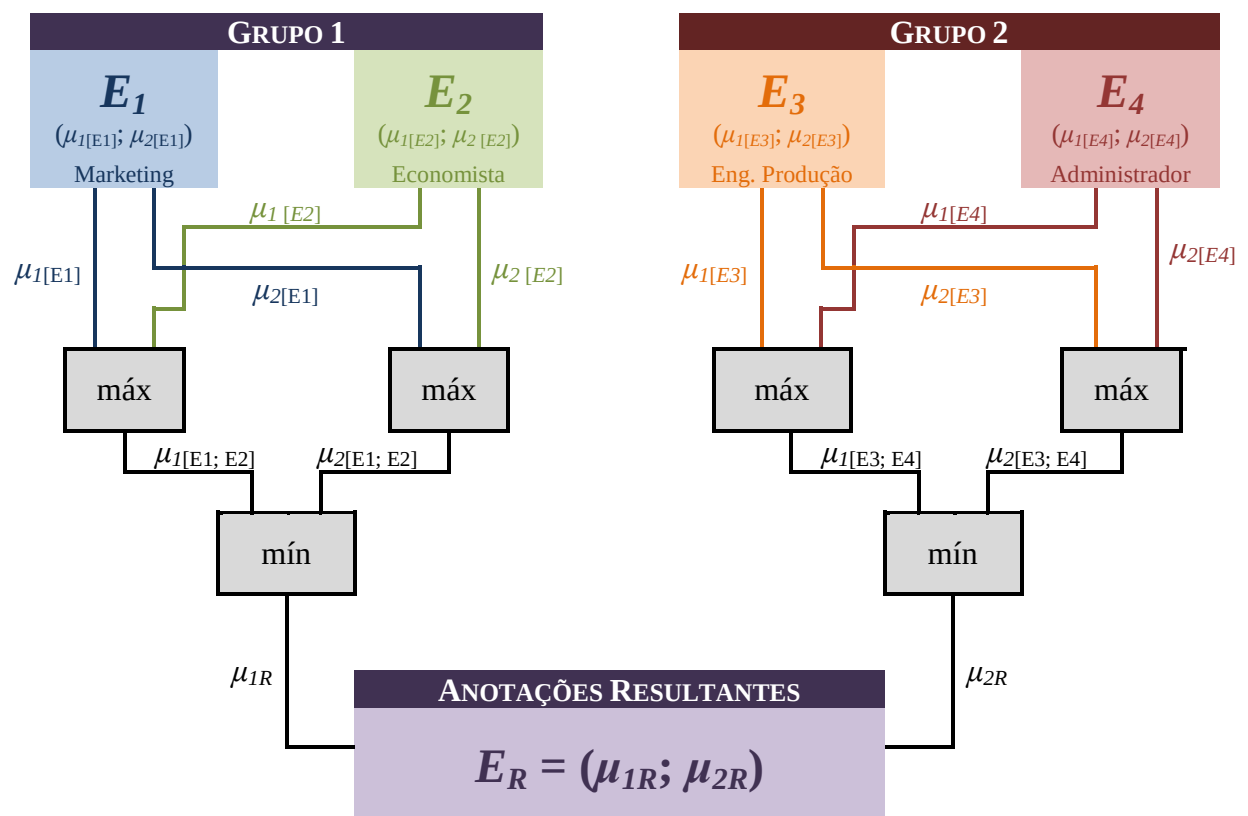


Figura 4.3 – Esquema das regras de maximização (OR) e de minimização (AND) do Exemplo 4.2
 Fonte: Elaboração própria.

Na Tabela 4.11, são mostradas as *anotações resultantes* ($E_R = (\mu_{1R}; \mu_{2R})$) para o Exemplo 4.2, onde se calcula as anotações conforme a equação 4.3 para cada *seção de fator* outrora apresentada no banco de dados sintetizado da Tabela 4.8.

Tabela 4.11 – Anotações resultantes do Exemplo 4.2.

Fator	Peso	Seção	E_1		E_2		E_3		E_4		$E_1 \text{ OR } E_2$		$E_3 \text{ OR } E_4$		E_R	
F_i	P_i	S_j	μ_1	μ_2	μ_1	μ_2	μ_1	μ_2	μ_1	μ_2	μ_1	μ_2	μ_1	μ_2	μ_{1R}	μ_{2R}
F_1	1	S_5	0,01	0,94	0,13	0,88	0,14	1,00	0,17	0,91	0,13	0,94	0,17	1,00	0,13	0,94
F_2	1	S_1	1,00	0,05	0,95	0,15	1,00	0,10	0,85	0,00	1,00	0,15	1,00	0,10	1,00	0,10
F_3	1	S_1	0,92	0,08	0,98	0,18	0,88	0,12	0,82	0,07	0,98	0,18	0,88	0,12	0,88	0,12
F_4	1	S_2	0,70	0,26	0,86	0,30	0,80	0,21	0,66	0,31	0,86	0,30	0,80	0,31	0,80	0,30
F_5	1	S_1	1,00	0,88	0,06	0,10	0,95	0,85	0,04	0,00	1,00	0,88	0,95	0,85	0,95	0,85
F_6	1	S_5	0,10	0,80	0,20	0,90	0,13	1,00	0,00	1,00	0,20	0,90	0,13	1,00	0,13	0,90
F_7	1	S_4	0,40	0,65	0,35	0,75	0,24	0,78	0,35	0,65	0,40	0,75	0,35	0,78	0,35	0,75
F_8	1	S_4	0,45	0,65	0,37	0,85	0,33	0,57	0,27	0,86	0,45	0,85	0,33	0,86	0,33	0,85
F_9	1	S_1	1,00	0,21	0,91	0,15	0,85	0,10	0,95	0,11	1,00	0,21	0,95	0,11	0,95	0,11
F_{10}	1	S_2	0,79	0,23	0,73	0,14	0,59	0,24	0,63	0,19	0,79	0,23	0,63	0,24	0,63	0,23

Fonte: Tabela adaptada (DE CARVALHO; ABE, 2011).

Na Tabela 4.12, estão listados os *fatores de influência* (F_i) e as *anotações resultantes* para cada seção de fator para o Exemplo 4.2.

Tabela 4.12 – Fatores de influência por anotações resultantes do Exemplo 4.2.

Fator de Influência F_i	Anotação Resultante E_R	
	μ_{1R}	μ_{2R}
F_1 = Necessidade e utilidade do produto	0,13	0,94
F_2 = Quantidade de atributos ou funções do produto	1,00	0,10
F_3 = Concorrência	0,88	0,12
F_4 = Potencialidades do clientes	0,80	0,30
F_5 = Aceitação do produto no mercado ou similar	0,95	0,85
F_6 = Preço do produto no mercado	0,13	0,90
F_7 = Custo estimado do produto	0,35	0,75
F_8 = Ciclo de vida do produto	0,33	0,85
F_9 = Prazo para desenvolvimento e implantação do produto	0,95	0,11
F_{10} = Investimento para desenvolver e implantar o produto	0,63	0,23

Fonte: Tabela adaptada (DE CARVALHO; ABE, 2011).

4.3.2. Etapa 7 – Calcular a anotação do baricentro

Nessa etapa, a atribuição do *Engenheiro do Conhecimento* é saber a influência conjunta de todos os fatores no processo de tomada de decisão, para isso, calcula-se o baricentro das anotações resultantes.

Entende-se por baricentro, “[o centro de gravidade ou] o centro geométrico dos pontos que representam os fatores de influência no QUPC e traduz, de certa forma, a influência resultante de todos os fatores considerados na análise da viabilidade” (DE CARVALHO, 2002). As equações 4.5 e 4.6 calculam o *grau de evidência favorável do*

baricentro (μ_{1W}) e o grau de evidência contrária do baricentro (μ_{2W}) com os seus respectivos pesos (P_i).

$$\mu_{1W} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \mu_{1Ri}}{\sum_{i=1}^n P_i} \quad (\text{Eq. 4.5})$$

$$\mu_{2W} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \mu_{2Ri}}{\sum_{i=1}^n P_i} \quad (\text{Eq. 4.6})$$

As equações 4.5 e 4.6 podem ser simplificadas caso os pesos (P_i) sejam iguais no processo de tomada de decisão. Com isso, as médias ponderadas tornam-se médias aritméticas e o centro de gravidade passa a coincidir com o centro geométrico conforme formuladas pelas equações 4.7 e 4.8.

$$\mu_{1W} = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_{1Ri}}{n} \quad (\text{Eq. 4.7})$$

$$\mu_{2W} = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_{2Ri}}{n} \quad (\text{Eq. 4.8})$$

Em seguida, deve-se calcular o *Grau de Certeza do Baricentro* (G_{CW}) e o *Grau de Incerteza* (G_{IW}) utilizando as equações 4.9 e 4.10.

$$G_{CW} = \mu_{1W} - \mu_{2W} \quad (\text{Eq. 4.9})$$

$$G_{IW} = \mu_{1W} + \mu_{2W} - 1 \quad (\text{Eq. 4.10})$$

As Eq. 4.9 e Eq. 4.10 já foram apresentadas no capítulo anterior como os cálculos do *Grau de Certeza* (G_C) e do *Grau de Incerteza* (G_I) – vide a Eq. 3.12 e a Eq. 3.13 respectivamente. Estes cálculos foram aplicados a cada fator de influência conforme os resultados das Tabelas 4.13 e 4.14.

Revisitando o Exemplo 4.1, a Tabela 4.13 apresenta os resultados dos cálculos efetuados para o *Grau de Certeza* (G_C) e para o *Grau de Incerteza* (G_I), quando se dispõem dos dados de *graus de evidência favorável* (μ_{1R}) e de *evidência contrária* (μ_{2R}) para cada fator de influência (F_i).

Tabela 4.13 – Resultados dos cálculos efetuados para o *Grau de Certeza* (G_C) e o *Grau de Incerteza* (G_I) para cada fator de influência do Exemplo 4.1.

Fator F_i	Peso P_i	Seção S_j	E_R		Conclusões		Nível de Exigência (NE) = 0,60 Tomada de decisão por fator
			μ_{1R}	μ_{2R}	G_C	G_I	
F_1	1	S_1	1,00	0,10	0,90	0,10	VIÁVEL
F_2	1	S_1	0,90	0,20	0,70	0,10	VIÁVEL
F_3	1	S_3	0,40	0,80	-0,40	0,20	NÃO CONCLUSIVO
F_4	1	S_3	0,10	0,80	-0,70	-0,10	INVIÁVEL
F_5	1	S_3	0,70	0,50	0,20	0,20	NÃO CONCLUSIVO
F_6	1	S_1	0,80	0,20	0,60	0,00	VIÁVEL
F_7	1	S_3	0,10	0,80	-0,70	-0,10	INVIÁVEL
F_8	1	S_1	1,00	0,10	0,90	0,10	VIÁVEL
F_9	1	S_2	0,80	0,40	0,40	0,20	NÃO CONCLUSIVO
F_{10}	1	S_1	0,90	0,20	0,70	0,10	VIÁVEL
F_{11}	1	S_3	0,30	0,90	-0,60	0,20	INVIÁVEL
F_{12}	1	S_2	0,70	0,40	0,30	0,10	NÃO CONCLUSIVO

Fonte: Tabela adaptada (DE CARVALHO; ABE, 2011).

Utilizando os dados dos *graus de evidência favorável* (μ_{1R}) da coluna 4 da Tabela 4.13 e a equação 4.7, pode-se calcular o *grau de evidência favorável do baricentro* (μ_{1W}). De forma semelhante, calcula-se o *grau de evidência contrária do baricentro* (μ_{2W}) com os dados dos *graus de evidência contrária* (μ_{2R}) da coluna 5 da Tabela 4.13 e a equação 4.8.

$$\mu_{1W} = \frac{1,00 + 0,90 + 0,40 + 0,10 + 0,70 + 0,80 + 0,10 + 1,00 + 0,80 + 0,90 + 0,30 + 0,70}{12} = 0,64$$

$$\mu_{2W} = \frac{0,10 + 0,20 + 0,80 + 0,80 + 0,50 + 0,20 + 0,80 + 0,10 + 0,40 + 0,20 + 0,90 + 0,40}{12} = 0,45$$

Quando se aplicam os resultados de μ_{1W} e os μ_{2W} nas equações 4.9 e 4.10 respectivamente obtém-se o *Grau de Crença do Baricentro* (G_{CW}) e o *Grau de Incerteza do Baricentro* (G_{IW}).

$$G_{CW} = \mu_{1W} - \mu_{2W}$$

$$G_{CW} = 0,64 - 0,45$$

$$G_{CW} = 0,19$$

$$G_{IW} = \mu_{1W} + \mu_{2W} - 1$$

$$G_{IW} = 0,64 + 0,45 - 1$$

$$G_{IW} = 0,09$$

Esses dois parâmetros calculados anteriormente indicam que a tomada de decisão, quando se leva em consideração os doze *Fatores de Influência* (F_i) do Exemplo 4.1 é *não conclusivo*, para $NE = 0,60$ que se está adotando.

Revisitando o Exemplo 4.2, a Tabela 4.14 apresenta os resultados dos cálculos efetuados para o *Grau de Certeza* (G_C) e para o *Grau de Incerteza* (G_I), quando se dispõem dos dados de *graus de evidência favorável* (μ_{1R}) e de *evidência contrária* (μ_{2R}) para cada fator de influência (F_i).

Tabela 4.14 – Resultados dos cálculos efetuados para o *Grau de Certeza* (G_C) e o *Grau de Incerteza* (G_I) para cada fator de influência do Exemplo 4.2.

Fator	Peso	Seção	E_R		Conclusões		Nível de Exigência (NE) = 0,60
F_i	P_i	S_j	μ_{1R}	μ_{2R}	G_C	G_I	Tomada de decisão por fator
F_1	1	S_5	0,13	0,94	-0,84	0,07	INVIÁVEL
F_2	1	S_1	1,00	0,10	0,90	0,10	VIÁVEL
F_3	1	S_1	0,88	0,12	0,76	0,00	VIÁVEL
F_4	1	S_2	0,80	0,30	0,50	0,10	NÃO CONCLUSIVO
F_5	1	S_1	0,95	0,85	0,10	0,80	NÃO CONCLUSIVO
F_6	1	S_5	0,13	0,90	-0,77	0,03	INVIÁVEL
F_7	1	S_4	0,35	0,75	-0,40	0,10	NÃO CONCLUSIVO
F_8	1	S_4	0,33	0,85	-0,52	0,18	NÃO CONCLUSIVO
F_9	1	S_1	0,95	0,11	0,84	0,06	VIÁVEL
F_{10}	1	S_2	0,63	0,23	0,40	-0,14	NÃO CONCLUSIVO

Fonte: Tabela adaptada (DE CARVALHO; ABE, 2011).

Utilizando os dados dos *graus de evidência favorável* (μ_{1R}) da coluna 4 da Tabela 4.14 e a equação 4.7, pode-se calcular o *grau de evidência favorável do baricentro* (μ_{1W}). De forma semelhante, calcula-se o *grau de evidência contrária do baricentro* (μ_{2W}) com os dados dos *graus de evidência contrária* (μ_{2R}) da coluna 5 da Tabela 4.14 e a equação 4.8.

$$\mu_{1W} = \frac{0,13 + 1,00 + 0,88 + 0,80 + 0,95 + 0,13 + 0,35 + 0,33 + 0,95 + 0,63}{10} = 0,62$$

$$\mu_{2W} = \frac{0,94 + 0,10 + 0,12 + 0,30 + 0,85 + 0,90 + 0,75 + 0,85 + 0,11 + 0,23}{10} = 0,52$$

Quando se aplicam os resultados de μ_{1W} e os μ_{2W} nas equações 4.9 e 4.10 respectivamente obtém-se o *Grau de Crença do Baricentro* (G_{CW}) e o *Grau de Incerteza do Baricentro* (G_{IW}).

$$G_{CW} = \mu_{1W} - \mu_{2W}$$

$$G_{CW} = 0,62 - 0,52$$

$$G_{CW} = 0,10$$

$$G_{IW} = \mu_{1W} + \mu_{2W} - 1$$

$$G_{IW} = 0,62 + 0,52 - 1$$

$$G_{IW} = 0,13$$

Esses dois parâmetros calculados anteriormente indicam que a tomada de decisão, quando se leva em consideração os dez *Fatores de Influência* (F_i) do Exemplo 4.2 é *não conclusivo*, para o NE = 0,60 que se está adotando.

As conclusões dos Exemplos 4.1 e 4.2 são visualizadas graficamente no dispositivo para-analisador descrito a seguir no “Procedimento 3 - Pós-processamento do MDP”.

4.4. Pós-processamento do MPD

Pós-processamento pode ser definido como,

[...] uma etapa importante [...] no qual os padrões extraídos podem ser simplificados, avaliados, visualizados ou simplesmente documentados para o usuário final. Considerando-se que o conhecimento extraído possa ser empregado na resolução de problemas do mundo real, seja por meio de um Sistema Inteligente ou por um ser humano fornecendo apoio em processo de decisão, devem ser verificadas, nessa etapa, questões do tipo: se o conhecimento extraído representa o conhecimento do especialista; a maneira que o conhecimento é extraído difere do conhecimento do especialista; em que parte o conhecimento do especialista está correto (MELANDA, 2005).

Para isso, classifica-se um conjunto de procedimentos que são agrupados em categorias, como por exemplo: (1) filtragem do conhecimento (2) interpretação e explanação, (3) avaliação e (4) integração do conhecimento (cf. BRUHA; FAMILI, 2000). Nessa dissertação, o pós-processamento tem duas etapas, a saber: (1) interpretação dos resultados no dispositivo para-analisador e (2) aplicação do critério de tomada de decisão. Essas etapas são descritas a seguir.

4.4.1. Etapa 8 - Interpretar os resultados no dispositivo para-analisador

Nessa etapa, o *Engenheiro do Conhecimento* deve apresentar uma visão gráfica das anotações resultantes. Para isso, o *EC* deve “plotar” no dispositivo para-analisador os *graus de evidência favorável* (μ_{1R}) e *contrária* (μ_{2R}) para cada *fator de influência*, assim como, a anotação resultante efetuada pelo cálculo do baricentro, isto é, o *grau de evidência favorável do baricentro* (μ_{1W}) e o *grau de evidência contrária do baricentro* (μ_{2W}). Esse procedimento proporciona a visualização gráfica do *valor lógico* de cada *fator de influência* no dispositivo para-analisador dos Exemplos 4.1 e 4.2 conforme mostrados nas Figuras 4.5 e 4.6.

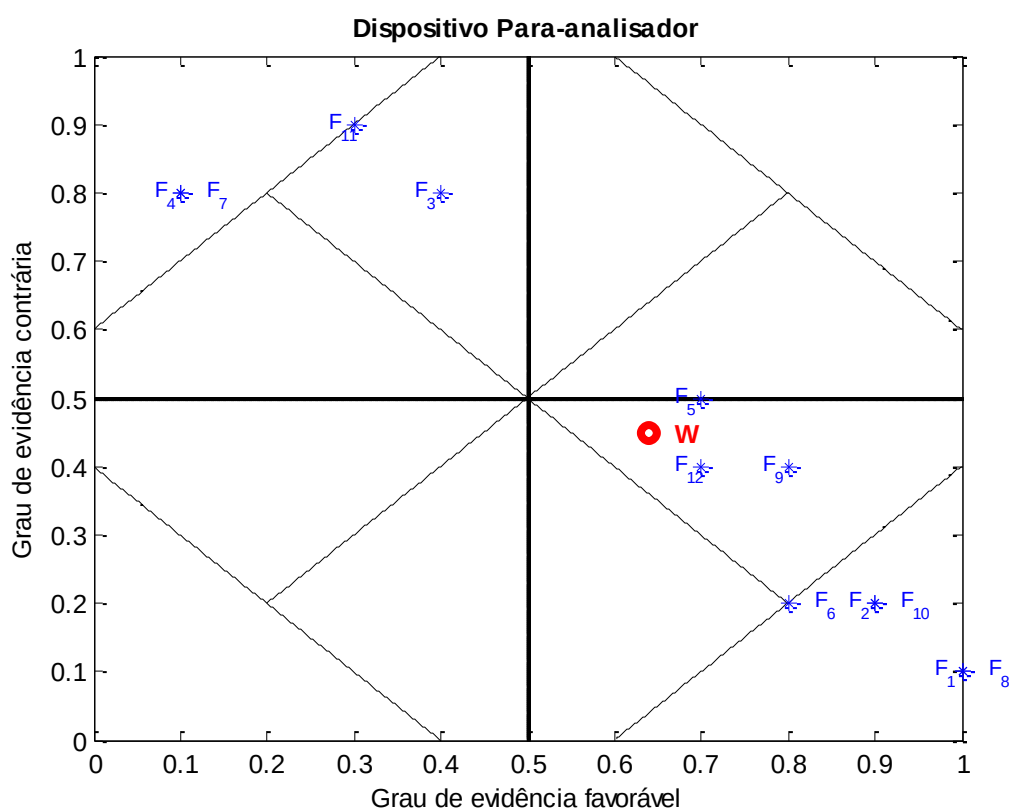


Figura 4.5 – Graus de evidência favorável e contrária dos doze fatores de influência (em azul) e a anotação do baricentro (em vermelho) no dispositivo para-analisador relativo ao Exemplo 4.1.

Fonte: Elaboração própria.

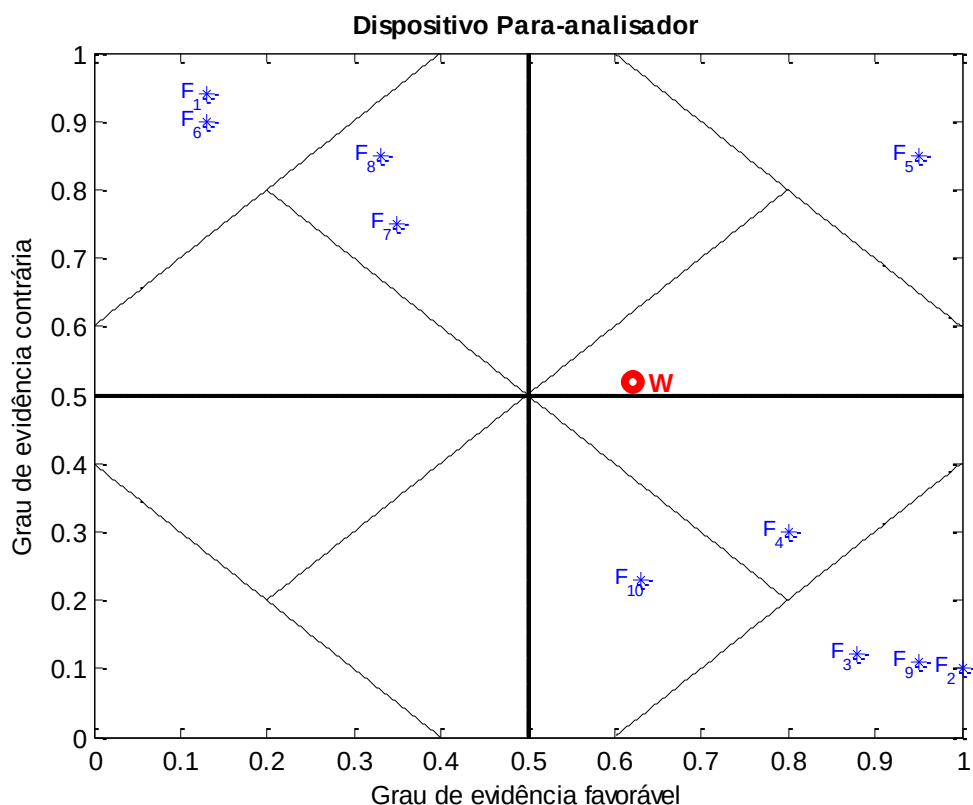


Figura 4.6 – Graus de evidência favorável e contrária dos dez fatores de influência (em azul) e a anotação do baricentro (em vermelho) no dispositivo para-analisador relativo ao Exemplo 4.2.

Fonte: Elaboração própria.

4.4.2. Etapa 9 - Aplicar o critério de tomada de decisão

Uma vez interpretado os resultados por meio do dispositivo para-analisador basta ao *Engenheiro do Conhecimento* tomar a decisão pela viabilidade, inviabilidade ou a não conclusão do estudo. É importante lembrar que a tomada de decisão depende do Nível de Exigência adotado.

O dispositivo para-analisador tem doze áreas (conjuntos) e para cada área é atribuída um valor lógico. Então, a interpretação dos resultados depende da relação de pertinência das anotações resultantes com a área. Por exemplo, na Figura 4.5, o triângulo inferior direito é o conjunto ou a área de viabilidade, isto significa que, os fatores de influência F_1 , F_2 , F_6 , F_8 e F_{10} são viáveis, no entanto, a anotação do baricentro (W) é não conclusiva, ou seja, a anotação resultante pertence à área de *Quase Verdade tendendo ao Inconsistente* (i.e. $W \in qV \rightarrow \top$ ou $VL(W) = qV \rightarrow \top$). De modo semelhante, na Figura 4.6, os fatores de influência F_2 , F_3 , F_9 são viáveis, todavia a anotação do baricentro (W) é não conclusiva, pois esta pertence à área de *Quase Inconsistente tendendo à Verdade* (i.e. $W \in q\top \rightarrow V$ ou $VL(W) = q\top \rightarrow V$).

4.5. Considerações finais

Neste capítulo, foram abordadas as etapas do MPD sugerido na tese doutoral de Fabio Romeu de Carvalho (2006). Classificou-se o MPD em três seções (i.e. Procedimento 1: *Pré-Processamento*, Procedimento 2: *Processamento* e Procedimento 3: *Pós-Processamento*) a fim de descrever os tópicos essenciais da metodologia e recursos *ad hoc*.

Foram utilizados dois estudos hipotéticos (i.e. exemplos) a fim de amalgamar o conhecimento apresentado em cada etapa do MPD. Esses exemplos foram: o **Exemplo 4.1** – *Viabilidade de uma instituição de ensino superior abrir um novo curso X em uma determinada região Y* e o **Exemplo 4.2** – *Viabilidade do lançamento de um produto X em uma determinada região Y*.

A figura do *Engenheiro do Conhecimento* (EC) foi apresentada como também mostradas quais são as suas responsabilidades em cada etapa do MPD. Com finalidade de sumarizar as ações do EC e sua importância para o sucesso do estudo de viabilidade, são listados na Tabela 4.15 os procedimentos e as etapas do MPD e suas correspondências com as responsabilidades do EC.

Tabela 4.15 – Síntese das responsabilidades do Engenheiro do Conhecimento (EC) em relação a cada etapa do Método Paraconsistente de Decisão.

PROCEDIMENTO	ETAPA	RESPONSABILIDADE DO EC
PRÉ-PROCESSAMENTO	Etapa 1 – Fixar o nível de exigência (NE)	Estudar o risco do projeto a fim de fixar o nível de exigência (NE) para o MPD
	Etapa 2 - Determinar os Fatores de Influência (F_i)	Levantar os fatores de influência para o estudo de viabilidade. Identificar quais fatores de influência são essenciais ao projeto.
	Etapa 3 – Determinar as Seções dos Fatores (S_j)	Identificar o <i>critério de demarcação</i> para estabelecer os limites de cada <i>Seção de Fator</i> (S_j) Exemplo de <i>critério de demarcação</i> : “Seção 1 (S_1): Altura > 1,60”; “Seção 2 (S_2): 1,20 < Altura < 1,59”; “Seção 3 (S_3): Altura < 1,19”. Descrever o <i>nome das variáveis linguísticas</i> associadas às Seções dos Fatores. Exemplo de nomes de variável linguística: “Seção 1 (S_1): alto”; “Seção 2 (S_2): médio”; “Seção 3 (S_3): baixo”.

	Etapa 4 – Elaborar o Banco de Dados (BD)	Selecionar os quatro ou mais especialistas de diferentes áreas do conhecimento a fim de interpretar o problema sob o campo que lhe compete.
		Elaborar questionário ou entrevista com os especialistas a fim de inferir o <i>grau de evidência favorável</i> (μ_1) e o <i>grau de evidência contrária</i> (μ_2) e os <i>pesos</i> (P_i) para cada seção dos fatores de influência.
		Construir o Banco de Dados segundo a orientação dada nas Tabelas 4.5 e 4.6.
	Etapa 5 – Elaborar a Pesquisa de Campo (opcional)	Fazer a pesquisa de campo e verificar qual é a condição real de cada um dos <i>fatores de influência</i> , ou seja, é pesquisar em que seção S_j cada fator F_i se encontra.
PROCESSAMENTO	Etapa 6 – Calcular as anotações resultantes	Dividir os especialistas em grupos por áreas do conhecimento (se necessário!).
		Esquematizar a aplicação das regras de maximização e de minimização.
	Etapa 7 – Calcular a anotação do Baricentro.	Efetuar o <i>cálculo das anotações resultantes</i> (μ_{R1} , μ_{R2}) do esquema elaborado pelo EC, para cada fator de influência (F_i).
		Efetuar o <i>cálculo da anotação do baricentro</i> (μ_{1W} , μ_{2W}) conforme as equações 4.5 e 4.6 (média ponderada) ou as equações 4.7 e 4.8 (média aritmética).
PÓS-PROCESSAMENTO	Etapa 8 – Interpretar os resultados no dispositivo para-analisador.	“Plotar” no dispositivo para-analisador os <i>graus de evidência favorável</i> (μ_{1R}) e <i>contrária</i> (μ_{2R}) para cada <i>fator de influência</i>
		“Plotar” no dispositivo para-analisador as anotações do baricentro (μ_{1W} , μ_{2W}).
	Etapa 9 – Aplicar o critério de tomada de decisão.	Identificar o <i>valor lógico</i> (VL) de cada fator de influência (F_i) e das anotações do baricentro (μ_{1W} , μ_{2W}) no dispositivo para-analisador.
		Identificar a relação de pertinência (i.e se pertence ou não pertence) de cada <i>fator de influência</i> e da anotação do baricentro (μ_{1W} , μ_{2W}) com as áreas de viabilidade, de não conclusão e de inviabilidade.

		Apresentar a tomada de decisão do projeto avaliado com base na relação de pertinência entre as <i>anotações resultantes</i> e <i>do baricentro</i> com a área de viabilidade, de não conclusão e de inviabilidade.
--	--	--

Fonte: Elaboração própria.

Apesar da exposição feita, pode-se perguntar: como compatibilizar os procedimentos de tomada de decisão por meio do MPD para os inversores para sistema fotovoltaico? Esta resposta é o objetivo específico do próximo capítulo.

5. Sobre o MPDM para inversores *off grid*

5.1. Considerações iniciais

Neste capítulo, sob o título “Sobre o MPDM para inversores *off grid*”, se concentra no estudo da viabilidade de inversores *off grid* para o portfólio do Selo Procel por meio de relatórios de ensaios da avaliação da conformidade sob a égide da Eletrobras. Para isso, utilizou-se o Método Paraconsistente de Decisão Modificado (MPDM). A base teórica está assentada nos dois objetivos dos capítulos anteriores, isto é, apresentar os recursos da Lógica Paraconsistente Anotada Evidencial $E\tau$ (LPA $E\tau$) até a elaboração do dispositivo para-analisador para tomada de decisão e mostrar dois exemplos hipotéticos usando o MPD. Todavia, o MPDM tem suas peculiaridades e estas são visualizadas nas descrições a seguir.

Os inversores para sistema fotovoltaico são normatizados compulsoriamente pelas especificações dadas pela Portaria INMETRO n° 004/2011 e pela Portaria INMETRO n° 357/2014 (INMETRO, 2011; 2014). Nesse contexto, é oportuno registrar que, no dia 4 de janeiro de 2011, foi publicada a Portaria INMETRO n° 004/2011, onde se lê a finalidade da mesma, isto é:

Estabelecer os critérios para o Programa de Avaliação da Conformidade para sistemas e equipamentos para energia fotovoltaica, através do mecanismo da Etiquetagem, para utilização da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia – ENCE, atendendo aos requisitos do Programa Brasileiro de Etiquetagem - PBE, visando à eficiência energética e adequado nível de segurança (INMETRO, 2011).

Nesta Portaria, há quatro Anexos com a seguinte redação, a saber: ANEXO I – Módulo (placa fotovoltaica), ANEXO II – Controlador de Carga, ANEXO III – Inversor e ANEXO IV – Bateria estacionária de baixa intensidade de descarga, para aplicação fotovoltaica (cf. INMETRO, 2011).

Em caráter complementar, no dia 1 de agosto de 2014, com a publicação da Portaria INMETRO 357/2014 (INMETRO, 2014), a Portaria INMETRO n° 004/2011 recebeu uma nova redação, onde o ANEXO III da Portaria 004/2011 foi dividido em duas partes, a saber: (1) ANEXO III – parte 1 – “Inversores para sistemas fotovoltaicos autônomos” e (2) ANEXO III – parte 2 – “Inversores para sistemas fotovoltaicos conectados à rede” (cf. INMETRO, 2014). Como de praxe, os especialistas do setor fotovoltaico utilizam duas nomenclaturas a fim de apresentar os dois casos específicos, a saber: inversor *off grid* para o inversor para sistema fotovoltaico autônomo e inversor *on grid* para o inversor para sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica. Neste capítulo, delimita-se à avaliação do inversor *off grid*.

Em relação ao procedimento de ensaio de inversores *off grid* e *on grid*, as localizações dos sítios da Portaria INMETRO 004/2011 e da Portaria INMETRO 357/2014 estão listadas nas referências desta dissertação a fim de obter informações mais detalhadas.

A estrutura deste capítulo é apresentada nas três seções a seguir, que são os três procedimentos do MPDM, a saber: (5.1) pré-processamento, (5.2) processamento e (5.3) pós-processamento.

5.2. Pré-processamento

Nesta seção (5.2), faz-se o estudo do pré-processamento dos inversores *off grid*. A finalidade do pré-processador é ler os dados de entrada, que são os parâmetros encontrados nas medições apresentadas nos ensaios da avaliação da conformidade, e converter somente os parâmetros associados aos critérios de ensaios da Portaria INMETRO 004/2011. O grau de evidência favorável (μ_1) e o grau de evidência contrária (μ_2) são os parâmetros convertidos outrora citados para os doze ensaios realizados no inversor *off grid* e estes compõem o banco de dados do MPDM.

Estão sob a égide da Eletrobras quinze relatórios de ensaios da avaliação da conformidade em caráter confidencial com as tensões nominais de 12V, 24V e 48V e com potência nominal de 300W, 350W, 500W, 600W, 1.100W e 1.800W. Para manter esta confidencialidade, os dados foram convertidos do sistema internacional (SI) para o sistema por unidade (i.e. por unidade – *p.u.*) na base dos parâmetros de tensão, corrente, potência e frequência nominais (cf. GRAINGER; STEVENSON, 1994, pp. 25-30).

Uma rotina computacional de pré-processamento, ou seja, o módulo de pré-processamento baseado em MATLAB foi desenvolvido pelo autor desta dissertação a fim de automatizar o processo de leitura dos dados de entrada até a elaboração do banco de dados do MPD. A Figura 5.1 mostra o diagrama de blocos do pré-processador. O número ao lado de cada bloco na Figura 5.1 está relacionado com a seção terciária correspondente neste capítulo. Por exemplo, a descrição “Fatores de Influência ($F_{\square}$) [5.2.1]” no bloco da Figura 5.1 refere-se ao assunto abordado na seção terciária [5.2.1] sob o título “Fatores de influência dos inversores *off grid*”. De forma semelhante, os dois blocos da Figura 5.1 com a referência [5.2.4] correspondem ao assunto explanado pela seção terciária intitulada: “Erros sistemáticos e erros residuais”.

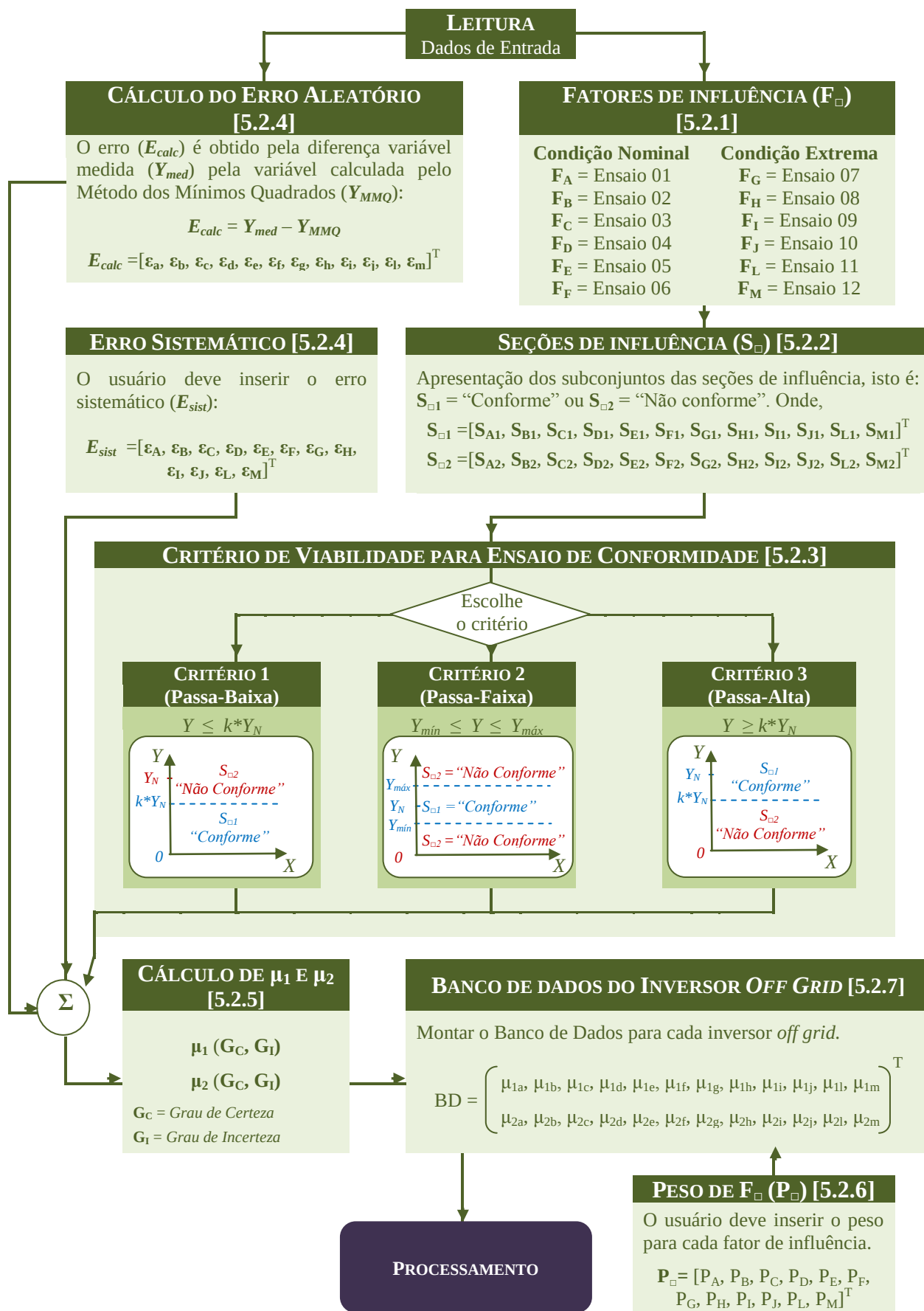


Figura 5.1 – Diagrama de blocos do pré-processador do MPDM do CONFORME para inversores off grid

Fonte: Elaboração própria

5.2.1. Fatores de influência dos inversores *off grid*

Os procedimentos para ensaios da avaliação da conformidade de inversores *off grid* estão listados no ANEXO III – parte 1 da Portaria INMETRO n° 004/2011 com redação complementada e retificada pela Portaria INMETRO n° 357/2014, conforme observados na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Tipo e nome dos ensaios em inversores *off grid*.

TIPO DE ENSAIO	NOME DO ENSAIO
Ensaio em condições nominais	Ensaio 1 – Autoconsumo
	Ensaio 2 – Eficiência Energética
	Ensaio 3 – Distorção Harmônica
	Ensaio 4 – Regulação de Tensão
	Ensaio 5 – Frequência
	Ensaio 6 – Sobrecarga
Ensaio em condições extremas	Ensaio 7 – Proteção contra inversão de polaridade
	Ensaio 8 – Proteção contra curto-circuito na saída
	Ensaio 9 – Eficiência Energética em ambiente a 40°C
	Ensaio 10 – Distorção Harmônica em ambiente a 40°C
	Ensaio 11 – Regulação da Tensão em ambiente a 40°C
	Ensaio 12 – Frequência em ambiente a 40°C
Compatibilidade Eletromagnética	[Estudos para futura inclusão no PBE]

Fonte: Tabela adaptada por meio de informações extraídas das Portarias INMETRO (2011; 2014).

Percebe-se que, na Tabela 5.1, há doze ensaios exigidos pelo INMETRO (2011; 2014) que estão agrupados em dois tipos de ensaios, a saber: (1) ensaios em condições nominais e (2) ensaios em condições extremas. As medidas registradas nos relatórios de avaliação da conformidade para cada ensaio conforme a Portaria INMETRO 004/2011 são os dados de entrada do MPDM.

Na metodologia proposta, os ensaios de avaliação da conformidade de inversores *off grid* correspondem aos fatores de influência do MPDM. Nesse contexto, há doze fatores de influência ($F_{\square}$). O índice $\square$ associado ao símbolo $F_{\square}$ refere uma generalização para os doze fatores de influência. Numa perspectiva específica $F_{\square}$ pode referenciar aos seguintes símbolos: F_A , F_B , F_C , F_D , F_E , F_F , F_G , F_H , F_I , F_J , F_L , F_M correspondente aos ensaios de 1 a 12 visualizados na Tabela 5.1. Por exemplo, se $\square = A$, então o fator de influência em análise é o F_A , ou seja, o Ensaio 1 - Autoconsumo.

Os fatores de influência são conjuntos, cujos elementos são as medidas dos ensaios e estas denominadas de proposições atômicas do tipo $p_i(\mu_{1\Box i}, \mu_{2\Box i})$, onde: p_i é a proposição da i^a medição do ensaio de $F_{\Box}$; $\mu_{1\Box i}$ é o grau de evidência favorável i^a medição do ensaio de $F_{\Box}$ e $\mu_{2\Box i}$ é o grau de evidência contrária i^a medição do ensaio de $F_{\Box}$. Onde, a proposição $p_i(\mu_{1\Box i}, \mu_{2\Box i})$ é apresentada de forma simplificada por p_i . Por exemplo, no conjunto F_A ou no fator de influência F_A , a proposição atômica $a_1(\mu_{1a1}, \mu_{2a2})$ é grafada como a_1 na Tabela 5.2.

Define-se uma relação de pertinência como o relacionamento entre elemento e conjunto. Os símbolos utilizados para essa relação são o $\in$ (pertence) e o $\notin$ (não pertence). Por exemplo, se $F_A = \{a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, a_8\}$, então $a_1 \in F_A$ (lê-se: o elemento a_1 pertence ao conjunto F_A) e $b_1 \notin F_A$ (lê-se: o elemento b_1 não pertence ao conjunto F_A). Sendo assim, na Tabela 5.2, mostra-se a relação de pertinência entre os doze conjuntos (i.e. fator de influência) e os duzentos e cinco elementos (proposições).

Tabela 5.2 – Relação de pertinência entre fator de influência e proposições nos inversores *off grid*.

CONJUNTO	PROPOSIÇÕES	NÚMERO DE PROPOSIÇÕES
F_A	$\{a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, a_8\}$	8
F_B	$\{b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6, b_7, b_8, b_9, b_{10}, b_{11}, b_{12}, b_{13}, b_{14}, b_{15}, b_{16}, b_{17}, b_{18}, b_{19}, b_{20}, b_{21}, b_{22}, b_{23}, b_{24}\}$	24
F_C	$\{c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, c_6, c_7, c_8, c_9, c_{10}, c_{11}, c_{12}, c_{13}, c_{14}, c_{15}, c_{16}, c_{17}, c_{18}, c_{19}, c_{20}, c_{21}, c_{22}, c_{23}, c_{24}\}$	24
F_D	$\{d_1, d_2, d_3, d_4, d_5, d_6, d_7, d_8, d_9, d_{10}, d_{11}, d_{12}, d_{13}, d_{14}, d_{15}, d_{16}, d_{17}, d_{18}, d_{19}, d_{20}, d_{21}, d_{22}, d_{23}, d_{24}\}$	24
F_E	$\{e_1, e_2, e_3, e_4, e_5, e_6, e_7, e_8, e_9, e_{10}, e_{11}, e_{12}, e_{13}, e_{14}, e_{15}, e_{16}, e_{17}, e_{18}, e_{19}, e_{20}, e_{21}, e_{22}, e_{23}, e_{24}\}$	24
F_F	$\{f_1, f_2, f_3\}$	3
F_G	$\{g_1\}$	1
F_H	$\{h_1\}$	1
F_I	$\{i_1, i_2, i_3, i_4, i_5, i_6, i_7, i_8, i_9, i_{10}, i_{11}, i_{12}, i_{13}, i_{14}, i_{15}, i_{16}, i_{17}, i_{18}, i_{19}, i_{20}, i_{21}, i_{22}, i_{23}, i_{24}\}$	24
F_J	$\{j_1, j_2, j_3, j_4, j_5, j_6, j_7, j_8, j_9, j_{10}, j_{11}, j_{12}, j_{13}, j_{14}, j_{15}, j_{16}, j_{17}, j_{18}, j_{19}, j_{20}, j_{21}, j_{22}, j_{23}, j_{24}\}$	24
F_L	$\{l_1, l_2, l_3, l_4, l_5, l_6, l_7, l_8, l_9, l_{10}, l_{11}, l_{12}, l_{13}, l_{14}, l_{15}, l_{16}, l_{17}, l_{18}, l_{19}, l_{20}, l_{21}, l_{22}, l_{23}, l_{24}\}$	24
F_M	$\{m_1, m_2, m_3, m_4, m_5, m_6, m_7, m_8, m_9, m_{10}, m_{11}, m_{12}, m_{13}, m_{14}, m_{15}, m_{16}, m_{17}, m_{18}, m_{19}, m_{20}, m_{21}, m_{22}, m_{23}, m_{24}\}$	24

Fonte: Elaboração própria.

Nas próximas seções quaternárias, são destacadas duas observações, a saber: (1) um resumo do procedimento de medição ou cálculo para cada ensaio segundo a Portaria INMETRO 004/2011 (INMETRO, 2011) e (2) a correspondência existente entre as proposições na sua forma simbólica e o seu significado na linguagem natural.

5.2.1.1 Autoconsumo

O ensaio de autoconsumo do inversor *off grid* é descrito no item 1.1 da parte 1 do ANEXO III da Portaria INMETRO nº 004/2011 (INMETRO, 2011). Nesse ensaio, inicialmente, são observados três procedimentos de ajustes, a saber: (1) configurar os aparelhos e instrumentos de medição, (2) configurar a fonte como fonte de tensão, ajustando uma tensão compatível com o inversor *off grid* e (3) conectar a fonte como acumulador no inversor. Os próximos passos são procedimentos de medição. Estes consistem em aplicar uma tensão de entrada ($V_{cc_{entr}}$) por meio de uma fonte de alimentação CC na entrada do inversor *off grid*, que no momento do ensaio está sem carga, e medir por meio de um amperímetro a corrente contínua de autoconsumo ($I_{cc_{entr}}$) para as sete etapas conforme apresentado na Tabela 5.3.

Tabela 5.3 – Medidas da tensão e corrente de entrada no inversor *off grid* sem carga

Etapa	Tensão de entrada $V_{cc_{entr}}$	Corrente de Entrada $I_{cc_{entr}}(V_{cc_{entr}})$	Critério normativo k_a
1	$V_{cc_{mín}}$	$I_{cc_{mín}} = I_{cc_{entr}}(V_{cc_{mín}})$	$I_{cc_{mín}} \leq 0,03I_{nom}$
2	$V_{cc_{92\%}} = 0,92V_{cc_{nom}}$	$I_{cc_{92\%}} = I_{cc_{entr}}(V_{cc_{92\%}})$	$I_{cc_{92\%}} \leq 0,03I_{nom}$
3	$V_{cc_{100\%}} = 1,00V_{cc_{nom}}$	$I_{cc_{100\%}} = I_{cc_{entr}}(V_{cc_{100\%}})$	$I_{cc_{100\%}} \leq 0,03I_{nom}$
4	$V_{cc_{108\%}} = 1,08V_{cc_{nom}}$	$I_{cc_{108\%}} = I_{cc_{entr}}(V_{cc_{108\%}})$	$I_{cc_{108\%}} \leq 0,03I_{nom}$
5	$V_{cc_{117\%}} = 1,17V_{cc_{nom}}$	$I_{cc_{117\%}} = I_{cc_{entr}}(V_{cc_{117\%}})$	$I_{cc_{117\%}} \leq 0,03I_{nom}$
6	$V_{cc_{125\%}} = 1,25V_{cc_{nom}}$	$I_{cc_{125\%}} = I_{cc_{entr}}(V_{cc_{125\%}})$	$I_{cc_{125\%}} \leq 0,03I_{nom}$
7	$V_{cc_{máx}}$	$I_{cc_{máx}} = I_{cc_{entr}}(V_{cc_{máx}})$	$I_{cc_{máx}} \leq 0,03I_{nom}$

Fonte: Elaboração própria.

No ensaio de autoconsumo, as oito proposições são escritas na forma simbólica dessa maneira: $a_1(\mu_{1a1}, \mu_{2a1})$, $a_2(\mu_{1a2}, \mu_{2a2})$, $a_3(\mu_{1a3}, \mu_{2a3})$, $a_4(\mu_{1a4}, \mu_{2a4})$, $a_5(\mu_{1a5}, \mu_{2a5})$, $a_6(\mu_{1a6}, \mu_{2a6})$, $a_7(\mu_{1a7}, \mu_{2a7})$ e $a_8(\mu_{1a8}, \mu_{2a8})$. Estas proposições são interpretadas na linguagem natural da seguinte forma: “o resultado do ensaio de corrente medida ($I_{cc_{entr}}$) com a tensão de entrada ($V_{cc_{entr}}$) está em conformidade com o critério normativo k_a (i.e. $I_{cc_{entr}} \leq 0,03I_{nom}$)”. Onde, as proposições $a_1(\mu_{1a1}, \mu_{2a1})$ a $a_7(\mu_{1a7}, \mu_{2a7})$ estão associadas às correntes de entrada $I_{cc_{entr}}$ das Etapas 1 a 7 respectivamente conforme visualizadas na Tabela 5.3. É oportuno registrar que a proposição $a_8(\mu_{1a8}, \mu_{2a8})$ tem a seguinte descrição na linguagem natural “a informação visual no gabinete do inversor corresponde aos valores estabelecidos pelo fabricante”.

5.2.1.2. Eficiência energética, distorção harmônica, regulação de tensão e frequência

Os quatro ensaios apresentados nesta seção, a saber, o ensaio de eficiência energética, de distorção harmônica total (THD), de regulação de tensão e de frequência do inversor *off grid* são descritos no item 1.2 da parte 1 do ANEXO III da Portaria INMETRO nº 004/2011 (INMETRO, 2011).

Nesses ensaios, inicialmente, são observados quatro procedimentos de ajustes: (1) configurar os aparelhos e instrumentos de medição, (2) configurar a fonte de tensão, ajustando a tensão nominal do inversor *off grid*, (3) conectar a fonte como acumulador no inversor e (4) identificar as cargas resistivas puras equivalentes a 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 80% e 100% da potência nominal (i.e. $P_{ca} = 0,1P_{nom}; 0,2P_{nom}; 0,3P_{nom}; 0,4P_{nom}; 0,5P_{nom}; 0,6P_{nom}; 0,8P_{nom}$ ou $1,0P_{nom}$). Uma vez expostos tais procedimentos de ajustes de aparelhos e instrumentos, os próximos passos são os procedimentos de medição e de cálculo para os ensaios de eficiência energética, de distorção harmônica total (THD), de regulação de tensão e de frequência.

Tabela 5.4 – Medidas da THD, da tensão de saída e da frequência e o cálculo da eficiência energética

Etapa	Potência	Eficiência	THD	Tensão de saída	Frequência
	$P_{ca(i)}$	$\eta_{calc(i)}$	$THD_{med(i)}$	$V_{med(i)}$	$f_{med(i)}$
1	$0,1P_{nom}$	$\eta_{calc(1)} > 0,80$	$THD_{med(1)} < 0,05$	$0,92 \leq V_{med(1)} \leq 1,05$	$0,998 \leq f_{med(1)} \leq 1,002$
2	$0,2P_{nom}$	$\eta_{calc(2)} > 0,80$	$THD_{med(2)} < 0,05$	$0,92 \leq V_{med(2)} \leq 1,05$	$0,998 \leq f_{med(2)} \leq 1,002$
3	$0,3P_{nom}$	$\eta_{calc(3)} > 0,80$	$THD_{med(3)} < 0,05$	$0,92 \leq V_{med(3)} \leq 1,05$	$0,998 \leq f_{med(3)} \leq 1,002$
4	$0,4P_{nom}$	$\eta_{calc(4)} > 0,80$	$THD_{med(4)} < 0,05$	$0,92 \leq V_{med(4)} \leq 1,05$	$0,998 \leq f_{med(4)} \leq 1,002$
5	$0,5P_{nom}$	$\eta_{calc(5)} \geq 0,85$	$THD_{med(5)} < 0,05$	$0,92 \leq V_{med(5)} \leq 1,05$	$0,998 \leq f_{med(5)} \leq 1,002$
6	$0,6P_{nom}$	$\eta_{calc(6)} \geq 0,85$	$THD_{med(6)} < 0,05$	$0,92 \leq V_{med(6)} \leq 1,05$	$0,998 \leq f_{med(6)} \leq 1,002$
7	$0,8P_{nom}$	$\eta_{calc(7)} \geq 0,85$	$THD_{med(7)} < 0,05$	$0,92 \leq V_{med(7)} \leq 1,05$	$0,998 \leq f_{med(7)} \leq 1,002$
8	$1,0P_{nom}$	$\eta_{calc(8)} \geq 0,85$	$THD_{med(8)} < 0,05$	$0,92 \leq V_{med(8)} \leq 1,05$	$0,998 \leq f_{med(8)} \leq 1,002$
9	$0,1P_{nom}$	$\eta_{calc(9)} > 0,80$	$THD_{med(9)} < 0,05$	$0,92 \leq V_{med(9)} \leq 1,05$	$0,998 \leq f_{med(9)} \leq 1,002$
10	$0,2P_{nom}$	$\eta_{calc(10)} > 0,80$	$THD_{med(10)} < 0,05$	$0,92 \leq V_{med(10)} \leq 1,05$	$0,998 \leq f_{med(10)} \leq 1,002$
11	$0,3P_{nom}$	$\eta_{calc(11)} > 0,80$	$THD_{med(11)} < 0,05$	$0,92 \leq V_{med(11)} \leq 1,05$	$0,998 \leq f_{med(11)} \leq 1,002$
12	$0,4P_{nom}$	$\eta_{calc(12)} > 0,80$	$THD_{med(12)} < 0,05$	$0,92 \leq V_{med(12)} \leq 1,05$	$0,998 \leq f_{med(12)} \leq 1,002$
13	$0,5P_{nom}$	$\eta_{calc(13)} \geq 0,85$	$THD_{med(13)} < 0,05$	$0,92 \leq V_{med(13)} \leq 1,05$	$0,998 \leq f_{med(13)} \leq 1,002$
14	$0,6P_{nom}$	$\eta_{calc(14)} \geq 0,85$	$THD_{med(14)} < 0,05$	$0,92 \leq V_{med(14)} \leq 1,05$	$0,998 \leq f_{med(14)} \leq 1,002$
15	$0,8P_{nom}$	$\eta_{calc(15)} \geq 0,85$	$THD_{med(15)} < 0,05$	$0,92 \leq V_{med(15)} \leq 1,05$	$0,998 \leq f_{med(15)} \leq 1,002$
16	$1,0P_{nom}$	$\eta_{calc(16)} \geq 0,85$	$THD_{med(16)} < 0,05$	$0,92 \leq V_{med(16)} \leq 1,05$	$0,998 \leq f_{med(16)} \leq 1,002$
17	$0,1P_{nom}$	$\eta_{calc(17)} > 0,80$	$THD_{med(17)} < 0,05$	$0,92 \leq V_{med(17)} \leq 1,05$	$0,998 \leq f_{med(17)} \leq 1,002$
18	$0,2P_{nom}$	$\eta_{calc(18)} > 0,80$	$THD_{med(18)} < 0,05$	$0,92 \leq V_{med(18)} \leq 1,05$	$0,998 \leq f_{med(18)} \leq 1,002$
19	$0,3P_{nom}$	$\eta_{calc(19)} > 0,80$	$THD_{med(19)} < 0,05$	$0,92 \leq V_{med(19)} \leq 1,05$	$0,998 \leq f_{med(19)} \leq 1,002$
20	$0,4P_{nom}$	$\eta_{calc(20)} > 0,80$	$THD_{med(20)} < 0,05$	$0,92 \leq V_{med(20)} \leq 1,05$	$0,998 \leq f_{med(20)} \leq 1,002$
21	$0,5P_{nom}$	$\eta_{calc(21)} \geq 0,85$	$THD_{med(21)} < 0,05$	$0,92 \leq V_{med(21)} \leq 1,05$	$0,998 \leq f_{med(21)} \leq 1,002$
22	$0,6P_{nom}$	$\eta_{calc(22)} \geq 0,85$	$THD_{med(22)} < 0,05$	$0,92 \leq V_{med(22)} \leq 1,05$	$0,998 \leq f_{med(22)} \leq 1,002$
23	$0,8P_{nom}$	$\eta_{calc(23)} \geq 0,85$	$THD_{med(23)} < 0,05$	$0,92 \leq V_{med(23)} \leq 1,05$	$0,998 \leq f_{med(23)} \leq 1,002$
24	$1,0P_{nom}$	$\eta_{calc(24)} \geq 0,85$	$THD_{med(24)} < 0,05$	$0,92 \leq V_{med(24)} \leq 1,05$	$0,998 \leq f_{med(24)} \leq 1,002$

Fonte: Elaboração própria.

Na Tabela 5.4, o índice subscrito “i” significa o número da Etapa. Também é oportuno frisar que, os quatro ensaios desta seção (5.2.1.2) são realizados ora na tensão nominal (i.e. $V_{med(i)} = V_{nom(i)}$), ora na tensão mínima (i.e. $V_{med(i)} = V_{min(i)}$) e ora na tensão máxima (i.e. $V_{med(i)} = V_{max(i)}$).

Em suma, estes quatro ensaios são realizados com tensão nominal, tensão mínima e tensão máxima totalizando vinte e quatro medições, ou seja, oito medições para três grupos de tensão (i.e. nominal, mínima e máxima). Sendo assim, os fatores de influência $\mathbf{F}_B = \{b_1, b_2, \dots, b_{23}, b_{24}\}$, $\mathbf{F}_C = \{c_1, c_2, \dots, c_{23}, c_{24}\}$, $\mathbf{F}_D = \{d_1, d_2, \dots, d_{23}, d_{24}\}$ e $\mathbf{F}_E = \{e_1, e_2, \dots, e_{23}, e_{24}\}$ associados aos conjuntos eficiência energética, distorção harmônica, regulação de tensão e frequência respectivamente estão divididos em três subconjuntos.

Por exemplo,

- (1) o subconjunto $\mathbf{F}_{B1}$ de $\mathbf{F}_B$ (i.e. $\mathbf{F}_{B1} \subset \mathbf{F}_B$) representa as oito proposições do ensaio de eficiência energética em tensão nominal (V_{nom}) de acordo com a notação matemática – $\mathbf{F}_{B1} = \{b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6, b_7, b_8\}$;
- (2) o subconjunto $\mathbf{F}_{B2}$ de $\mathbf{F}_B$ (i.e. $\mathbf{F}_{B2} \subset \mathbf{F}_B$) representa as oito proposições do ensaio de eficiência energética em tensão mínima (V_{min}) de acordo com a notação matemática – $\mathbf{F}_{B2} = \{b_9, b_{10}, b_{11}, b_{12}, b_{13}, b_{14}, b_{15}, b_{16}\}$ e
- (3) o subconjunto $\mathbf{F}_{B3}$ de $\mathbf{F}_B$ (i.e. $\mathbf{F}_{B3} \subset \mathbf{F}_B$) representa as oito proposições do ensaio de eficiência energética em tensão máxima (V_{max}) de acordo com a notação matemática – $\mathbf{F}_{B3} = \{b_{17}, b_{18}, b_{19}, b_{20}, b_{21}, b_{22}, b_{23}, b_{24}\}$.

De procedimento semelhante adotado para os subconjuntos $\mathbf{F}_{B1}$, $\mathbf{F}_{B2}$ e $\mathbf{F}_{B3}$ para o conjunto $\mathbf{F}_B$, os subconjuntos $\mathbf{F}_{C1}$, $\mathbf{F}_{C2}$ e $\mathbf{F}_{C3}$ para o conjunto $\mathbf{F}_C$; os subconjuntos $\mathbf{F}_{D1}$, $\mathbf{F}_{D2}$ e $\mathbf{F}_{D3}$ para o conjunto $\mathbf{F}_D$ e os subconjuntos $\mathbf{F}_{E1}$, $\mathbf{F}_{E2}$ e $\mathbf{F}_{E3}$ para o conjunto $\mathbf{F}_E$ têm a mesma lei de formação.

Para o ensaio de eficiência energética em condições nominais, as vinte e quatro proposições do fator de influência $\mathbf{F}_B$ estão divididas nos três subconjuntos $\mathbf{F}_{B1}$, $\mathbf{F}_{B2}$ e $\mathbf{F}_{B3}$. Para exemplificar, a leitura intuitiva para a proposição $b_1(\mu_{1b1}, \mu_{2b1})$ é: “o resultado do cálculo de eficiência energética com 10% da potência nominal ($\eta_{calc(1)}$) do inversor *off grid* na tensão nominal (V_{nom}) está em conformidade com o critério $\eta_{calc(1)} > 0,80$ ”. De forma semelhante, a leitura intuitiva para a proposição $b_{13}(\mu_{1b13}, \mu_{2b13})$ fica: “o resultado do cálculo de eficiência energética com 50% da potência nominal ($\eta_{calc(13)}$) do inversor *off grid* na tensão mínima (V_{min}) está em conformidade com o critério $\eta_{calc(13)} \geq 0,85$ ”. Já, a leitura intuitiva para a proposição $b_{24}(\mu_{1b24}, \mu_{2b24})$ é: “o resultado do cálculo de eficiência energética com 100% da

potência nominal ($\eta_{calc(24)}$) do inversor *off grid* na tensão máxima ($V_{m\acute{a}x}$) está em conformidade com o critério $\eta_{calc(24)} \geq 0,85$ ". Os critérios normativos utilizados para a leitura intuitiva das proposições foram extraídos da Tabela 5.4.

As vinte e quatro proposições dos fatores de influência associadas ao resultado dos ensaios de distorção harmônica (F_C), regulação de tensão (F_D) e frequência (F_E) em condições nominais têm a leitura intuitiva de forma análoga ao caso do ensaio de eficiência energética. Vale registrar também que os critérios normativos para a leitura intuitiva dessas proposições pertencentes aos fatores de influência F_C , F_D e F_E estão listados na Tabela 5.4.

5.2.1.3. Sobrecarga

O ensaio de sobrecarga do inversor *off grid* apresentado nesta seção (5.2.1.3) é descrito no item 1.3 da parte 1 do ANEXO III da Portaria INMETRO nº 004/2011 (INMETRO, 2011).

Em suma, deve ser conectado um motor com uma potência correspondente a 1/3 da potência nominal do inversor e compatível com a tensão de saída. Conectar o motor como carga do inversor e verificar se o mesmo consegue arrancar o motor sem problemas.

MEDIDAS PARA O ENSAIO DE SOBRECARGA	
Etapa 1	– Conectar um motor com uma potência correspondente a 1/3 da potência nominal do inversor e compatível com a tensão de saída como carga do inversor e verificar se o mesmo consegue arrancar o motor sem problemas;
Etapa 2	– Conectar uma carga puramente resistiva na saída do inversor, com valor correspondente a 120% da potência nominal por dez minutos e, dentro deste intervalo, o inversor deve manter a carga de 120% alimentada durante três minutos.
Etapa 3	– Conectar uma carga puramente resistiva na saída do inversor, com valor correspondente a 150% da potência nominal por dez minutos e, dentro deste intervalo, o inversor deve manter a carga de 150% alimentada durante um minuto.

Tabela 5.5 – Proposições do ensaio de sobrecarga e sua linguagem natural.

FORMA SIMBÓLICA	LINGUAGEM NATURAL
$f_1(\mu_{1f1}, \mu_{2f1})$	O inversor arranca sem problemas com um motor com 1/3 da potência nominal.
$f_2(\mu_{1f2}, \mu_{2f2})$	O inversor mantém sem problemas uma carga puramente resistiva de 120% da potência nominal em três primeiros minutos de dez minutos do ensaio.
$f_3(\mu_{1f3}, \mu_{2f3})$	O inversor mantém sem problemas uma carga puramente resistiva de 150% da potência nominal no primeiro minuto de dez minutos do ensaio.

Fonte: Elaboração própria.

5.2.1.4. Proteção contra inversão de polaridade

O ensaio de proteção contra inversão de polaridade do inversor *off grid* apresentado nesta seção (5.2.1.4) é descrito no item 2.1 da parte 1 do ANEXO III da Portaria INMETRO nº 004/2011 (INMETRO, 2011).

Em relação ao procedimento de ensaio de proteção contra inversão de polaridade, deve-se utilizar um acumulador de energia com tensão compatível ao inversor com as conexões invertidas por cinco minutos. A interrupção é realizada por meio de uma chave-faca. Em seguida, verificar o estado do fusível (se houver) e trocar, se necessário. Conectar o acumulador com a polaridade correta e verificar o funcionamento do inversor. Este não deve ter anormalidades.

Nesse ensaio, a única proposição é a $g_1(\mu_{1g1}, \mu_{2g1})$, e se lê na linguagem natural como: “o inversor mantém por cinco minutos o funcionamento com inversão de polaridade”.

5.2.1.5. Proteção contra curtocircuito na saída

O ensaio de proteção contra curtocircuito na saída do inversor *off grid* apresentado nesta seção (5.2.1.5) é descrito no item 2.2 da parte 1 do ANEXO III da Portaria INMETRO nº 004/2011 (INMETRO, 2011).

Em relação ao procedimento de ensaio de proteção contra curtocircuito, deve-se utilizar um acumulador de energia com tensão compatível ao inversor. Conectar dois fios na saída do inversor e deixar livres suas extremidades. Ligar o inversor e unir os fios por um período de cinco segundos. Em seguida, desligar o inversor e verificar o estado do fusível (se houver) e trocar, se necessário. Desfazer o curtocircuito e verificar o funcionamento do inversor. Este não deve ter anormalidades.

Nesse ensaio, a única proposição é a $h_1(\mu_{1h1}, \mu_{2h1})$, e se lê na linguagem natural como: “a proteção do inversor atua em cinco segundos na presença de curtocircuito nos terminais de saída”.

5.2.1.6. Eficiência energética, distorção harmônica, regulação de tensão e frequência em ambiente a 40°C

Os quatro ensaios apresentados nesta seção, a saber, o ensaio de eficiência energética, de distorção harmônica total (THD), de regulação de tensão e de frequência do inversor *off grid* em condição extrema (em ambiente a 40°C) são descritos no item 2.3 da parte 1 do ANEXO III da Portaria INMETRO nº 004/2011 (INMETRO, 2011).

Para executar esse ensaio, é necessário que o inversor seja ligado com potência nominal, durante cinco horas, em um ambiente previamente condicionado a 40°C. Em seguida, realizar as medidas de THD, de tensão e de frequência e fazer os cálculos de eficiência energética, de regulação de tensão e de regulação de frequência conforme descrito abaixo. De forma análoga seção (5.2.1.2), obtêm-se as leituras intuitivas das proposições pertencentes aos subconjuntos F_I a F_M , onde a exigência a atender é a condição extrema relatada anteriormente.

5.2.2. Seções de influência dos inversores *off grid*

As seções de influência $S_{\square 1}$ e $S_{\square 2}$ são subconjuntos dos fatores de influência $F_{\square}$, ou seja, $(S_{\square 1} \subset F_{\square})$ e $(S_{\square 2} \subset F_{\square})$. Onde, o índice $\square$, de forma semelhante já explicitado na seção anterior (5.2.1), generaliza os índices de A a M correspondente aos ensaios 1 a 12 dos inversores *off grid*.

Sendo que, o subconjunto $S_{\square 1}$ denota que os elementos pertencentes a este estão em conformidade com o ensaio de $F_{\square}$ descrito no Anexo III - parte 1 - da Portaria INMETRO 004/2011(INMETRO, 2011). Já o subconjunto $S_{\square 2}$ denota a não conformidade dos elementos a mesma Portaria. Em suma, o subconjunto $S_{\square 1}$ é "Conforme" e o subconjunto $S_{\square 2}$ é "Não conforme", onde os elementos de $F_{\square}$, já apresentados nas Tabelas 5.2, são ou "Conforme" ou "Não conforme", mas não ambos. É oportuno lembrar que, os elementos citados são as proposições. A Figura 5.3 mostra três exemplos de conjunto F_A com seus subconjuntos S_{A1} = "Conforme" e S_{A2} = "Não Conforme" e cinco proposições hipotéticas a_1, a_2, a_3, a_4 e a_5 a fim de ilustrar o conteúdo desta seção (5.2.2).

É interessante observar na Figura 5.2a que, a proposição a_3 se encontra no limite entre S_{A1} = "Conforme" e S_{A2} = "Não Conforme" e este pertence ao subconjunto S_{A1} . O mesmo observa na Figura 5.2b, onde as proposições a_2 e a_4 pertencem ao subconjunto S_{A1} . Da mesma maneira, a Figura 5.2c apresenta o elemento a_3 com uma proposição pertencente ao subconjunto $S_{\square 1}$. Isto ocorre porque a redação da Portaria Inmetro 004/2011 contempla como "Conforme" a medida *maior ou igual* ($\geq$) ou *menor ou igual* ($\leq$) do que a linha limítrofe do critério (i.e. a referência do critério). Por exemplo, no ensaio de autoconsumo a linha limítrofe é 3% da corrente nominal, ou seja, uma medida a 3% da corrente nominal está "Conforme". Esta linha limítrofe está relacionada ao Nível de Exigência (NE) e é atribuído, por convenção, o valor de inicialização de 0,50 (cf. Figura 4.2), todavia outros valores podem ser atribuídos dependendo do estudo em questão.

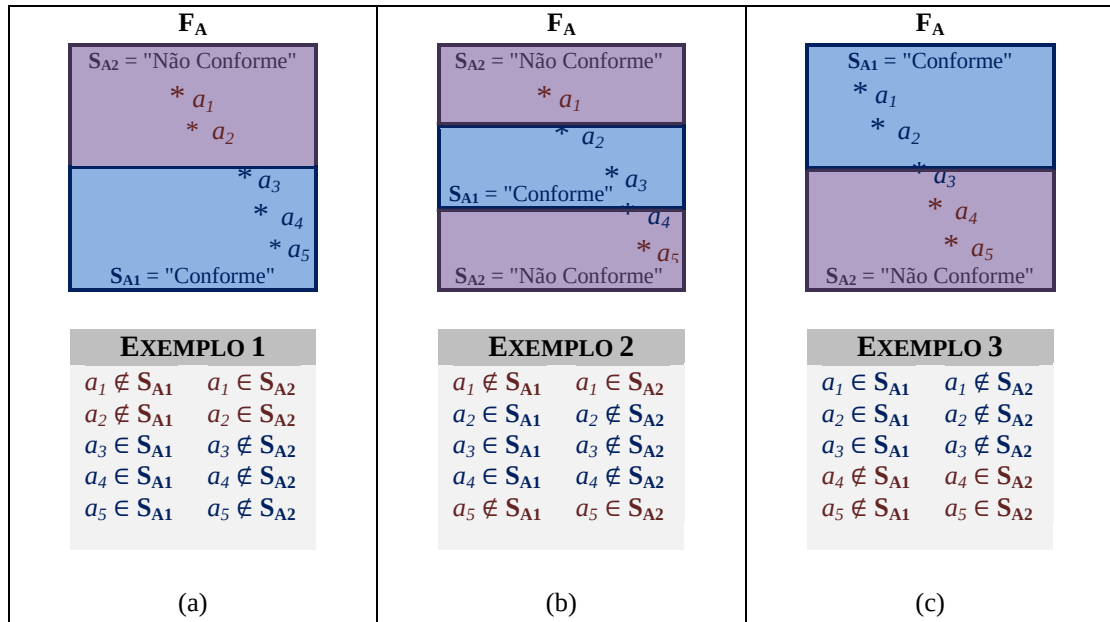


Figura 5.2 - Três exemplos com os subconjuntos S_{A1} e S_{A2} e cinco proposições hipotéticas a_1 , a_2 , a_3 , a_4 e a_5
Fonte: Elaboração própria.

5.2.3. Critério de viabilidade para os ensaios de conformidade

Na seção (5.2.2), introduziram-se três pontos, a saber: (1) o conceito de seções de influência, (2) a relação de pertinência entre as proposições do ensaio e S_{A1} e (3) a relação de inclusão entre S_{A1} com os fatores de influência F_A . Esses pontos foram visualizados nos três exemplos da Figura 5.2.

Observando os critérios dos ensaios para os inversores *off grid* estabelecidos pela Portaria INMETRO n° 004/2011 (INMETRO, 2011), estes podem ser agrupados em três critérios de viabilidade, a saber: (1) *critério passa-baixa*, (2) *critério passa-faixa* e (3) *critério passa-alta*. Esses três nomes foram emprestados do estudo de filtros, devido à similar finalidade.

Na Figura 5.2, foram dados três exemplos. Estes correspondem aos três critérios de viabilidade apresentados na Figura 5.3, que faz uso de uma função com notação $f: X \rightarrow Y$. Onde, X e Y correspondem às medidas dos ensaios dos inversores *off grid* nos eixos das abscissas e das ordenadas respectivamente. As proposições hipotéticas a_1 , a_2 , a_3 , a_4 e a_5 apresentados na Figura 5.2 são mantidas na Figura 5.3, só que estas proposições agora estão associadas aos seus pares coordenados do tipo: $a_1(X_1, Y_1)$, $a_2(X_2, Y_2)$, $a_3(X_3, Y_3)$, $a_4(X_4, Y_4)$ e $a_5(X_5, Y_5)$.

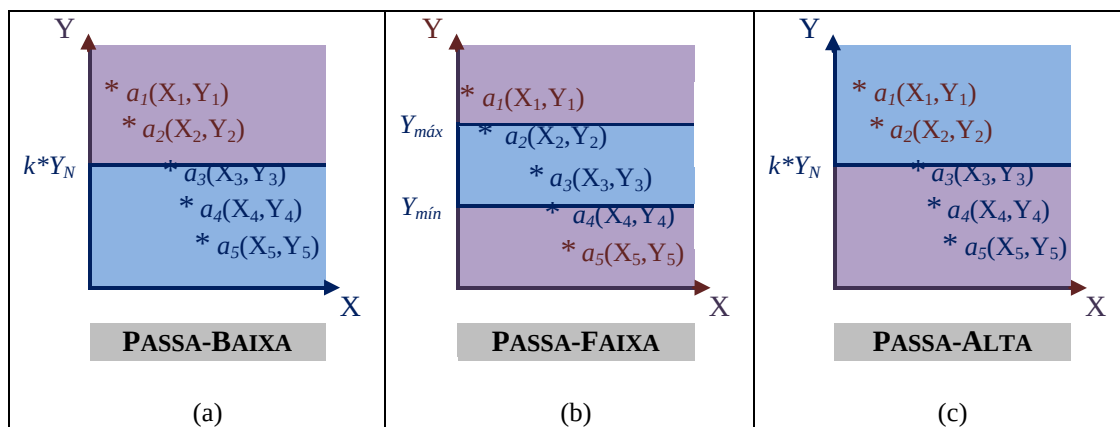


Figura 5.3 – Os três critérios de viabilidade identificados na Portaria Inmetro 004/2011

Fonte: Elaboração própria.

Nas Figuras 5.3a e 5.3c, mostram o *critério passa-baixa* e o *critério passa-alta* respectivamente. Para o *critério passa-baixa*, a medida do ensaio é “conforme”, quando a proposição tem um par coordenado *menor ou igual* em relação ao critério de viabilidade dado pelo produto $k*Y_N$, isto é, $Y_{med} \leq k*Y_N$, onde Y_{med} é a variável medida. De forma semelhante, o *critério passa-alta* é descrito como $Y_{med} \geq k*Y_N$. Onde, k é uma constante e Y_N é a variável Y no seu valor nominal. Os valores da constante k e da variável Y (como também a identificação desta, ou seja, quem é Y ?) são extraídos do Anexo III (parte 1) da Portaria Inmetro nº 004/2011 (INMETRO, 2011). E os valores mencionados são convertidos para o sistema por unidade (*p.u.*). Para exemplificar, cita-se o procedimento (1.1.4) do ensaio de autoconsumo do Anexo III (parte 1) da Portaria INMETRO nº 004/2011, onde se lê:

[...] 1.1.4 – Ligar a fonte e medir a corrente de autoconsumo para as tensões correspondentes a 92%, 100%, 108%, 117% e 125% da tensão nominal, além das tensões mínima e máxima de entrada do inversor. Em nenhum caso a corrente deverá ser maior [do] que 3% do consumo quando em plena carga – potência nominal [...] (INMETRO, 2011).

A partir da redação supracitada, atribuí-se o valor de $k = 0,03$ para o ensaio de autoconsumo relativo aos “3% do consumo quando em plena carga – potência nominal” (INMETRO, 2011). Com a mesma interpretação, pode-se concluir que Y_N é a corrente nominal. É importante observar que, Y_N está no sistema por unidade, ou seja, $Y_N = 1,00 \text{ p.u.}$, logo $k*Y_N = k = 0,03$. Onde se conclui que, dado um sistema por unidade, a linha limítrofe sempre será representada pela constante k no *critério passa-baixa* e no *critério passa-alta*.

Nas Figuras 5.3b, mostra o *critério passa-faixa*. Para o *critério passa-faixa*, a medida do ensaio é “conforme”, quando a proposição tem um par coordenado *entre ou igual* $Y_{máx}$ e $Y_{mín}$, que são as variáveis máxima e mínima de Y , respectivamente, convertidas para o

sistema por unidade (*p.u.*). Estas duas variáveis são extraídas do Anexo III (parte 1) da Portaria INMETRO n° 004/2011 (INMETRO, 2011). Para exemplificar, cita-se o procedimento (1.2.7) do Anexo III (parte 1) da portaria supracitada, destacando os ensaios de frequência e de regulação de tensão.

1.2.7 – Das medidas registradas [...] a frequência (60Hz) e tensão de saída 127/220 Vca rms monofásica deverão estar de acordo com a legislação em vigor (ANEEL) para qualquer potência [meu grifo] (INMETRO, 2011).

A referida legislação vigente da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) citada do trecho acima é o Módulo 8 (Qualidade de Energia Elétrica) do Procedimento de Distribuição de Energia Elétrica no Setor Elétrico Nacional (PRODIST) em vigor a partir do dia 1 de janeiro de 2016 (revisão 7). Destaca-se nesse documento, o resumo apresentado por meio da tabela 12, onde se lê na legenda: – “Faixas aplicadas às tensões nominais inferiores a 1kV para formação das tabelas 4 a 11” (ANEEL, 2016, p. 35). Em suma, para uma tensão de 127Vca, os limites mínimo e máximo são 116,84V e 133,35V, respectivamente. Já para uma tensão de 220Vca, os limites mínimo e máximo são 202,40V e 231,00V, respectivamente. A Tabela 5.6 reproduz a tabela 12 da legislação da ANEEL.

Tabela 5.6 - Faixas aplicadas às tensões nominais inferiores a 1kV pelo Módulo 8 do PRODIST.

TENSÃO DE ATENDIMENTO (TA)	FAIXA DE VARIAÇÃO DA TENSÃO DE LEITURA (TL) EM RELAÇÃO À TENSÃO NOMINAL (TN)
<i>Adequada</i>	$(0,92TN \leq TL \leq 1,05TN)$
<i>Precária</i>	$(0,87TN \leq TL < 0,92TN)$ ou $(1,05TN < TL \leq 1,06TN)$
<i>Crítica</i>	$(TL < 0,87TN)$ ou $(TL > 1,06TN)$

Fonte: Tabela adaptada da ANEEL, 2016, p. 35.

Em relação à variação da frequência, o Módulo 8 do PRODIST trata o assunto da seguinte maneira:

8.1 O sistema de distribuição e as instalações de geração conectadas ao mesmo devem, em condições normais de operação e em regime permanente, operar dentro dos limites de frequência situados entre 59,9 Hz e 60,1 Hz (ANEEL, 2016, p. 31).

Com as informações de tensão e de frequência do Módulo 8 do PRODIST, o *critério passa-faixa* para o ensaio de regulação de tensão tem $Y_{\min} = 0,92 \text{ p.u.}$ e $Y_{\max} = 1,05 \text{ p.u.}$, onde Y é a variável “tensão de saída - Vca”. Já o *critério passa-faixa* para o ensaio de frequência tem $Y_{\min} = (Y_{\text{Nom}} - 0,1\text{Hz})$ e $Y_{\max} = (Y_{\text{Nom}} + 0,1\text{Hz})$, onde Y é a variável “frequência” e Y_{Nom} é a frequência nominal. É oportuno destacar que, os valores $Y_{\min}$ e $Y_{\max}$ são as linhas

limítrofes e as proposições localizadas nessas duas linhas estão em conformidade com o ensaio em questão.

A Tabela 5.7 resume a classificação dos doze ensaios realizados nos inversores *off grid* em relação aos três critérios de viabilidade apresentados nesta seção (5.2.3).

Tabela 5.7 – Classificação dos ensaios em inversores *off grid* em relação aos três critérios de viabilidade.

NOME DO ENSAIO	CRITÉRIO DE VIABILIDADE
Ensaio 1 – Autoconsumo	<i>Passa-baixa</i>
Ensaio 2 – Eficiência Energética	<i>Passa-alta</i>
Ensaio 3 – Distorção Harmônica	<i>Passa-baixa</i>
Ensaio 4 – Regulação de Tensão	<i>Passa-faixa</i>
Ensaio 5 – Frequência	<i>Passa-faixa</i>
Ensaio 6 – Sobrecarga	<i>Passa-baixa</i>
Ensaio 7 – Proteção contra inversão de polaridade	<i>Passa-baixa</i>
Ensaio 8 – Proteção contra curto-circuito na saída	<i>Passa-baixa</i>
Ensaio 9 – Eficiência Energética em ambiente a 40°C	<i>Passa-alta</i>
Ensaio 10 – Distorção Harmônica em ambiente a 40°C	<i>Passa-baixa</i>
Ensaio 11 – Regulação da Tensão em ambiente a 40°C	<i>Passa-faixa</i>
Ensaio 12 – Frequência em ambiente a 40°C	<i>Passa-faixa</i>

Fonte: Elaboração própria.

5.2.4. Erros aleatórios e sistemáticos

Nesta seção (5.2.4), são apresentadas algumas definições técnicas³⁹ acerca da Teoria de Erros segundo o “Guia de Expressão da Incerteza de Medição – GUM” (ABNT/INMETRO, 2003) e o “Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia – VIM” (INMETRO, 2007) a fim de mostrar como esses foram inseridos no MPDM.

O GUM (1995) com pequenas correções foi publicado sob o título JCGM 100:2008. Esta publicação foi traduzida para o português por especialistas do INMETRO em 2008, onde se definiu o verbete erro da seguinte maneira,

³⁹ Esses termos foram discutidos por grupos de trabalhos constituídos de especialistas de diversas organizações internacionais, entre elas: *Bureau International des Poids et Mesures* (BIPM), *International Electrotechnical Commission* (IEC), *International Federation of Clinical Chemistry and Laboratory Medicine* (IFCC), *International Laboratory Accreditation Cooperation* (ILAC), *International Organization for Standardization* (ISO), *International Union of Pure and Applied Chemistry* (IUPAC), *International Union of Pure and Applied Physics* (IUPAP), *International Organization of Legal Metrology* (OIML), que publicaram dois documentos sobre metrologia e regras básicas acerca da incerteza, a saber: (1) *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurements* e (2) *International Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology*.

B.2.19**Erro (de medição)**

Resultado de uma medição menos o valor verdadeiro do mensurando.

NOTA 1: Uma vez que o valor verdadeiro não pode ser determinado utiliza-se, na prática, um valor verdadeiro convencional [ver VIM 1993, definições 1.19 (B.2.3) e 1.20 (B.2.4)].

NOTA 2: Quando é necessário distinguir “erro” de “erro relativo”, o primeiro é, algumas vezes, denominado **erro absoluto de medição**. Este termo não deve ser confundido com **valor absoluto de um erro**, que é o módulo do erro [ver VIM 1993, definições 1.19 (B.2.3) e 1.20 (B.2.4)].

[VIM: 1993, definição 3.10]

Nota-se que, há três verbetes associados à definição de “erro”, a saber: (1) resultado de uma medição, (2) valor verdadeiro e (3) mensurando. Esses três termos destacados são apresentados no documento traduzido do JCGM (2008, pp. 32, 34) dessa maneira,

B.2.4**valor verdadeiro (de uma grandeza)**

valor consistente com a definição de uma dada grandeza específica.

NOTA 1: É um valor que seria obtido por um medição perfeita.

NOTA 2: Valores verdadeiros são, por natureza, indeterminados.

NOTA 3: O artigo indefinido “um” é usado, preferivelmente ao artigo definido “o”, em conjunto com “valor verdadeiro” porque pode haver muitos valores consistentes com a definição de uma dada grandeza específica.

[VIM: 1993, definição 1.19]

[...]

B.2.9**mensurando**

grandeza específica submetida à medição.

EXEMPLO: Pressão de vapor de uma dada amostra de água a 20°C.

NOTA A: A especificação de um mensurando pode requerer informações de outras grandezas como tempo, temperatura e pressão.

[VIM: 1993, definição 2.6]

[...]

B.2.11**resultado de uma medição**

valor atribuído a um mensurando, obtido por medição.

NOTA 1: Quando um resultado é dado, deve-se indicar, claramente, se ele se refere:

- à indicação
 - ao resultado não corrigido
 - ao resultado corrigido
- e se corresponde ao valor médio de várias medições.

NOTA 2: Uma expressão completa do resultado de uma medição inclui informações sobre a incerteza de medição.

[VIM: 1993, definição 3.1]

(JCGM , 2008, pp. 32, 34)

Nesse contexto, a publicação do JCGM expressa a composição do erro, ou seja, “uma medição tem imperfeições que dão origem a um **erro** (B.2.19) no resultado da medição [...] um erro é visto como tendo dois componentes, a saber, um componente **aleatório**

(B.2.21) e um componente **sistemático** (B.2.22)” (JCGM 100, 2008, p. 5). Com essa classificação, o “erro aleatório” e o “erro sistemático” utilizados nesta dissertação são definidos conforme a declaração do JCGM 100:2008, onde se lê em primeiro lugar sobre o erro aleatório:

3.2.2 O erro aleatório presumivelmente se origina de variações temporais ou espaciais, estocásticas ou imprevisíveis, de grandezas de influência. Os efeitos de tais variações, daqui para frente denominados efeitos aleatórios, são a causa de variações em observações repetidas do mensurando. Embora não seja possível compensar o erro aleatório de um resultado de medição, ele pode geralmente ser reduzido aumentando-se o número de observações; sua **esperança** ou **valor esperado** (C. 2.9, C. 3.1) é zero.

NOTA 1: o desvio-padrão experimental da média aritmética ou média de uma série de observações (ver 4.2.3) não é o erro aleatório da média, embora ele assim seja designado em algumas publicações. Ele é, em vez disso, uma medida da *incerteza* da média devida a efeitos aleatórios. O valor exato do erro na média, que se origina destes efeitos, não pode ser conhecido.

NOTA 2: Neste Guia toma-se muito cuidado em se distinguir entre os termos “erro” e “incerteza”. Eles não são sinônimos, mas representam conceitos completamente diferentes; eles não devem ser confundidos um com o outro, nem ser mal empregados.

(JCGM, 2008, p. 5).

E alhures, se lê sobre o erro sistemático:

3.2.3 O erro sistemático, assim como o erro aleatório, não pode ser eliminado, porém ele também frequentemente, pode ser reduzido. Se um erro sistemático se origina de um efeito reconhecido de uma grandeza de influência em um resultado de medição, daqui para diante denominado como *efeito sistemático*, o efeito pode ser quantificado e, se for significativo com relação à exatidão requerida da medição, uma **correção** (B.2.23) ou **fator de correção** (B.2.24) pode ser aplicado para compensar o efeito. Supõe-se que, após esta correção, a esperança ou valor esperado do erro provocado por um efeito sistemático seja zero.

NOTA: A incerteza de uma correção aplicada a um resultado de medição para compensar um efeito sistemático não é o erro sistemático no resultado de medida. Esse efeito sistemático é frequentemente denominado *tendência*, e também, algumas vezes, chamado efeito de *tendência*. É uma medida da incerteza do resultado devido ao conhecimento incompleto do valor requerido da correção. O erro originado da compensação imperfeita de um efeito sistemático não pode ser exatamente conhecido. Os termos “erro” e “incerteza” devem ser usados apropriadamente e deve-se tomar cuidado em se distinguir um do outro.

(JCGM, 2008, p. 5).

Em suma, as formulações dos erros sistemáticos (e.g. instrumental, ambiental, observacional) e aleatórios (i.e. residuais ou estatísticos) são apresentadas na Eq. 5.1 e na Eq. 5.2.

$$\varepsilon_{\text{aleatório}} = Y_{\text{med}} - \bar{Y}_{\text{VMV}} \quad (\text{Eq. 5.1})$$

$$\varepsilon_{\text{sistemático}} = \bar{Y}_{\text{VMV}} - Y_{\text{VV}} \quad (\text{Eq. 5.2})$$

Onde,

Y_{med} é o resultado da medição;

$\bar{Y}_{\text{VMV}}$ é o valor médio verdadeiro (ou média limite);

Y_{VV} é o valor verdadeiro.

A Eq. 5.2 traz a lume os erros sistemáticos que não é o objeto de estudo desta dissertação. Apesar disso, a estrutura computacional do CONFORME permite implementação a entrada do usuário para o vetor de erro sistemático ($\mathbf{E}_{\text{sist}}$) conforme a Eq. 5.3.

$$\mathbf{E}_{\text{sist}} = [\varepsilon_A \ \varepsilon_B \ \varepsilon_C \ \varepsilon_D \ \varepsilon_E \ \varepsilon_F \ \varepsilon_G \ \varepsilon_H \ \varepsilon_I \ \varepsilon_J \ \varepsilon_L \ \varepsilon_M]^T \quad (\text{Eq. 5.3})$$

Onde, os vetores a seguir estão relacionados com os erros sistemáticos:

ε_A = oito medidas do ensaio de autoconsumo para os erros sistemáticos;

ε_B = vinte e quatro medidas do ensaio de eficiência energética para os erros sistemáticos;

ε_C = vinte e quatro medidas do ensaio de distorção harmônica para os erros sistemáticos;

ε_D = vinte e quatro medidas do ensaio de regulação de tensão para os erros sistemáticos;

ε_E = vinte e quatro medidas do ensaio de frequência para os erros sistemáticos;

ε_F = três medidas do ensaio de sobrecarga para os erros sistemáticos;

ε_G = uma medida do ensaio de proteção contra inversão de polaridade para os erros sistemáticos;

ε_H = uma medida do ensaio de proteção contra curto-circuito para os erros sistemáticos;

ε_I = vinte e quatro medidas do ensaio de eficiência energética em ambiente a 40°C para os erros sistemáticos;

ε_J = vinte e quatro medidas do ensaio de distorção harmônica em ambiente a 40°C para os erros sistemáticos;

ε_L = vinte e quatro medidas do ensaio de regulação de tensão em ambiente a 40°C para os erros sistemáticos;

ε_M = vinte e quatro medidas do ensaio de frequência em ambiente a 40°C para os erros sistemáticos;

Já por meio da Eq. 5.1, obtêm-se os erros aleatórios para cada medida ao associar o $\bar{Y}_{\text{VMV}}$ ao valor do modelo matemático proposto por ensaio, ou seja, $\bar{Y}_{\text{VMV}} = Y_{\text{MMQ}}$. Onde, Y_{MMQ} é o valor calculado pelo Método dos Mínimos Quadrados (MMQ) ajustando sempre a Eq 5.4, exceto para o modelo matemático da eficiência energética.

$$Y_{\text{MMQ}} = \alpha * \mathbf{X}_{\text{med}} + \beta \quad (\text{Eq. 5.4})$$

Onde,

$$Y_{MMQ} = [y_{MMQ_1} \ y_{MMQ_2} \ y_{MMQ_3} \ \cdots \ y_{MMQ_{n-2}} \ y_{MMQ_{n-1}} \ y_{MMQ_n}]^T$$

y_{MMQ_1} = valor calculado pelo Método dos Mínimos Quadrados na 1ª medição

$\vdots$ $\vdots$ $\vdots$ $\vdots$ $\vdots$ $\vdots$ $\vdots$

y_{MMQ_n} = valor calculado pelo Método dos Mínimos Quadrados na n^a medição

$$X_{MMQ} = \begin{bmatrix} X_{med_1} & 1 \\ X_{med_2} & 1 \\ X_{med_3} & 1 \\ \vdots & \vdots \\ X_{med_{n-2}} & 1 \\ X_{med_{n-1}} & 1 \\ X_{med_n} & 1 \end{bmatrix}$$

X_{med_1} = valor da 1ª medição da variável do eixo das abscissas

$\vdots$ $\vdots$ $\vdots$ $\vdots$ $\vdots$ $\vdots$

X_{med_n} = valor da n^a medição da variável do eixo das abscissas

A Eq. 5.5 apresenta a formulação geral para calcular o coeficiente angular (α) e o coeficiente linear (β) pelo Método dos Mínimos Quadrados para cada ensaio com exceção do cálculo da eficiência energética.

$$\begin{bmatrix} \alpha \\ \beta \end{bmatrix} = (X_{MMQ}^T * X_{MMQ})^{-1} * X_{MMQ}^T * Y_{MMQ} \quad (\text{Eq. 5.5})$$

Por exemplo, para o ensaio de autoconsumo empregou-se a fórmula $I_{\text{auto}} = P_{\text{auto}} * V_{\text{med}}^{-1}$, onde: I_{auto} é um vetor com as sete medidas de corrente de autoconsumo [em p.u.]; P_{auto} é a potência de autoconsumo declarada pelo fabricante [em p.u.] e V_{med} é o vetor com as sete medidas de tensão do ensaio de autoconsumo regido pela Portaria INMETRO n° 004/2011 (INMETRO, 2011). Quando se atribuem os valores de $X_{\text{med}} = V_{\text{med}}^{-1}$, $Y_{\text{calc}} = I_{\text{auto}}$ na Eq. 5.5, então obtém a Eq. 5.6.

$$\begin{bmatrix} \alpha \\ \beta \end{bmatrix} = \left(\begin{bmatrix} X_{med_1} & \cdots & X_{med_n} \\ 1 & \cdots & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} X_{med_1} & 1 \\ \vdots & \vdots \\ X_{med_n} & 1 \end{bmatrix} \right)^{-1} * \begin{bmatrix} X_{med_1} & \cdots & X_{med_n} \\ 1 & \cdots & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} Y_{med_1} \\ \vdots \\ Y_{med_n} \end{bmatrix}$$

Ou seja,

$$\begin{bmatrix} \alpha \\ \beta \end{bmatrix} = \left(\begin{bmatrix} 1 & \dots & 1 \\ V_{med_1} & \dots & V_{med_n} \\ 1 & \dots & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 1 \\ V_{med_1} \\ \vdots \\ 1 \\ V_{med_n} \end{bmatrix} \right)^{-1} * \begin{bmatrix} 1 & \dots & 1 \\ V_{med_1} & \dots & V_{med_n} \\ 1 & \dots & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} I_{auto_1} \\ \vdots \\ I_{auto_n} \end{bmatrix} \quad (\text{Eq. 5.6})$$

Na Figura 5.4, o Módulo de Autoconsumo do inversor *off grid* do programa computacional CONFORME é apresentado a fim de mostrar o modelo matemático e as medições (curva) e as setes medições do ensaio de autoconsumo.

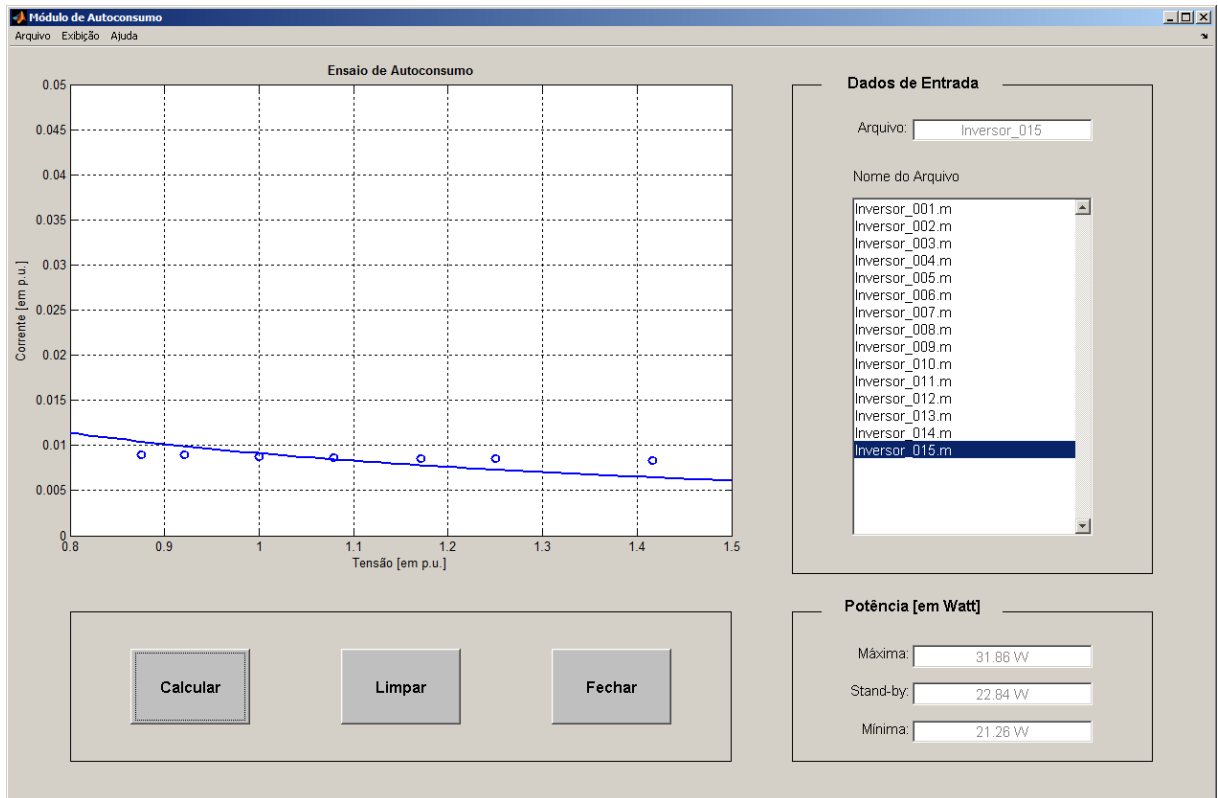


Figura 5.4 – Módulo de Autoconsumo para inversor *off grid* no CONFORME.

Fonte: Elaboração própria

Já para o ensaio de eficiência energética, que é uma exceção, utilizou-se o modelo de Jantsch (1992) dado pela Eq. 2.3 (cf. seção 2.2.3). A fim de adequar ao MMQ, usou-se a Eq. 5.7.

$$Y_{MMQ} = \alpha * X_{med}^2 + \beta * X_{med} + \gamma \quad (\text{Eq. 5.7})$$

Onde,

$$Y_{MMQ} = [y_{MMQ_1} \ y_{MMQ_2} \ y_{MMQ_3} \ \cdots \ y_{MMQ_{n-2}} \ y_{MMQ_{n-1}} \ y_{MMQ_n}]^T$$

y_{MMQ_1} = valor calculado pelo Método dos Mínimos Quadrados na 1ª medição

$\vdots$ $\vdots$ $\vdots$ $\vdots$ $\vdots$ $\vdots$ $\vdots$

y_{MMQ_n} = valor calculado pelo Método dos Mínimos Quadrados na n^a medição

$$X_{MMQ} = \begin{bmatrix} X_{med_1}^2 & X_{med_1} & 1 \\ X_{med_2}^2 & X_{med_2} & 1 \\ X_{med_3}^2 & X_{med_3} & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ X_{med_{n-2}}^2 & X_{med_{n-2}} & 1 \\ X_{med_{n-1}}^2 & X_{med_{n-1}} & 1 \\ X_{med_n}^2 & X_{med_n} & 1 \end{bmatrix}$$

X_{med_1} = valor da 1ª medição da variável do eixo das abscissas

$\vdots$ $\vdots$ $\vdots$ $\vdots$ $\vdots$ $\vdots$

X_{med_n} = valor da n^a medição da variável do eixo das abscissas

A Eq. 5.8 apresenta a formulação geral para calcular os coeficientes α , β e γ pelo Método dos Mínimos Quadrados para cada ensaio.

$$\begin{bmatrix} \alpha \\ \beta \\ \gamma \end{bmatrix} = (X_{MMQ}^T * X_{MMQ})^{-1} * X_{MMQ}^T * Y_{MMQ} \quad (\text{Eq. 5.8})$$

O fator de carregamento (FC) é dado pela relação: $(P_{nom})^{-1} * P_{ca}$. Nesse sentido, os valores de $X_{med} = FC$, $Y_{calc} = FC * \eta^{-1}$ na Eq. 5.7 e na Eq. 5.8, então obtém os coeficientes dados na Eq. 5.9.

$$\begin{bmatrix} \alpha \\ \beta \\ \gamma \end{bmatrix} = \left(\begin{bmatrix} FC_1^2 & \cdots & FC_n^2 \\ FC_1 & \cdots & FC_n \\ 1 & \cdots & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} FC_1^2 & 1 \\ \vdots & \vdots \\ FC_n^2 & 1 \end{bmatrix} \right)^{-1} * \begin{bmatrix} FC_1^2 & \cdots & FC_n^2 \\ FC_1 & \cdots & FC_n \\ 1 & \cdots & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} FC_1 * \eta_1 \\ \vdots \\ FC_n * \eta_n \end{bmatrix} \quad (\text{Eq. 5.9})$$

Na Figura 5.5, o Módulo de Eficiência Energética do inversor *off grid* do programa computacional CONFORME é apresentado a fim de mostrar o modelo matemático e as medições (curva) e as oitos medições do ensaio de eficiência energética em tensão nominal.

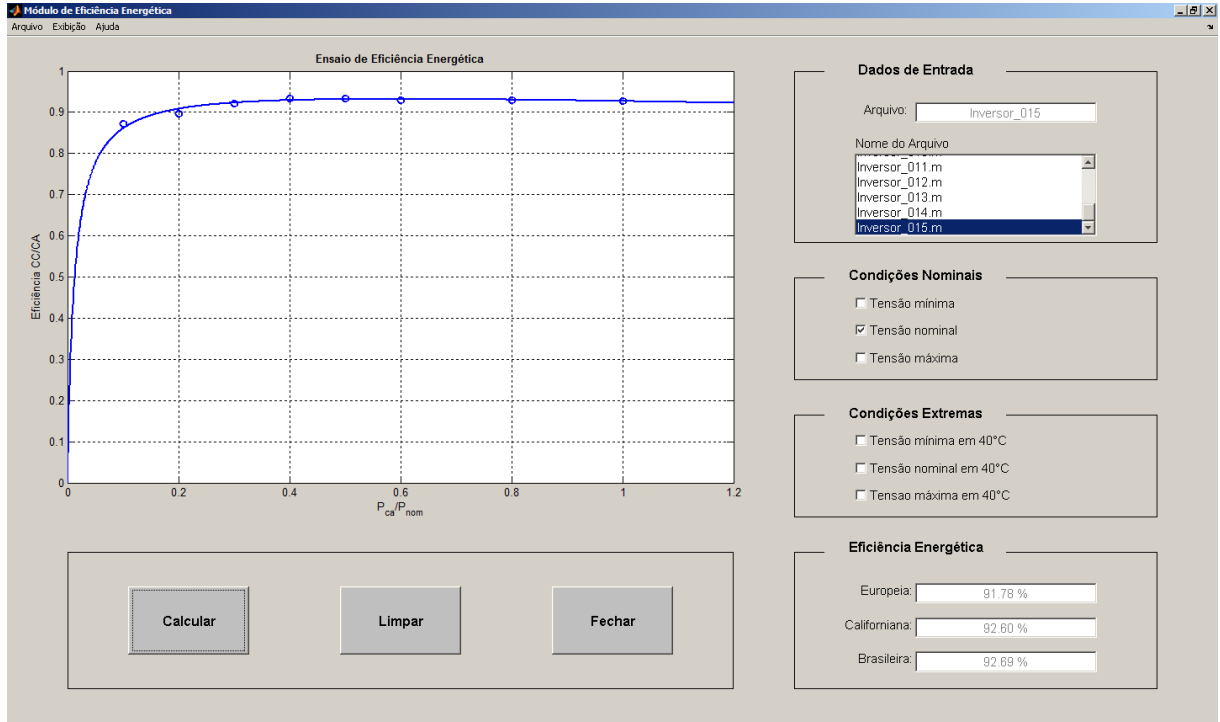


Figura 5.5 – Módulo de Eficiência Energética para inversor *off grid* no CONFORME.

Fonte: Elaboração própria

Por fim, utilizando a Eq. 5.4 na Eq. 5.1 para todos os ensaios (exceto eficiência energética) e usando Eq. 5.7 na Eq. 5.1 para o caso do ensaio da eficiência energética, obtém-se o vetor do erro aleatório ($\mathbf{E}_{\text{calc}}$) na Eq. 5.10.

$$\mathbf{E}_{\text{calc}} = [\varepsilon_a \quad \varepsilon_b \quad \varepsilon_c \quad \varepsilon_d \quad \varepsilon_e \quad \varepsilon_f \quad \varepsilon_g \quad \varepsilon_h \quad \varepsilon_i \quad \varepsilon_j \quad \varepsilon_l \quad \varepsilon_m]^T \quad (\text{Eq. 5.10})$$

Onde, os vetores a seguir estão relacionados com os erros aleatórios:

ε_a = oito medidas do ensaio de autoconsumo para os erros aleatórios;

ε_b = vinte e quatro medidas do ensaio de eficiência energética para os erros aleatórios;

ε_c = vinte e quatro medidas do ensaio de distorção harmônica para os erros aleatórios;

ε_d = vinte e quatro medidas do ensaio de regulação de tensão para os erros aleatórios;

ε_e = vinte e quatro medidas do ensaio de frequência para os erros aleatórios;

ε_f = três medidas do ensaio de sobrecarga para os erros aleatórios;

ε_g = uma medida do ensaio de proteção contra inversão de polaridade para os erros aleatórios;

ε_h = uma medida do ensaio de proteção contra curto-circuito para os erros aleatórios;

ε_i = vinte e quatro medidas do ensaio de eficiência energética em ambiente a 40°C para os erros aleatórios;

ε_j = vinte e quatro medidas do ensaio de distorção harmônica em ambiente a 40°C para os erros aleatórios;

ε_l = vinte e quatro medidas do ensaio de regulação de tensão em ambiente a 40°C para os erros aleatórios;

ε_m = vinte e quatro medidas do ensaio de frequência em ambiente a 40°C para os erros aleatórios.

5.2.5. Cálculos de μ_1 e de μ_2

Os cálculos dos graus de evidência favorável (μ_1) e de evidência contrária (μ_2) dependem do critério de viabilidade e da relação entre o Grau de Certeza (G_C) e o Grau de Incerteza (G_I). Ou seja, revisitando a seção (3.4.3), observam-se as equações de $G_C = \mu_1 - \mu_2$ e de $G_I = \mu_1 + \mu_2 - 1$ (cf. a Eq. 3.12 e a Eq. 3.13). Deve-se então atentar para três considerações expostas a seguir.

Em primeiro lugar, se a soma do erro calculado com o residual for nulo, as proposições $p_i(\mu_1, \mu_2)$ pertencem ao conjunto representado pelo *Segmento Perfeitamente Definido* (cf. Eq. 3.4 da seção 3.4.3) do dispositivo para-analisador; com isso, as medidas do ensaio (Y_{med}) estão norteadas pelos princípios da Lógica Clássica. Caso contrário, as proposições $p_i(\mu_1, \mu_2)$ não satisfazem mais a relação de pertinência antes mencionada. Sendo assim, pode-se deduzir o Grau de Incerteza (G_I) em função dos erros calculados e residuais conforme mostrado na Eq. 5.11.

$$G_I = \varepsilon_{\square(\text{calculado})} + \varepsilon_{\square(\text{sistemático})} \quad (\text{Eq. 5.11})$$

Em segundo lugar, existe uma função do tipo $f: G_C \rightarrow Y_{med}$, onde Y_{med} é a variável do ensaio em questão e G_C é o Grau de Certeza. Por exemplo, a relação entre G_C e Y_{med} no *critério passa-baixa* está representada pelo gráfico da Figura 5.6. Onde, NE é o Nível de Exigência, k é a constante associada ao critério normativo dado pela Portaria INMETRO n° 004/2011 (INMETRO, 2011) e α é o coeficiente angular e β é o coeficiente linear da equação da reta entre o PONTO 1 (1,00, 0,00) passando pelo PONTO 2 (NE, k) e alcançando o PONTO 3 (0,00, β).

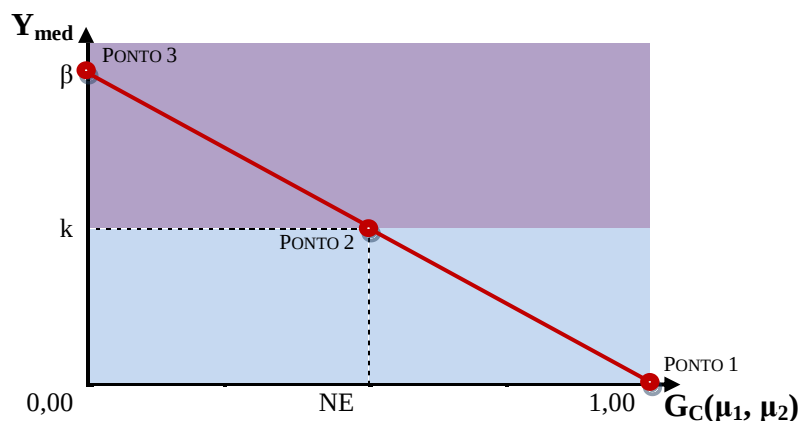


Figura 5.6 – Gráfico do *critério passa-baixa*.
Fonte: Elaboração própria

Já a relação entre G_C e Y_{med} no *critério passa-alta* está representada pelo gráfico da Figura 5.7. Onde, NE é o Nível de Exigência, k é a constante associada ao critério normativo dado pela Portaria INMETRO n° 004/2011 (INMETRO, 2011), Y_N é a variável Y (ou aqui Y_{med}) no seu valor nominal no sistema por unidade e α é o coeficiente angular e β é o coeficiente linear da equação da reta entre o PONTO 1 (0,00, β) passando pelo PONTO 2 (NE, k) e alcançando o PONTO 3 (1,00, Y_N).

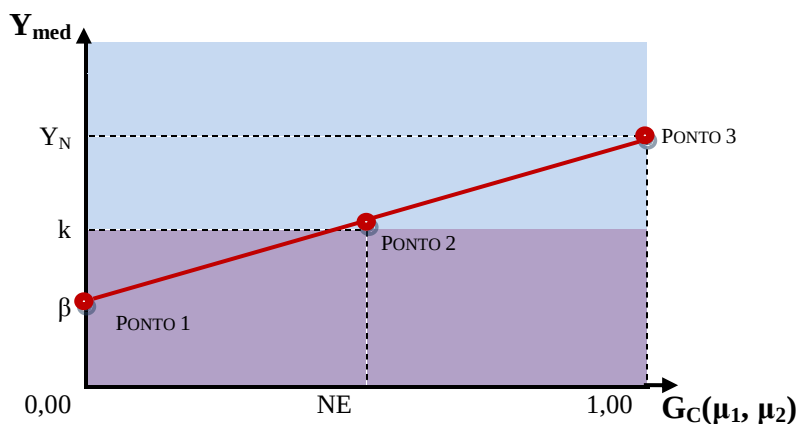


Figura 5.7 – Gráfico do *critério passa-alta*.
Fonte: Elaboração própria

E por último, a relação entre G_C e Y_{med} no *critério passa-faixa* está representada pelo gráfico da Figura 5.8. De forma análoga, NE é o Nível de Exigência, $k_{máx}$ e $k_{mín}$ são os limites máximo e mínimo respectivamente do critério normativo dado pela Portaria INMETRO n° 004/2011 (INMETRO, 2011) e Y_N é a variável Y_{med} em *p.u.*. Percebe-se que há duas equações da reta: a FUNÇÃO 1 é dada pelos coeficientes angular (α_1) e linear (β_1) entre o PONTO 1 (0,00, β_1) passando pelo PONTO 2 (NE, $k_{mín}$) e alcançando o PONTO 3 (1,00, Y_N) e (2) a FUNÇÃO 2 é dada pelos coeficientes angular (α_2) e linear (β_2) entre o PONTO 3 (1,00, Y_N) passando pelo PONTO 4 (NE, $k_{máx}$) e alcançando o PONTO 5 (0,00, β_2).

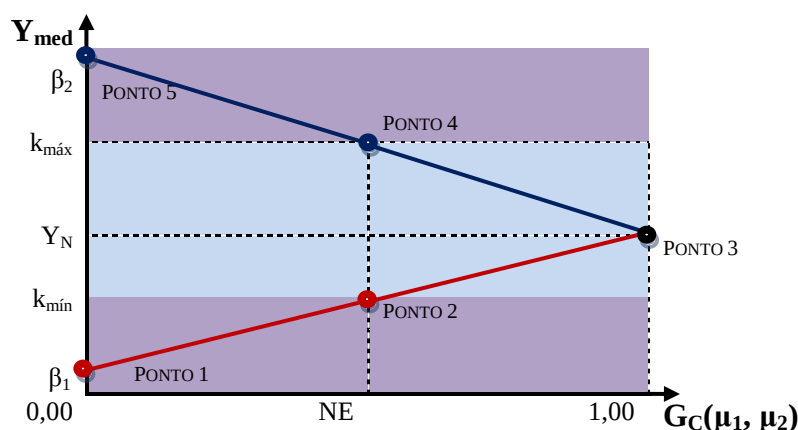


Figura 5.8 – Gráfico do *critério passa-faixa*.

Fonte: Elaboração própria

Na Tabela 5.8, obtém o G_C para cada critério de viabilidade.

Tabela 5.8 – Os três critérios de viabilidade e o G_C correspondente nos intervalos limítrofes de Y_{med} .

CRITÉRIO DE VIABILIDADE	GRAU DE CERTEZA (G_C)
<i>Passa-baixa</i>	$G_C = 1 - \left(\frac{1 - NE}{k} \right) * Y_{med} \Big|_{0 \leq Y_{med} \leq \frac{2*k}{(1-NE)}}$
<i>Passa-alta</i>	$G_C = \frac{Y_{med} * (NE - 1) - (Y_N * NE - k)}{k - Y_N} \Big|_{\frac{Y_N * (1+NE) - 2*k}{NE-1} \leq Y_{med} \leq Y_N}$
<i>Passa-faixa</i>	$G_C = \frac{Y_{med} * (NE - 1) - (Y_N * NE - k_{mín})}{k_{mín} - Y_N} \Big|_{\frac{Y_N * (1-NE) - 2*k_{mín}}{NE-1} \leq Y_{med} \leq Y_N}$ $G_C = \frac{Y_{med} * (1 - NE) - (k_{máx} - Y_N * NE)}{Y_N - k_{máx}} \Big|_{Y_N \leq Y_{med} \leq \frac{2*k_{máx} - Y_N * (1+NE)}{1-NE}}$

Fonte: Elaboração própria.

Em terceiro lugar, calculam-se as duzentas e cinco anotações (μ_1, μ_2) das proposições atômicas p_i . As anotações mencionadas estão generalizadas na Eq. 5.12, onde G_I é dado pela Eq. 5.11 e G_C é dado pela formulação da Tabela 5.8 de acordo com os critérios de viabilidade e normativo.

$$\begin{cases} \mu_1 = \frac{1}{2} * (1 + G_I + G_C) \\ \mu_2 = \frac{1}{2} * (1 + G_I - G_C) \end{cases} \quad (\text{Eq. 5.12})$$

5.2.6. Pesos de $F_{\square}$ ($P_{\square}$)

Os doze ensaios de conformidade do inversor *off grid*, que são os doze fatores de influências, podem receber um peso denominado de peso de $F_{\square}$ e simbolizado por $P_{\square} = \{P_A, P_B, P_C, P_D, P_E, P_F, P_G, P_H, P_I, P_J, P_L, P_M\}^T$. Os pesos de $F_{\square}$ podem priorizar um fator de influência em detrimento de outro. Esta flexibilidade mostra a possibilidade de estudos com ênfase em determinado fator de influência. Nesta dissertação, há a possibilidade de alterar o conjunto $P_{\square}$, todavia utilizou pesos unitários, ou seja, todos os fatores de influência têm a mesma contribuição na avaliação da conformidade. Isto significa que, $P_A = P_B = P_C = P_D = P_E = P_F = P_G = P_H = P_I = P_J = P_L = P_M = 1$, então, $P_{\square} = \{1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1\}^T$.

5.2.7. Banco de dados dos inversores *off grid*

Nesta dissertação, o banco de dados é a última etapa do pré-processamento. Não houve a necessidade de pesquisa de campo, pois o interesse aqui é nas seções de influência $S_{\square 1} = \text{“Conforme”}$ para os dozes ensaios.

A elaboração do banco de dados dos inversores *off grid* segue o padrão matricial, onde as linhas são as proposições (p_i) e as colunas são o grau de evidência favorável e o grau de evidência contrária para uma dada proposição de um inversor. Por exemplo, a notação $\mu_{1a1(\text{inv}1)}$ denota o grau de evidência favorável da proposição a_1 correspondente ao inversor 1. De modo semelhante, a notação $\mu_{2a1(\text{inv}1)}$ denota o grau de evidência contrária da proposição a_1 correspondente ao inversor 1 (cf. Tabela 5.9).

Nesse sentido, o banco de dados dos inversores *off grid* utilizado nesta dissertação é uma matriz 205×30 , ou seja, há duzentas e cinco linhas relativas às proposições dos ensaios 1 a 12 e quinze inversores ensaiados com seus graus de evidências favorável (colunas ímpares) e contrária (colunas pares). As linhas do banco de dados são fixadas, pois referem os

ensaios do inversor segundo a Portaria INMETRO n° 004/2011 (INMETRO, 2011). Entretanto, as colunas do banco de dados não são fixadas podendo assim ensaiar mais inversores conforme a necessidade de estudos específicos. Na Tabela 5.9, destaca-se a representação matricial do banco de dados dos inversores *off grid*.

Tabela 5.9 – Representação matricial do banco de dados do inversor *off grid*.

$F_{\square}$	$P_{\square}$	p_i	INVERSOR 1	INVERSOR 2	....	INVERSOR 14	INVERSOR 15				
F_A	P_A	a_1	$\mu_{1a1}(\text{inv1})$	$\mu_{2a1}(\text{inv1})$	$\mu_{1a1}(\text{inv2})$	$\mu_{2a1}(\text{inv2})$	....	$\mu_{1a1}(\text{inv14})$	$\mu_{2a1}(\text{inv14})$	$\mu_{1a1}(\text{inv15})$	$\mu_{2a1}(\text{inv15})$
		$\vdots$									
		a_8	$\mu_{1a8}(\text{inv1})$	$\mu_{2a8}(\text{inv1})$	$\mu_{1a8}(\text{inv2})$	$\mu_{2a8}(\text{inv2})$	....	$\mu_{1a8}(\text{inv14})$	$\mu_{2a8}(\text{inv14})$	$\mu_{1a8}(\text{inv15})$	$\mu_{2a8}(\text{inv15})$
		b_1	$\mu_{1b1}(\text{inv1})$	$\mu_{2b1}(\text{inv1})$	$\mu_{1b1}(\text{inv2})$	$\mu_{2b1}(\text{inv2})$	....	$\mu_{1b1}(\text{inv14})$	$\mu_{2b1}(\text{inv14})$	$\mu_{1b1}(\text{inv15})$	$\mu_{2b1}(\text{inv15})$
F_B	P_B	$\vdots$									
		b_{24}	$\mu_{1b24}(\text{inv1})$	$\mu_{2b24}(\text{inv1})$	$\mu_{1b24}(\text{inv2})$	$\mu_{2b24}(\text{inv2})$	....	$\mu_{1b24}(\text{inv14})$	$\mu_{2b24}(\text{inv14})$	$\mu_{1b24}(\text{inv15})$	$\mu_{2b24}(\text{inv15})$
F_C	P_C	c_1	$\mu_{1c1}(\text{inv1})$	$\mu_{2c1}(\text{inv1})$	$\mu_{1c1}(\text{inv2})$	$\mu_{2c1}(\text{inv2})$	....	$\mu_{1c1}(\text{inv14})$	$\mu_{2c1}(\text{inv14})$	$\mu_{1c1}(\text{inv15})$	$\mu_{2c1}(\text{inv15})$
		$\vdots$									
		c_{24}	$\mu_{1c24}(\text{inv1})$	$\mu_{2c24}(\text{inv1})$	$\mu_{1c24}(\text{inv2})$	$\mu_{2c24}(\text{inv2})$	....	$\mu_{1c24}(\text{inv14})$	$\mu_{2c24}(\text{inv14})$	$\mu_{1c24}(\text{inv15})$	$\mu_{2c24}(\text{inv15})$
		d_1	$\mu_{1d1}(\text{inv1})$	$\mu_{2d1}(\text{inv1})$	$\mu_{1d1}(\text{inv2})$	$\mu_{2d1}(\text{inv2})$	....	$\mu_{1d1}(\text{inv14})$	$\mu_{2d1}(\text{inv14})$	$\mu_{1d1}(\text{inv15})$	$\mu_{2d1}(\text{inv15})$
F_D	P_D	$\vdots$									
		d_{24}	$\mu_{1d24}(\text{inv1})$	$\mu_{2d24}(\text{inv1})$	$\mu_{1d24}(\text{inv2})$	$\mu_{2d24}(\text{inv2})$	....	$\mu_{1d24}(\text{inv14})$	$\mu_{2d24}(\text{inv14})$	$\mu_{1d24}(\text{inv15})$	$\mu_{2d24}(\text{inv15})$
F_E	P_E	e_1	$\mu_{1e1}(\text{inv1})$	$\mu_{2e1}(\text{inv1})$	$\mu_{1e1}(\text{inv2})$	$\mu_{2e1}(\text{inv2})$	....	$\mu_{1e1}(\text{inv14})$	$\mu_{2e1}(\text{inv14})$	$\mu_{1e1}(\text{inv15})$	$\mu_{2e1}(\text{inv15})$
		$\vdots$									
		e_{24}	$\mu_{1e24}(\text{inv1})$	$\mu_{2e24}(\text{inv1})$	$\mu_{1e24}(\text{inv2})$	$\mu_{2e24}(\text{inv2})$	....	$\mu_{1e24}(\text{inv14})$	$\mu_{2e24}(\text{inv14})$	$\mu_{1e24}(\text{inv15})$	$\mu_{2e24}(\text{inv15})$
		f_1	$\mu_{1f1}(\text{inv1})$	$\mu_{2f1}(\text{inv1})$	$\mu_{1f1}(\text{inv2})$	$\mu_{2f1}(\text{inv2})$	....	$\mu_{1f1}(\text{inv14})$	$\mu_{2f1}(\text{inv14})$	$\mu_{1f1}(\text{inv15})$	$\mu_{2f1}(\text{inv15})$
F_F	P_F	f_2	$\mu_{1f2}(\text{inv1})$	$\mu_{2f2}(\text{inv1})$	$\mu_{1f2}(\text{inv2})$	$\mu_{2f2}(\text{inv2})$	....	$\mu_{1f2}(\text{inv14})$	$\mu_{2f2}(\text{inv14})$	$\mu_{1f2}(\text{inv15})$	$\mu_{2f2}(\text{inv15})$
		f_3	$\mu_{1f3}(\text{inv1})$	$\mu_{2f3}(\text{inv1})$	$\mu_{1f3}(\text{inv2})$	$\mu_{2f3}(\text{inv2})$	....	$\mu_{1f3}(\text{inv14})$	$\mu_{2f3}(\text{inv14})$	$\mu_{1f3}(\text{inv15})$	$\mu_{2f3}(\text{inv15})$
F_G	P_G	g_1	$\mu_{1g1}(\text{inv1})$	$\mu_{2g1}(\text{inv1})$	$\mu_{1g1}(\text{inv2})$	$\mu_{2g1}(\text{inv2})$	....	$\mu_{1g1}(\text{inv14})$	$\mu_{2g1}(\text{inv14})$	$\mu_{1g1}(\text{inv15})$	$\mu_{2g1}(\text{inv15})$
F_H	P_H	h_1	$\mu_{1h1}(\text{inv1})$	$\mu_{2h1}(\text{inv1})$	$\mu_{1h1}(\text{inv2})$	$\mu_{2h1}(\text{inv2})$	....	$\mu_{1h1}(\text{inv14})$	$\mu_{2h1}(\text{inv14})$	$\mu_{1h1}(\text{inv15})$	$\mu_{2h1}(\text{inv15})$
F_I	P_I	i_1	$\mu_{1i1}(\text{inv1})$	$\mu_{2i1}(\text{inv1})$	$\mu_{1i1}(\text{inv2})$	$\mu_{2i1}(\text{inv2})$	....	$\mu_{1i1}(\text{inv14})$	$\mu_{2i1}(\text{inv14})$	$\mu_{1i1}(\text{inv15})$	$\mu_{2i1}(\text{inv15})$
		$\vdots$									
		i_{24}	$\mu_{1i24}(\text{inv1})$	$\mu_{2i24}(\text{inv1})$	$\mu_{1i24}(\text{inv2})$	$\mu_{2i24}(\text{inv2})$	....	$\mu_{1i24}(\text{inv14})$	$\mu_{2i24}(\text{inv14})$	$\mu_{1i24}(\text{inv15})$	$\mu_{2i24}(\text{inv15})$
		j_1	$\mu_{1j1}(\text{inv1})$	$\mu_{2j1}(\text{inv1})$	$\mu_{1j1}(\text{inv2})$	$\mu_{2j1}(\text{inv2})$	....	$\mu_{1j1}(\text{inv14})$	$\mu_{2j1}(\text{inv14})$	$\mu_{1j1}(\text{inv15})$	$\mu_{2j1}(\text{inv15})$
F_J	P_J	$\vdots$									
		j_{24}	$\mu_{1j24}(\text{inv1})$	$\mu_{2j24}(\text{inv1})$	$\mu_{1j24}(\text{inv2})$	$\mu_{2j24}(\text{inv2})$	....	$\mu_{1j24}(\text{inv14})$	$\mu_{2j24}(\text{inv14})$	$\mu_{1j24}(\text{inv15})$	$\mu_{2j24}(\text{inv15})$
F_L	P_L	l_1	$\mu_{1l1}(\text{inv1})$	$\mu_{2l1}(\text{inv1})$	$\mu_{1l1}(\text{inv2})$	$\mu_{2l1}(\text{inv2})$	....	$\mu_{1l1}(\text{inv14})$	$\mu_{2l1}(\text{inv14})$	$\mu_{1l1}(\text{inv15})$	$\mu_{2l1}(\text{inv15})$
		$\vdots$									
		l_{24}	$\mu_{1l24}(\text{inv1})$	$\mu_{2l24}(\text{inv1})$	$\mu_{1l24}(\text{inv2})$	$\mu_{2l24}(\text{inv2})$	....	$\mu_{1l24}(\text{inv14})$	$\mu_{2l24}(\text{inv14})$	$\mu_{1l24}(\text{inv15})$	$\mu_{2l24}(\text{inv15})$
		m_1	$\mu_{1m1}(\text{inv1})$	$\mu_{2m1}(\text{inv1})$	$\mu_{1m1}(\text{inv2})$	$\mu_{2m1}(\text{inv2})$	....	$\mu_{1m1}(\text{inv14})$	$\mu_{2m1}(\text{inv14})$	$\mu_{1m1}(\text{inv15})$	$\mu_{2m1}(\text{inv15})$
F_M	P_M	$\vdots$									
		m_{24}	$\mu_{1m24}(\text{inv1})$	$\mu_{2m24}(\text{inv1})$	$\mu_{1m24}(\text{inv2})$	$\mu_{2m24}(\text{inv2})$	....	$\mu_{1m24}(\text{inv14})$	$\mu_{2m24}(\text{inv14})$	$\mu_{1m24}(\text{inv15})$	$\mu_{2m24}(\text{inv15})$

Fonte: Elaboração própria.

5.3. Processamento

Nesta seção (5.3), os cálculos das anotações do banco de dados são efetuados a fim de mostrar graficamente no dispositivo para-analisador. Este procedimento se divide em duas etapas, a saber: (1) calcular as anotações resultantes e (2) calcular o baricentro das anotações resultantes. A Figura 5.9 mostra o diagrama em blocos do processador do MPDM.

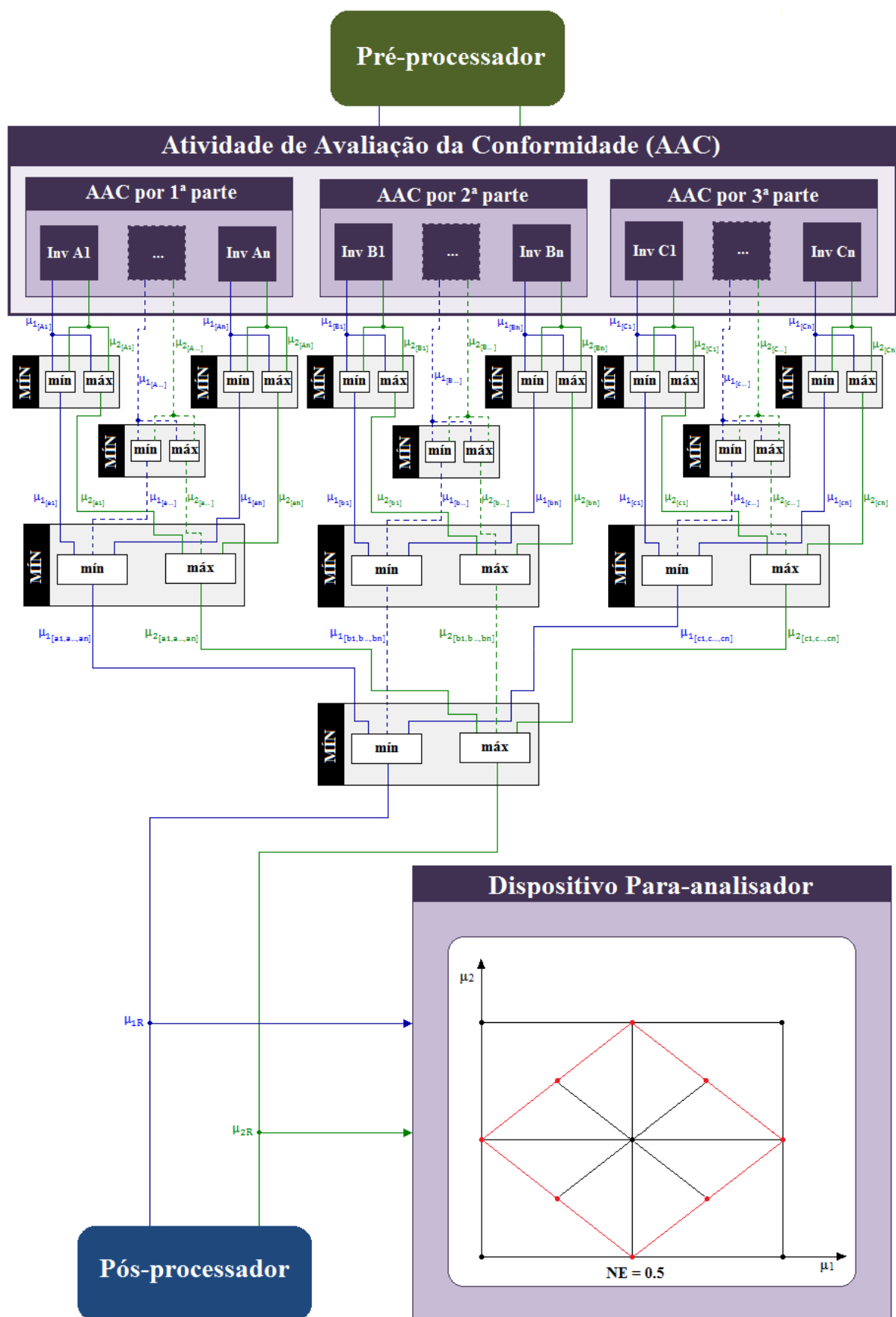


Figura 5.9 – Diagrama de blocos do processador do MPDM do CONFORME para inversores *off grid*.
Fonte: Elaboração própria

É oportuno definir alguns termos utilizados por especialistas em avaliação da conformidade encontrados na norma técnica ABNT NBR ISO / IEC 17.000 (2005) intitulada “Avaliação de conformidade – Vocabulário e princípios gerais”. Os quatro vocábulos conceituados a seguir estão presentes no diagrama de blocos do processador do MPDM apresentado na Figura 5.9.

2.1

avaliação de conformidade

demonstração de que os requisitos especificados (3.1) relativos a um produto (3.3), processo, sistema, pessoa ou organismo são atendidos

NOTA 1: O domínio da avaliação de conformidade inclui atividades definidas em outros locais nesta Norma, tais como ensaio (4.2), inspeção (4.3) e certificação (5.5), bem como acreditação (5.6) de organismos de avaliação de conformidade (2.5).

NOTA 2: A expressão “objeto de avaliação de conformidade” ou “objeto” é usada nesta Norma para abranger qualquer material, produto, instalação, processo, sistema, pessoa ou organismo particulares aos quais a avaliação de conformidade é aplicada. Um serviço é coberto pela definição de um produto (ver Nota 1 em 3.3).

2.2

atividade de avaliação de conformidade por primeira parte

atividade de avaliação de conformidade realizada pela pessoa ou organização que fornece o objeto.

NOTA: As denominações primeira, segunda e terceira parte, utilizadas para caracterizar atividades de avaliação de conformidade em relação a um certo objeto, não devem ser confundidas com a identificação jurídica das partes relevantes de um contrato.

2.3

atividade de avaliação de conformidade por segunda parte

atividade de avaliação de conformidade realizada por uma pessoa ou uma organização que tem interesse de usuário no objeto.

NOTA 1: Pessoas ou organizações que realizam atividades de avaliação de conformidade por segunda parte incluem, por exemplo, compradores ou usuários de produtos, ou clientes potenciais que procuram confiar em um sistema de gestão do fornecedor, ou organizações que representam esses interesses.

NOTA 2: Ver Nota em 2.2.

2.4

atividade de avaliação de conformidade por terceira parte

atividade de avaliação de conformidade realizada por uma pessoa ou uma organização que é independente da pessoa ou da organização que fornece o objeto, e de interesse do usuário nesse objeto.

NOTA 1: Critérios relativos à independência dos organismos de avaliação de conformidade e dos organismos de acreditação são fornecidos nas Normas e Guias aplicáveis às suas atividades (ver Bibliografia).

NOTA 2: Ver Nota em 2.2.

Com essas definições, registra-se que, apesar do programa computacional CONFORME suportar as Atividades de Avaliação de Conformidade de 1ª, 2ª e 3ª partes, o Selo Procel utiliza-se somente os Laboratórios de 3ª parte (i.e. AAC de 3ª parte). Sendo assim, o diagrama de blocos do processador, nesta dissertação, é representado pela Figura 5.10.

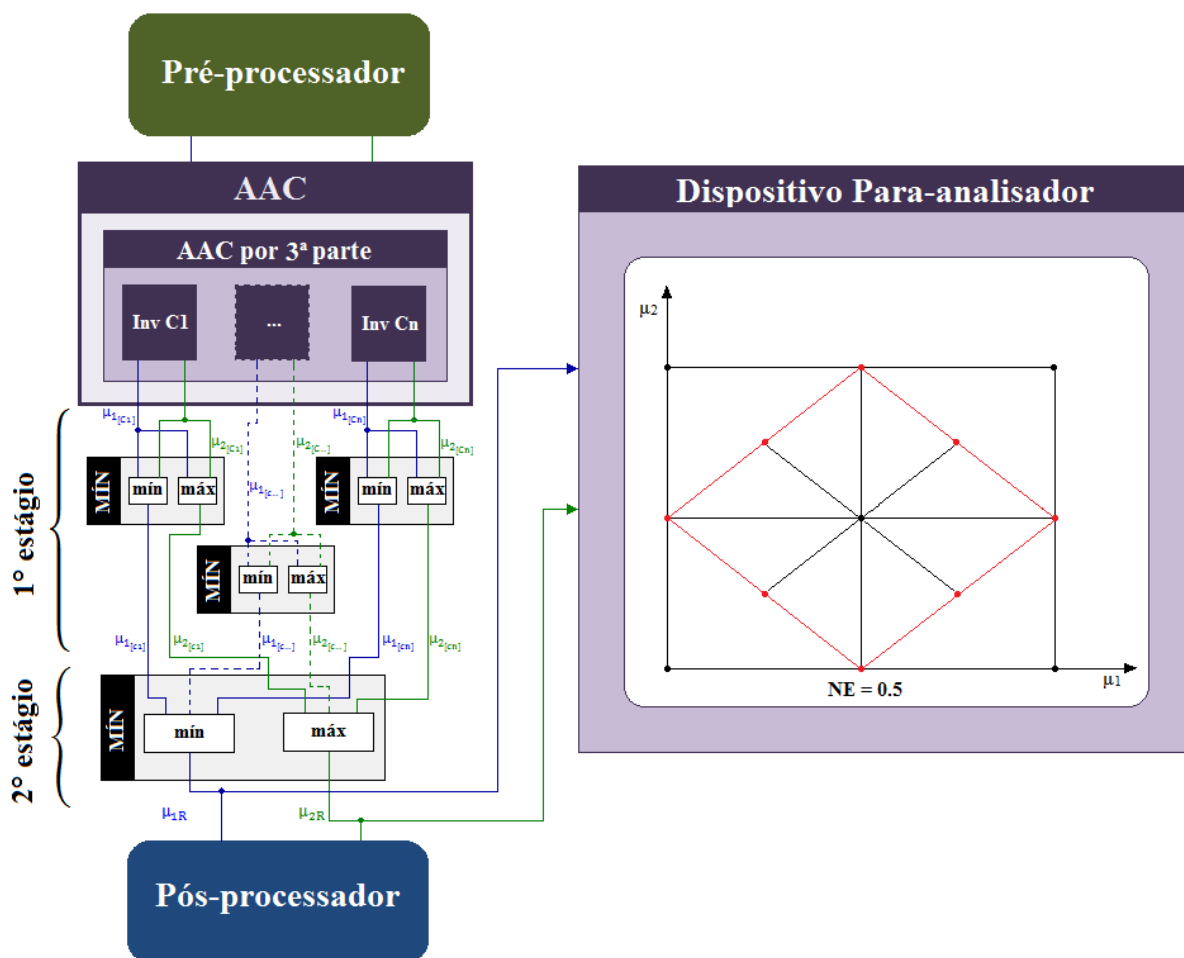


Figura 5.10 – Diagrama de blocos do processador do MPDM para inversores *off grid* com AAC de 3ª parte.
Fonte: Elaboração própria.

5.3.1. As anotações para estudo de viabilidade por ensaio

O cálculo das anotações se efetua pelo operador lógico MÍN. A justificativa do operador mencionado se deve pela localização das medidas dos ensaios no dispositivo para-analisador. Estas medidas convertidas em anotações do tipo (μ_1, μ_2) se apresentam ou no *Segmento Perfeitamente Definido* (SPD) – (cf. Figura 3.9) ou afastado do SPD pelo erro calculado correspondente. Com isso, a proposição atômica do tipo $p_i(\mu_1, \mu_2)$ mais crítica é aquela que apresenta o menor Grau de Certeza. No dispositivo para-analisador, existe uma linha limítrofe regida pelo valor atribuído ao Nível de Exigência (NE), do qual o valor inicial é $NE = 0.5$. A justificativa do uso do operador MÍN torna-se evidente por meio dos gráficos dos ensaios de inversores *off grid* gerados com o auxílio do programa computacional CONFORME.

É digno de nota que, o pré-processador é finalizado com a elaboração do banco de dados do MPDM. A entrada do processador é a leitura deste banco de dados. Na Figura 5.7, é observado que há uma representação simbólica para os inversores ensaiados nos AAC de 3ª parte. Onde, a nomenclatura utilizada é “Inv C₁” para o primeiro inversor *off grid* até o “Inv C_n” para o *n*-ésimo inversor *off grid*. Nesta dissertação, foram utilizados quinze inversores *off grid* (*n* = 15). A letra “C” se refere ao AAC de 3ª parte assim como as letras “A” e “B” para os AACs de 1ª e 2ª partes (estes dois não são objetos de estudo nesta dissertação) respectivamente. As anotações $\mu_{1[C1]}$ e $\mu_{2[C1]}$ são os graus de evidências favorável e contrária do inversor *off grid* 1 denotados pelas colunas 1 e 2 respectivamente do banco de dados (cf. Tabela 5.9). De forma análoga, os graus de evidências $\mu_{1[C15]}$ e $\mu_{2[C15]}$ referem ao inversor *off grid* 15 e estão associados as colunas 29 e 30 respectivamente. Antes de executar o cálculo das anotações por ensaio é necessário fazer a partição desses pares de colunas mencionados (i.e. a classificação por inversor) por Fator de Influência $F_{\square}$ (i.e. a classificação por ensaio). Isto é, as partições da matriz do banco de dados do MPMD para os ensaios dos inversores *off grid* 1 a 15 são mostradas a seguir.

	INVERSOR 1	INVERSOR 2	...	INVERSOR 15
F_A	$\begin{bmatrix} \mu_{1a1_{inv\ 1}} & \mu_{2a1_{inv\ 1}} \\ \vdots & \vdots \\ \mu_{1a8_{inv\ 1}} & \mu_{2a8_{inv\ 1}} \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} \mu_{1a1_{inv\ 2}} & \mu_{2a1_{inv\ 2}} \\ \vdots & \vdots \\ \mu_{1a8_{inv\ 2}} & \mu_{2a8_{inv\ 2}} \end{bmatrix}$	...	$\begin{bmatrix} \mu_{1a1_{inv\ 15}} & \mu_{2a1_{inv\ 15}} \\ \vdots & \vdots \\ \mu_{1a8_{inv\ 15}} & \mu_{2a8_{inv\ 15}} \end{bmatrix}$
F_B	$\begin{bmatrix} \mu_{1b1_{inv\ 1}} & \mu_{2b1_{inv\ 1}} \\ \vdots & \vdots \\ \mu_{1b24_{inv\ 1}} & \mu_{2b24_{inv\ 1}} \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} \mu_{1b1_{inv\ 2}} & \mu_{2b1_{inv\ 2}} \\ \vdots & \vdots \\ \mu_{1b24_{inv\ 2}} & \mu_{2b24_{inv\ 2}} \end{bmatrix}$	...	$\begin{bmatrix} \mu_{1b1_{inv\ 15}} & \mu_{2b1_{inv\ 15}} \\ \vdots & \vdots \\ \mu_{1b24_{inv\ 15}} & \mu_{2b24_{inv\ 15}} \end{bmatrix}$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$
F_L	$\begin{bmatrix} \mu_{1l1_{inv\ 1}} & \mu_{2l1_{inv\ 1}} \\ \vdots & \vdots \\ \mu_{1l24_{inv\ 1}} & \mu_{2l24_{inv\ 1}} \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} \mu_{1l1_{inv\ 2}} & \mu_{2l1_{inv\ 2}} \\ \vdots & \vdots \\ \mu_{1l24_{inv\ 2}} & \mu_{2l24_{inv\ 2}} \end{bmatrix}$	...	$\begin{bmatrix} \mu_{1l1_{inv\ 15}} & \mu_{2l1_{inv\ 15}} \\ \vdots & \vdots \\ \mu_{1l24_{inv\ 15}} & \mu_{2l24_{inv\ 15}} \end{bmatrix}$
F_M	$\begin{bmatrix} \mu_{1m1_{inv\ 1}} & \mu_{2m1_{inv\ 1}} \\ \vdots & \vdots \\ \mu_{1m24_{inv\ 1}} & \mu_{2m8_{inv\ 1}} \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} \mu_{1m1_{inv\ 2}} & \mu_{2m1_{inv\ 2}} \\ \vdots & \vdots \\ \mu_{1m24_{inv\ 2}} & \mu_{2m24_{inv\ 2}} \end{bmatrix}$	...	$\begin{bmatrix} \mu_{1m1_{inv\ 15}} & \mu_{2m1_{inv\ 15}} \\ \vdots & \vdots \\ \mu_{1m24_{inv\ 15}} & \mu_{2m24_{inv\ 15}} \end{bmatrix}$

Nas seções (5.3.1.1) a (5.3.1.7), os resultados obtidos dos ensaios são mostrados com o uso do programa computacional CONFORME.

É oportuno registrar que, na Figura 5.10, há dois estágios associados ao operador lógico MÍN. Por exemplo, para calcular o Grau de Certeza mínimo no primeiro estágio, os operadores lógicos seguem a visualização da Figura 5.10, ou seja, utilizam-se os operadores MÍN (cf. primeiro estágio da Figura 5.10). Com isso, obtém-se o Grau de Certeza associado ao operador MÍN, isto é, o Grau de Certeza mais crítico do ensaio analisado de cada inversor. Além disso, pode-se visualizar o valor mais crítico do mais crítico, que, nesse caso, é o menor Grau de Certeza mínimo (menor $G_{C(mín)}$). Enquanto, o menos crítico do mais crítico é o maior Grau de Certeza mínimo (maior $G_{C(mín)}$).

Uma segunda observação refere-se ao uso do operador lógico MÁX no primeiro estágio. Este operador não aparece na Figura 5.10. Todavia, se permutar os operadores MÍN para operadores MÁX no primeiro estágio (cf. Figura 5.10) obtêm-se os resultados associados ao Grau de Certeza máximo de cada inversor para cada ensaio analisado desse estágio. Ou seja, o Grau de Certeza menos crítico do ensaio analisado de cada inversor. Com isso, pode-se visualizar o mais crítico do menos crítico, que, nesse caso, é o menor Grau de Certeza máximo (menor $G_{C(máx)}$) e o menos crítico do menos crítico (maior $G_{C(máx)}$).

5.3.1.1. Resultados do ensaio de autoconsumo

Deve-se observar que, todos os quinze inversores apresentaram uma forma de onda senoidal e isto está relacionado à proposição $a_8(1,00; 0,00)$. Já as proposições atômicas $a_1(\mu_{1a1} \mu_{2a1})$ a $a_7(\mu_{1a7} \mu_{2a7})$ representam as medidas de $f: V_{med} \rightarrow I_{med}$ do ensaio do autoconsumo, onde V_{med} e I_{med} são as tensões e correntes medidas respectivamente. Sob o aspecto da identificação das proposições no dispositivo para-analisador, a ausência da proposição $a_8(1,00; 0,00)$ nos permite uma melhor visualização das proposições $a_1(\mu_{1a1}; \mu_{2a1})$ a $a_7(\mu_{1a7}; \mu_{2a7})$ nos resultados gráficos. Sob o aspecto das medições, a proposição $a_8(1,00; 0,00)$ não pertence ao conjunto de medidas de $f: V_{med} \rightarrow I_{med}$ do ensaio do autoconsumo. Adotou-se que, a análise dos resultados de autoconsumo seja associada às medições de $V_{med} \times I_{med}$, onde o Grau de Certeza é o G_C das medições do ensaio de autoconsumo. Pelos dois motivos mencionados, quando foram ampliados os resultados gráficos no dispositivo para-analisador julgou-se não necessário mostrar $a_8(1,00; 0,00)$, uma vez que este sempre se localiza no mesmo ponto e seu valor está desatrelado do Grau de Certeza, todavia esta proposição é condição para conformidade do ensaio avaliado.

No ensaio de autoconsumo, são apresentados os valores críticos do Grau de Certeza quando estes são associados aos operadores lógicos MÍN do primeiro estágio. Esses valores se

dividem em: (1) valor menos crítico do Grau de Certeza mínimo (i.e. maior $G_{C(\min)}$) e (2) valor mais crítico do Grau de Certeza mínimo (i.e. menor $G_{C(\min)}$).

O valor menos crítico do Grau de Certeza mínimo do ensaio de autoconsumo encontra-se no inversor *off grid* 15 (i.e. maior $G_{C(\min)} = 0,850$) conforme observado na Figura 5.11. Percebe-se que, a proposição $a_7(0,925; 0,074)$ do inversor *off grid* 15 resulta no valor de maior Grau de Certeza mínimo $G_{C(\min)} = \mu_{1a_7(\min)} - \mu_{2a_7(\max)} = 0,925 - 0,074 \approx 0,850$ (cf. Figura 5.11b). Aqui, vale ressaltar mais uma vez, que $a_8(1,00; 0,00)$ não está incluído no cálculo pelos motivos já apresentados.

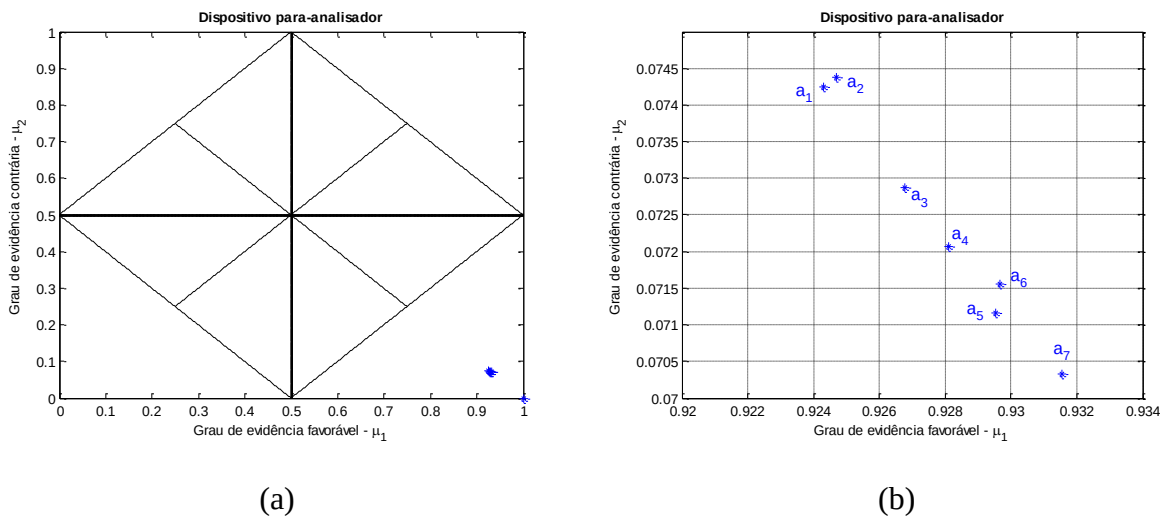


Figura 5.11 – Resultados gráficos para o ensaio de autoconsumo do inversor *off grid* 15: (a) no dispositivo para-analisador e (b) ampliando a área do dispositivo para-analisador.

Fonte: Elaboração própria.

O valor mais crítico do Grau de Certeza mínimo do ensaio de autoconsumo (i.e. menor $G_{C(\min)} = 0,523$) pertence ao inversor *off grid* 07 mostrado na Figura 5.12. Percebe-se, na Figura 5.12, a proposição $a_2(0,762, 0,239)$ está mais próxima da linha limítrofe do Nível de Exigência 0,50. Onde, para o inversor *off grid* 07 o Grau de Certeza mínimo é $G_{C(\min)} = \mu_{1a_2(\min)} - \mu_{2a_2(\max)} = 0,762 - 0,239 \approx 0,523$ (cf. Figura 5.12b).

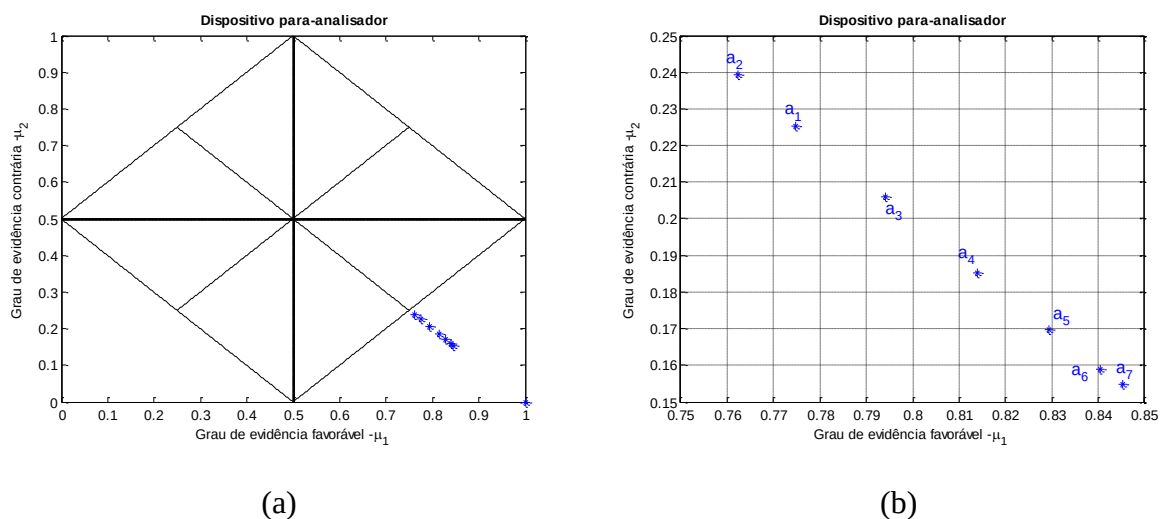


Figura 5.12 – Resultados gráficos para o ensaio de autoconsumo do inversor *off grid* 07: (a) no dispositivo para-analisador e (b) ampliando a área do dispositivo para-analisador.

Fonte: Elaboração própria.

Já o resultado do ensaio de autoconsumo para o Grau de Certeza mínimo ($G_{C(\text{mín})}$) é apresentado na Figura 5.13, cujas proposições atômicas são do tipo $p_i(\mu_{1a\Box}; \mu_{2a\Box})$ para os inversores *off grid* 1 a 15 do ensaio de autoconsumo. Ou seja, foram calculados os quinze $G_{C(\text{mín})}$ relativos aos quinze inversores e a partir dessas informações foram encontrados os valores de maior $G_{C(\text{mín})}$ e de menor $G_{C(\text{mín})}$. Esse cálculo é realizado pelo operador lógico MÍN do segundo estágio da Figura 5.10.

Sobre a Figura 5.13a, o símbolo $\square$ é o ponto de valor mais crítico do Grau de Certeza mínimo (i.e. menor $G_{C(\text{mín})} = 0,523$) e o símbolo $\circ$ é o ponto de valor menos crítico do Grau de Certeza mínimo (i.e. maior $G_{C(\text{mín})} = 0,850$). Esse cálculo também foi executado para o operador lógico MÁX, que está associado ao Grau de Certeza máximo do primeiro estágio. Sendo assim, de forma semelhante, o símbolo $\square$ na Figura 5.13b é o ponto de valor mais crítico do Grau de Certeza máximo (i.e. menor $G_{C(\text{máx})} = 0,690$) e o símbolo $\circ$ é o ponto de valor menos crítico do Grau de Certeza máximo (i.e. maior $G_{C(\text{máx})} = 0,866$). Os símbolos utilizados se aplicam aos outros ensaios realizados nos quinze inversores *off grid*.

Nota-se que o menor $G_{C(\text{mín})}$ está associado às proposições a_1 ou a_2 dos inversores *off grid* 1 a 15. Deve-se ressaltar que, a proposição a_1 está relacionada à tensão mínima do inversor. Já a proposição a_2 está associada à 92% da tensão nominal – $0,92V_{\text{nom}}$ (cf. Tabela 5.3). Nesta dissertação, existem inversores avaliados que a 92% da tensão nominal ($V_{92\%}$) estão acima da tensão mínima ($V_{\text{mín}}$) declarada pelo fabricante (i.e. $V_{\text{mín}} < V_{92\%}$ ou $a_1 < a_2$). Para este caso, a proposição a_1 tem o valor mais crítico de $G_{C(\text{mín})}$. Por outro lado, há o inverso,

ou seja, ($V_{\min} > V_{92\%}$ ou $a_1 > a_2$). Para este caso, a proposição a_2 tem o valor mais crítico de $G_{C(\min)}$. Logo, o valor mais crítico do Grau de Certeza mínimo ou, simplesmente o menor $G_{C(\min)}$, ocorre quando há a menor tensão aplicada no ensaio de autoconsumo, ou é a tensão mínima ou é a 92% da tensão nominal.

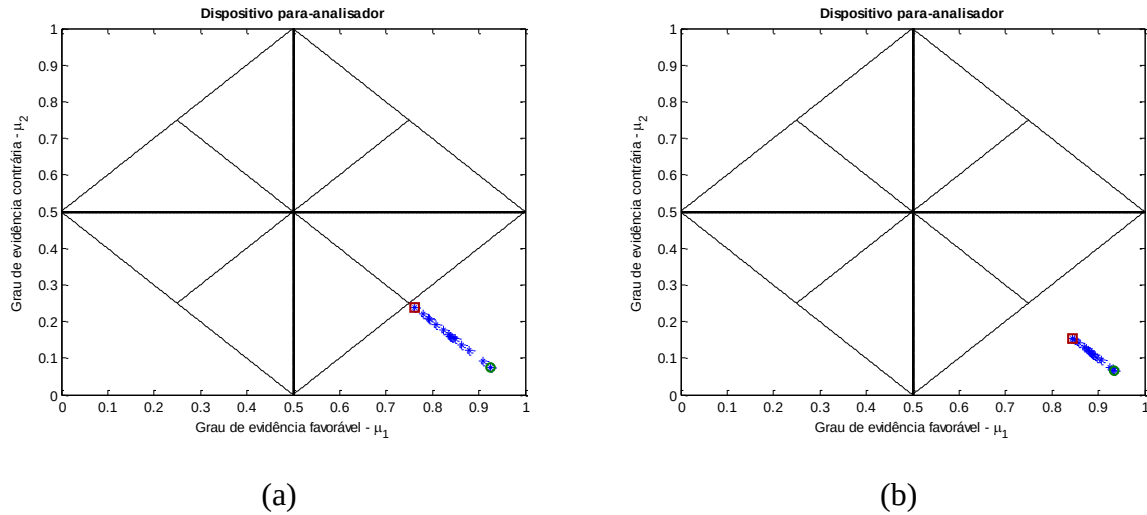


Figura 5.13 – Resultados gráficos para o ensaio de autoconsumo dos inversores *off grid* 1 a 15 no dispositivo para-analisador: (a) para $G_{C(\min)}$ e (b) para $G_{C(\max)}$.

Fonte: Elaboração própria.

5.3.1.2. Resultados do ensaio de eficiência energética

No ensaio de eficiência energética para tensão nominal em condição normal, o valor menos crítico do Grau de Certeza (maior $G_{C(\min)} = 0,889$) encontra-se no inversor *off grid* 11. A Figura 5.14 mostra os resultados gráficos do inversor *off grid* 11.

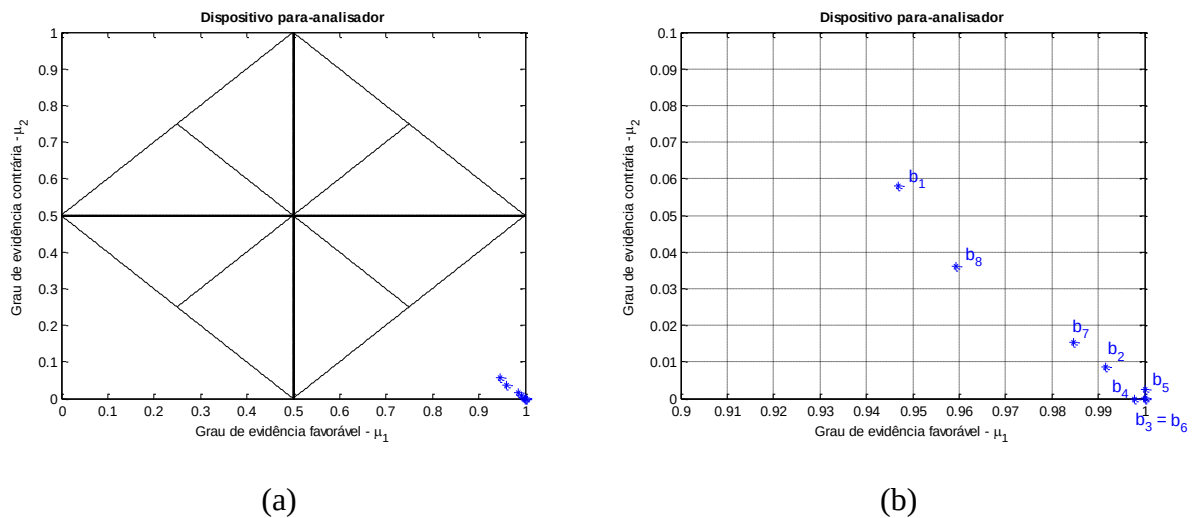


Figura 5.14 – Resultados gráficos para o ensaio de eficiência energética para tensão nominal do inversor *off grid* 11: (a) no dispositivo para-analisador e (b) ampliando a área do dispositivo para-analisador.

Fonte: Elaboração própria.

Já o resultado do ensaio de eficiência energética com valor mais crítico do Grau de Certeza mínimo (menor $G_{C(\min)} = 0,198$) foi encontrado no inversor *off grid* 08. A Figura 5.15 mostra os resultados gráficos do inversor *off grid* 08.

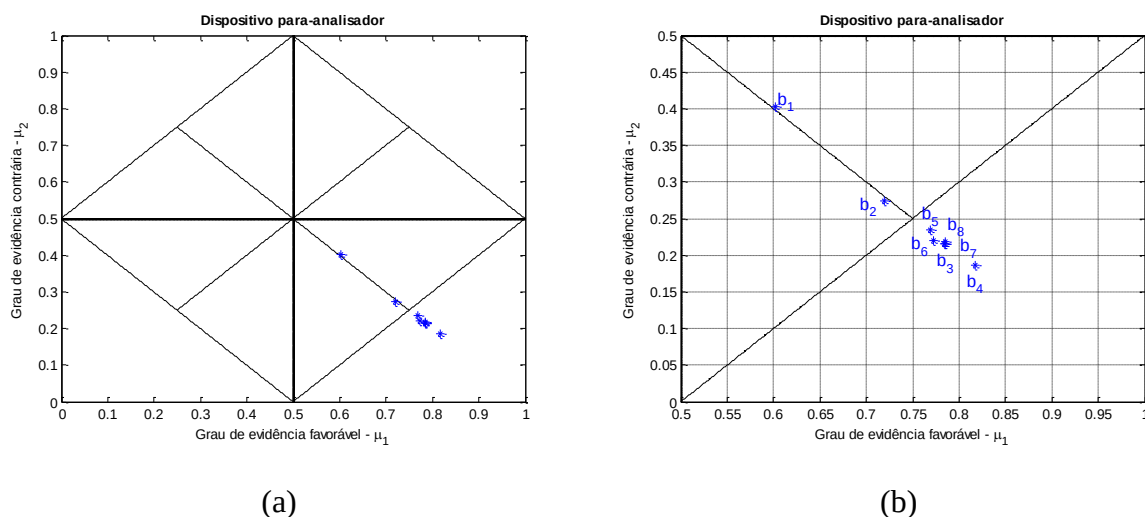


Figura 5.15 – Resultados gráficos para o ensaio de eficiência energética para tensão nominal do inversor *off grid* 08: (a) no dispositivo para-analisador e (b) ampliando a área do dispositivo para-analisador.

Fonte: Elaboração própria.

O resultado total do ensaio de eficiência energética para tensão nominal em condição normal é apresentado na Figura 5.16. Denomina-se de resultado total a execução das operações lógicas MÍN e MÁX para o segundo estágio da Figura 5.10. Esses resultados dos quinze inversores *off grid* são apresentados em um único gráfico sob as perspectivas de $G_{C(\min)}$ (cf. Figura 5.16a) e de $G_{C(\max)}$ (cf. Figura 5.16b).

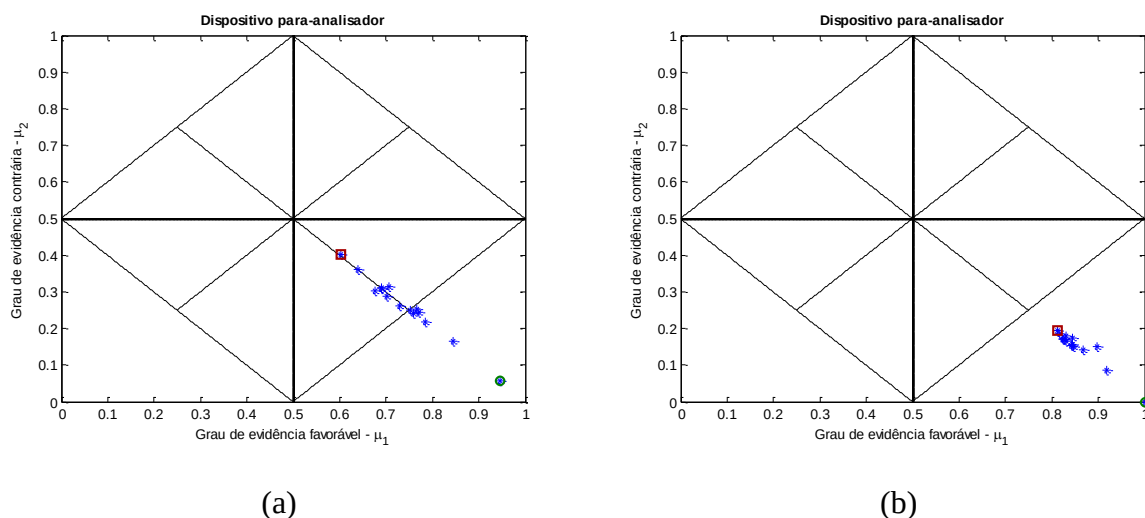


Figura 5.16 – Resultados gráficos para o ensaio de eficiência energética com tensão nominal em condição normal dos inversores *off grid* 1 a 15 no dispositivo para-analisador: (a) para $G_{C(\min)}$ e (b) para $G_{C(\max)}$.

Fonte: Elaboração própria.

No ensaio de eficiência energética para tensão nominal em condição extrema, o resultado do valor menos crítico do Grau de Certeza (maior $G_{C(\text{mín})} = 0,889$) encontra-se no inversor *off grid* 11. A Figura 5.17 mostra os resultados gráficos do inversor *off grid* 11.

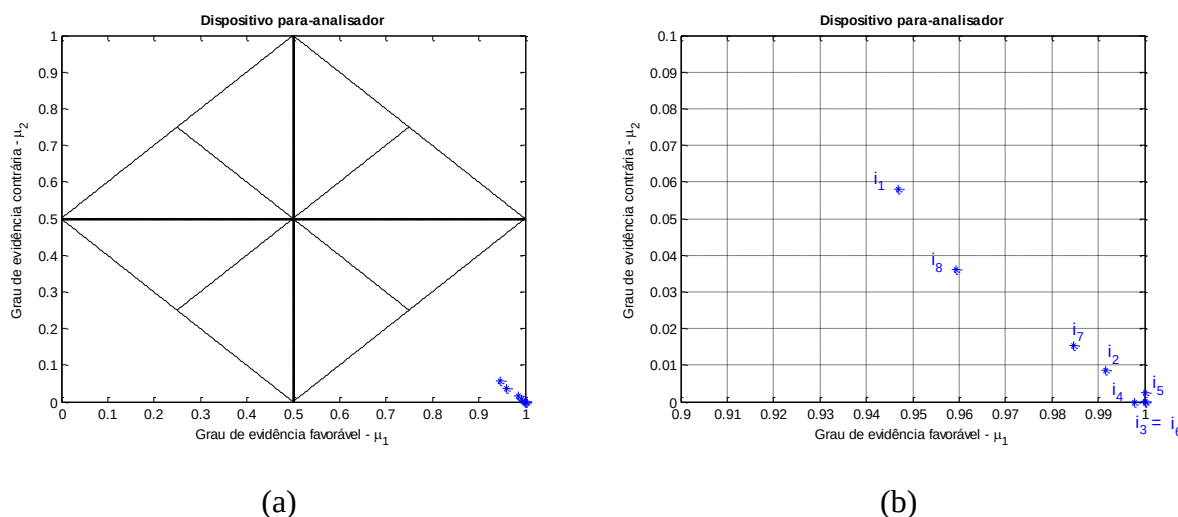


Figura 5.17 – Resultados gráficos para o ensaio de eficiência energética para tensão nominal do inversor *off grid* 11: (a) no dispositivo para-analisador e (b) ampliando a área do dispositivo para-analisador.

Fonte: Elaboração própria.

O resultado do ensaio de eficiência energética com o valor mais crítico do Grau de Certeza mínimo (menor $G_{C(\text{mín})} = 0,198$) é do inversor *off grid* 08. A Figura 5.18 mostra os resultados gráficos do inversor *off grid* 08.

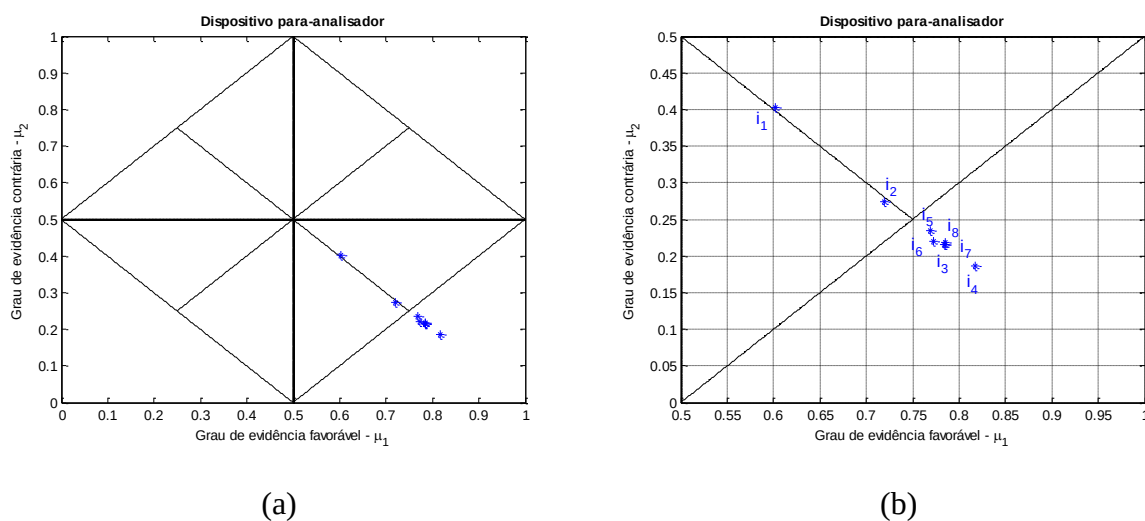


Figura 5.18 – Resultados gráficos para o ensaio de eficiência energética para tensão nominal do inversor *off grid* 08: (a) no dispositivo para-analisador e (b) ampliando a área do dispositivo para-analisador.

Fonte: Elaboração própria.

Já o resultado total do ensaio de eficiência energética para tensão nominal em condição normal é apresentado na Figura 5.19.

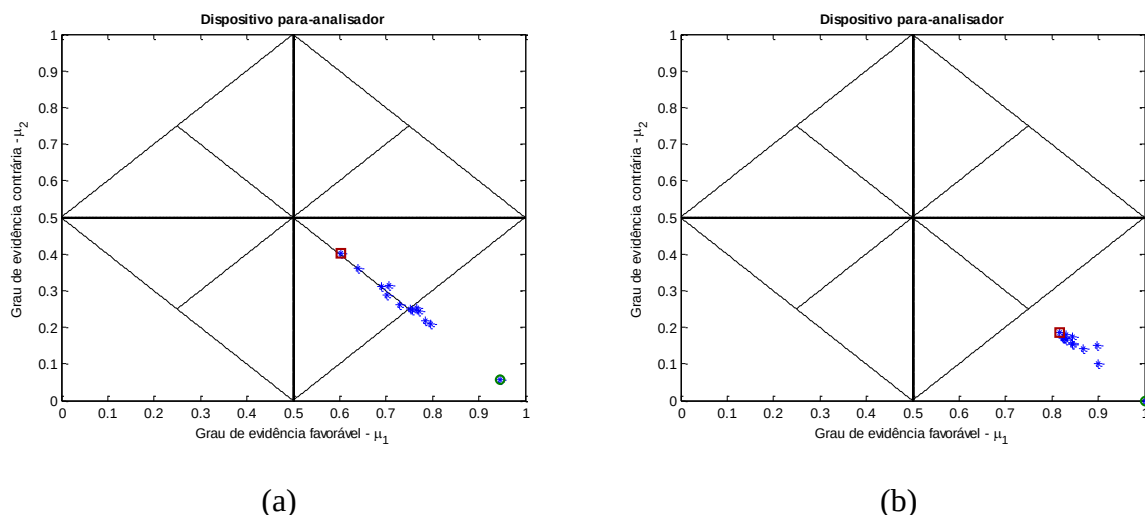


Figura 5.19 – Resultados gráficos para o ensaio de eficiência energética com tensão nominal em condição extrema dos inversores *off grid* 1 a 15 no dispositivo para-analisador: (a) para $G_{C(\min)}$ e (b) para $G_{C(\max)}$.

Fonte: Elaboração própria.

O ensaio de eficiência energética divide-se em seis subensaiois, a saber: (1) em tensão nominal em condição normal, (2) em tensão mínima em condição normal, (3) em tensão máxima em condição normal, (4) em tensão nominal em condição extrema, (5) em tensão mínima em condição extrema e (6) em tensão máxima em condição extrema. É interessante observar que, há inversores que não atendem os requisitos da Portaria INMETRO 004/2011 (INMETRO, 2011). Sendo assim, foram efetuados os ensaios de eficiência energética em tensão nominal em condições normal e extrema.

Percebe-se que, as proposições atômicas b_1 (i.e. para caso de tensão nominal em condição normal) e i_1 (i.e. para o caso de tensão nominal em condição extrema) têm os valores mais críticos em relação ao Grau de Certeza mínima. As proposições mencionadas estão relacionadas a 10% da potência nominal ($0,10P_{\text{nom}}$). Quanto menor o fator de carregamento (i.e. $P_{\text{ca}}/P_{\text{nom}}$) menor é a eficiência energética conforme o modelo de Jantsch *et alii* (1992) adotado na Eq. 2.3. E, geralmente, b_4 e i_4 têm os valores menos críticos em relação ao Grau de Certeza máxima. Deve-se ressaltar que, há motivos técnicos e normativos para essa conclusão. O primeiro motivo é o técnico já referido pelo comportamento do modelo matemático de Jantsch *et alii* (1992). O segundo motivo é o normativo da Portaria INMETRO 004/2011, onde é conforme o inversor *off grid* que apresenta medidas segundo dois critérios, a saber: (1) critério 1: a eficiência energética do inversor *off grid* deve ser igual ou superior a

80% para o fator de carregamento de 10% (b_1 e i_1), 20% (b_2 e i_2), 30% (b_3 e i_3) e 40% (b_4 e i_4) e (2) critério 2: a eficiência energética do inversor *off grid* deve ser igual ou superior a 85% para os seguintes fatores de carregamento: 50% (b_5 e i_5), 60% (b_6 e i_6), 80% (b_7 e i_7) e 100% (b_8 e i_8). Percebe-se que, as proposições b_4 e i_4 , que estão concentradas no critério 1, e b_8 e i_8 , que pertencem ao critério 2, têm maior eficiência energética conforme o modelo de Jantsch *et alii* (1992). Todavia, o critério 1 solicita uma conformidade a 80% da eficiência energética contra 85% do critério 2. Logo, é provável que, as proposições b_4 e i_4 têm maiores Graus de Certeza do que as proposições b_8 e i_8 .

Em relação aos seis ensaios de eficiência energética supracitados, na Figura 5.20, são mostradas as vinte quatro medições de $f: (P_{ca}/P_{nom}) \rightarrow \eta_{inv}$ do inversor *off grid* 15. Percebe-se que, o inversor *off grid* 15 tem como o ensaio de eficiência energética mais crítico (i.e. curva rosa mais perto dos dois critérios normativos), as medições na tensão máxima em condição extrema (em 40 °C). De forma semelhante, a ordem crescente em relação à posição mais crítica fica: (1) tensão máxima em condição extrema, (2) tensão máxima em condição normal, (3) tensão nominal em condição extrema, (4) tensão nominal em condição normal, (5) tensão mínima em condição extrema e (6) tensão mínima em condição normal.

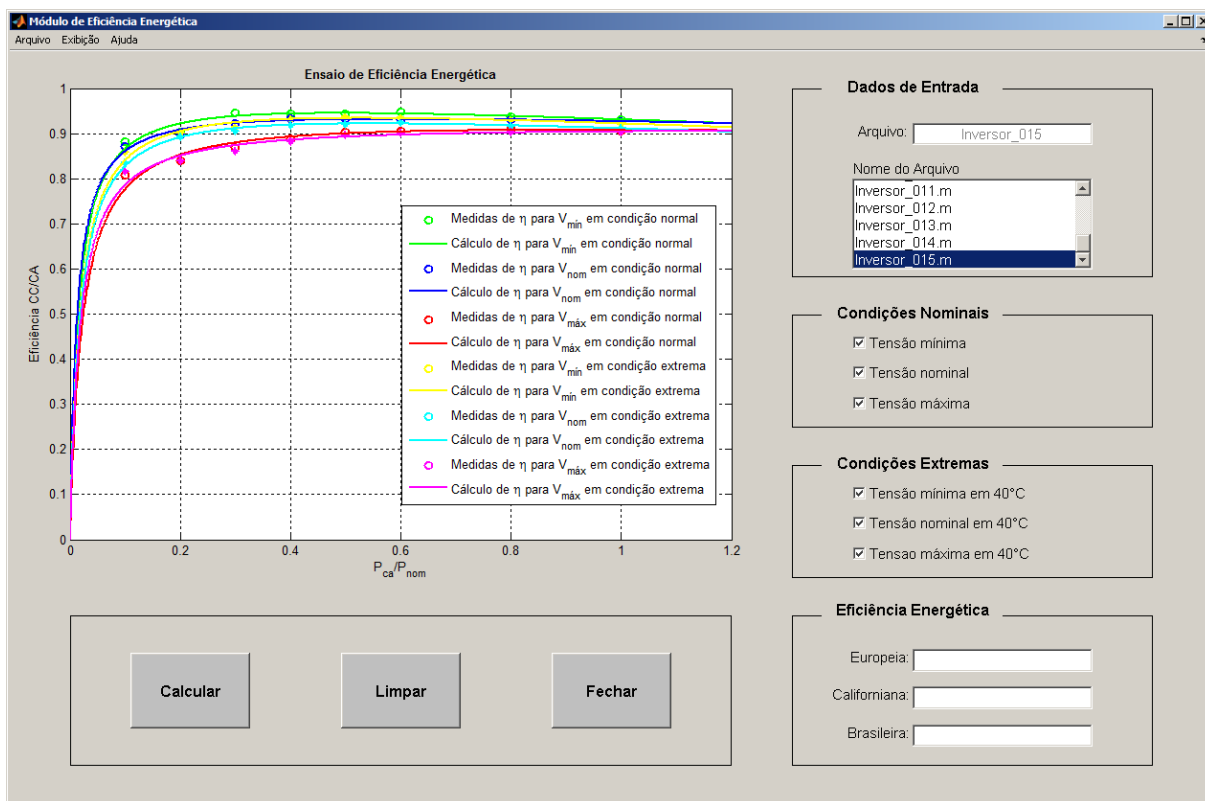


Figura 5.20 – Módulo de Eficiência Energética para inversor *off grid* 15 no CONFORME.
Fonte: Elaboração própria

5.3.1.3. Resultados do ensaio de distorção harmônica

No ensaio de distorção harmônica para tensão nominal em condição normal, o resultado menos crítico do Grau de Certeza mínimo (i.e. maior $G_{C(\text{mín})} = 0,920$) encontra-se no inversor *off grid* 14. A Figura 5.21 mostra os resultados gráficos do inversor *off grid* 14.

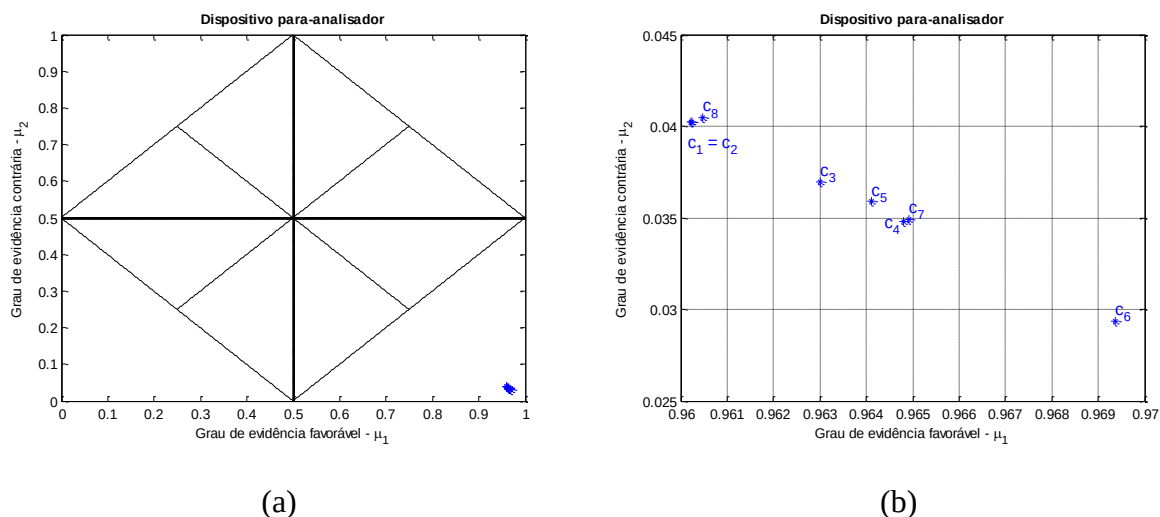


Figura 5.21 – Resultados gráficos para o ensaio de distorção harmônica para tensão nominal em condição normal do inversor *off grid* 14: (a) no dispositivo para-analisador e (b) ampliando a área do dispositivo para-analisador.
Fonte: Elaboração própria.

O resultado do ensaio de distorção harmônica para a tensão nominal em condição normal mais crítico do Grau de Certeza mínimo (i.e. menor $G_{C(\text{mín})} = 0,750$) é do inversor *off grid* 04. A Figura 5.22 mostra os resultados gráficos do inversor *off grid* 04.

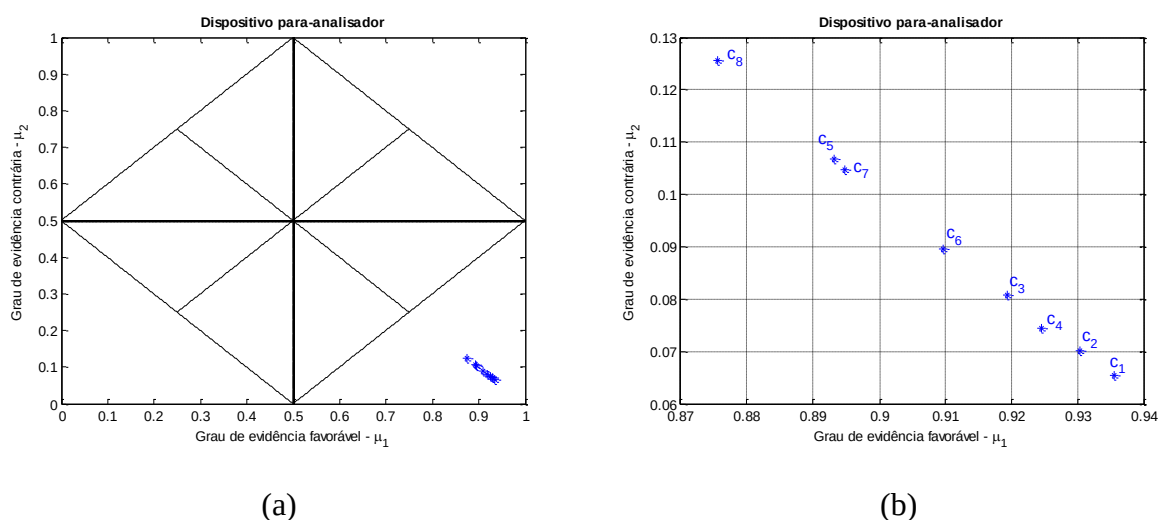
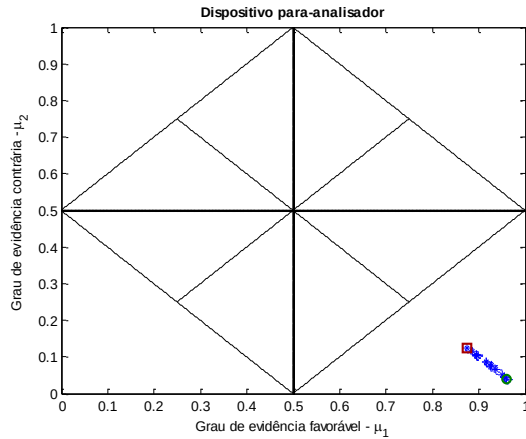
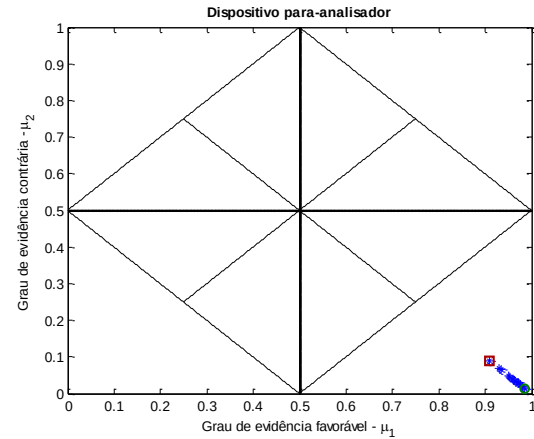


Figura 5.22 – Resultados gráficos para o ensaio de distorção harmônica para tensão nominal em condição normal do inversor *off grid* 04: (a) no dispositivo para-analisador e (b) ampliando a área do dispositivo para-analisador.
Fonte: Elaboração própria.

Já o resultado total do ensaio de distorção harmônica para tensão nominal em condição normal é apresentado na Figura 5.23.



(a)

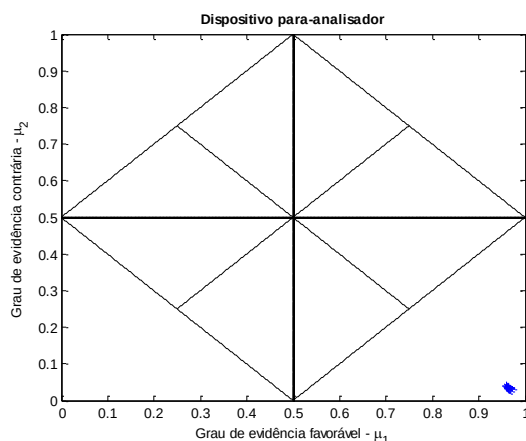


(b)

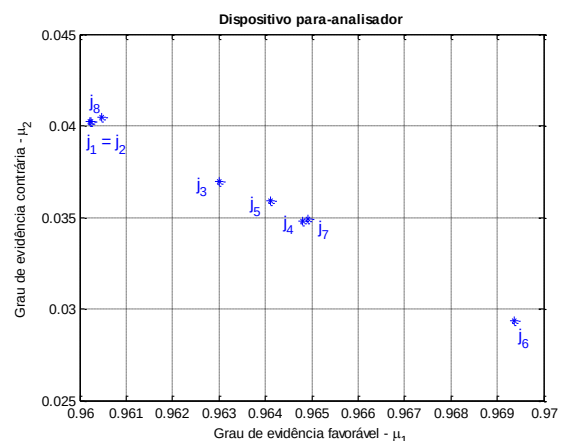
Figura 5.23 – Resultados gráficos para o ensaio de distorção harmônica para tensão nominal em condição normal dos inversores *off grid* 1 a 15 no dispositivo para-analisador: (a) para $G_{C(mín)}$ e (b) para $G_{C(máx)}$.

Fonte: Elaboração própria.

No ensaio de distorção harmônica para tensão nominal em condição extrema, o resultado menos crítico do Grau de Certeza mínimo (i.e. maior $G_{C(mín)} = 0,920$) encontra-se no inversor *off grid* 14. A Figura 5.24 mostra os resultados gráficos do inversor *off grid* 14.



(a)

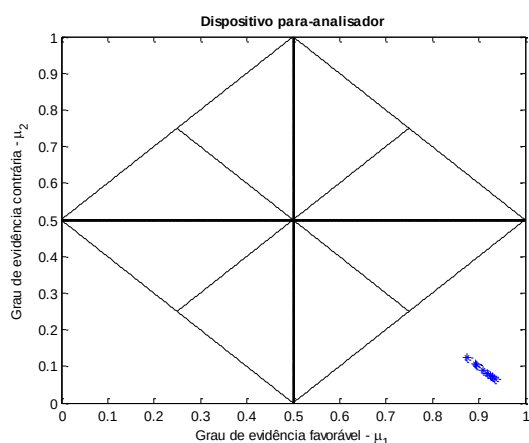


(b)

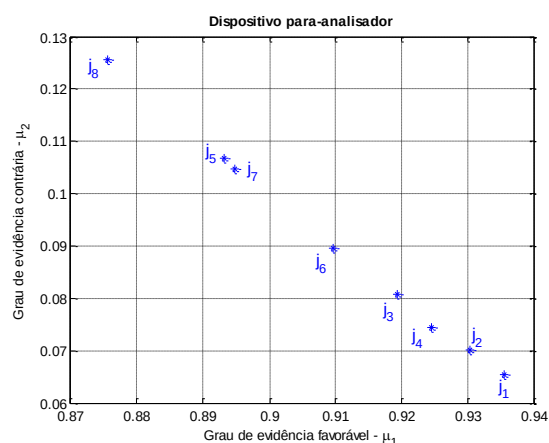
Figura 5.24 – Resultados gráficos para o ensaio de distorção harmônica para tensão nominal em condição extrema do inversor *off grid* 14: (a) no dispositivo para-analisador e (b) ampliando a área do dispositivo para-analisador.

Fonte: Elaboração própria.

O resultado do ensaio de distorção harmônica para a tensão nominal em condição extrema mais crítico do Grau de Certeza mínimo (i.e. menor $G_{C(\min)} = 0,750$) é do inversor *off grid* 04 e do inversor *off grid* 05. Na Figura 5.25, mostra o resultado gráfico do inversor *off grid* 05.



(a)

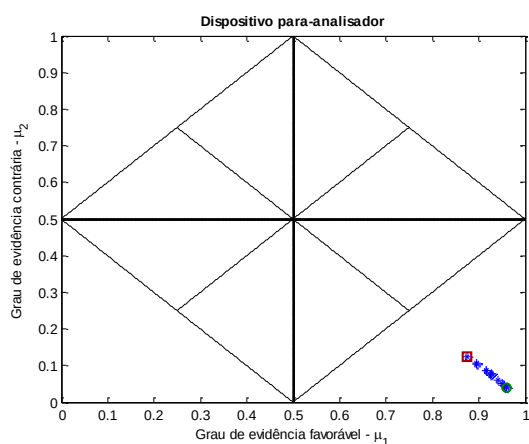


(b)

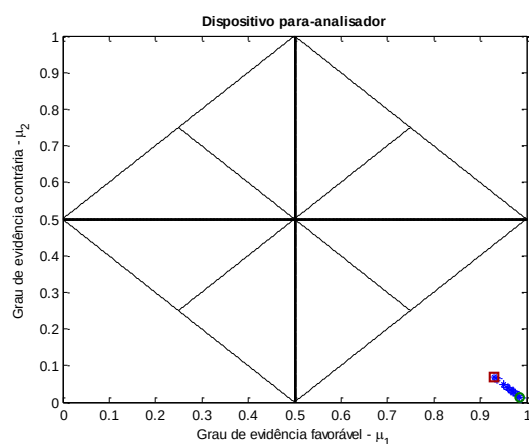
Figura 5.25 – Resultados gráficos para o ensaio de distorção harmônica para tensão nominal em condição extrema do inversor *off grid* 05: (a) no dispositivo para-analisador e (b) ampliando a área do dispositivo para-analisador.

Fonte: Elaboração própria.

Já o resultado total do ensaio de distorção harmônica para a tensão nominal em condição extrema é apresentado na Figura 5.26.



(a)



(b)

Figura 5.26 – Resultados gráficos para o ensaio de distorção harmônica para tensão nominal em condição extrema dos inversores *off grid* 1 a 15 no dispositivo para-analisador: (a) para $G_{C(\min)}$ e (b) para $G_{C(\max)}$.

Fonte: Elaboração própria.

No ensaio de distorção harmônica tanto para o caso em condição normal quanto para condição extrema, os quinze inversores ensaiados estão em conformidade com a Portaria INMETRO 004/2011 (INMETRO, 2011).

Os piores resultados foram observados nos inversores *off grid* 04 e 05, quando se mediu o fator de carregamento unitário (i.e. $P_{ca}/P_{nom} = 1,00$). Para este caso, o Total de Distorção Harmônica medido (THD_{med}) foi de 2,50%. Apesar disso, os ensaios realizados de distorção harmônica para as duas condições nesses inversores estão em conformidade ao critério outrora citado, ou seja, menor que 5% o Total de Distorção Harmônica.

O melhor resultado foi observado no inversor *off grid* 14 com um $THD_{med} = 0,60\%$, quando o fator de carregamento foi de 0,60, ou seja, $P_{ca}/P_{nom} = 0,60$.

5.3.1.4. Resultados do ensaio de regulação de tensão

No ensaio de regulação de tensão para tensão nominal em condição normal, o resultado menos crítico do Grau de Certeza mínimo (i.e. maior $G_{C(min)} = 0,990$) encontra-se no inversor *off grid* 01 conforme observado na Figura 5.27.

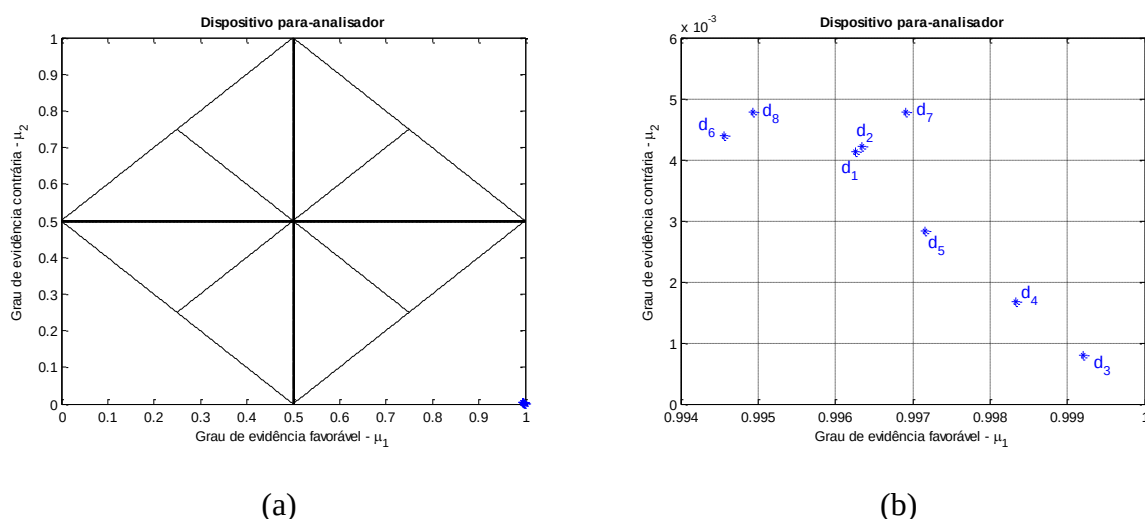
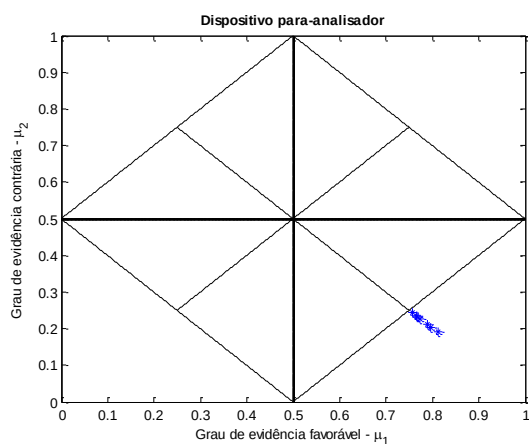


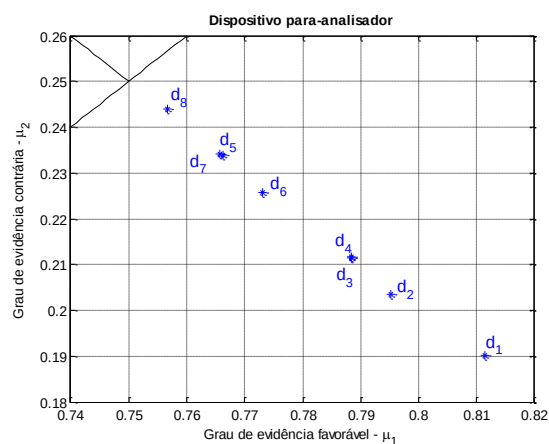
Figura 5.27 – Resultados gráficos para o ensaio de regulação de tensão para tensão nominal em condição normal do inversor *off grid* 01: (a) no dispositivo para-analisador e (b) ampliando a área do dispositivo para-analisador.

Fonte: Elaboração própria.

O resultado do ensaio de regulação de tensão para a tensão nominal em condição normal mais crítico do Grau de Certeza mínimo (i.e. menor $G_{C(min)} = 0,513$) é do inversor *off grid* 11. A Figura 5.28 mostra os resultados gráficos do inversor *off grid* 14.



(a)

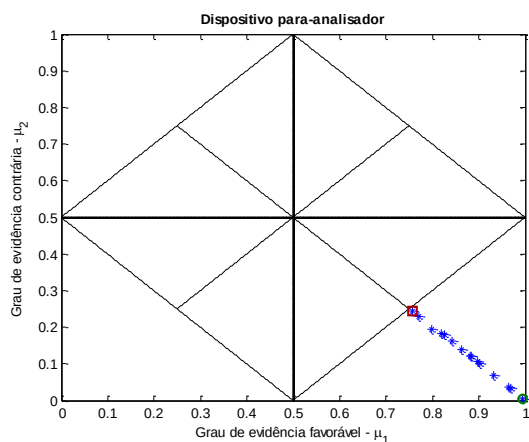


(b)

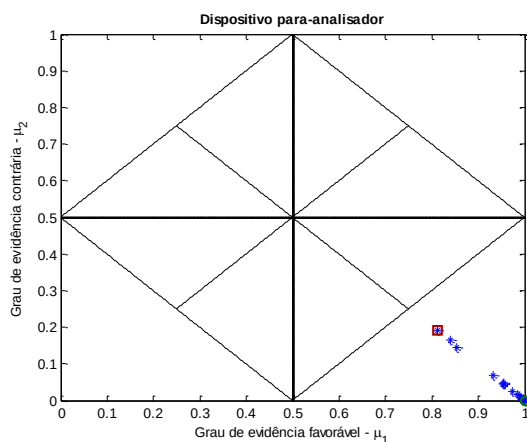
Figura 5.28 – Resultado gráfico para o ensaio de regulação de tensão para tensão nominal em condição normal do inversor *off grid* 11: (a) no dispositivo para-analisador e (b) ampliando a área do dispositivo para-analisador.

Fonte: Elaboração própria.

Já o resultado total do ensaio de regulação de tensão para a tensão nominal em condição normal é apresentado na Figura 5.29.



(a)



(b)

Figura 5.29 – Resultados gráficos para o ensaio de regulação de tensão para tensão nominal em condição normal dos inversores *off grid* 1 a 15 no dispositivo para-analisador: (a) para $G_{C(mín)}$ e (b) para $G_{C(máx)}$.

Fonte: Elaboração própria.

No ensaio de regulação de tensão para tensão nominal em condição extrema, o resultado menos crítico do Grau de Certeza mínimo (i.e. maior $G_{C(mín)} = 0,990$) encontra-se no inversor *off grid* 01 e no inversor *off grid* 02. Na Figura 5.30, apresentam-se os resultados gráficos do inversor *off grid* 02.

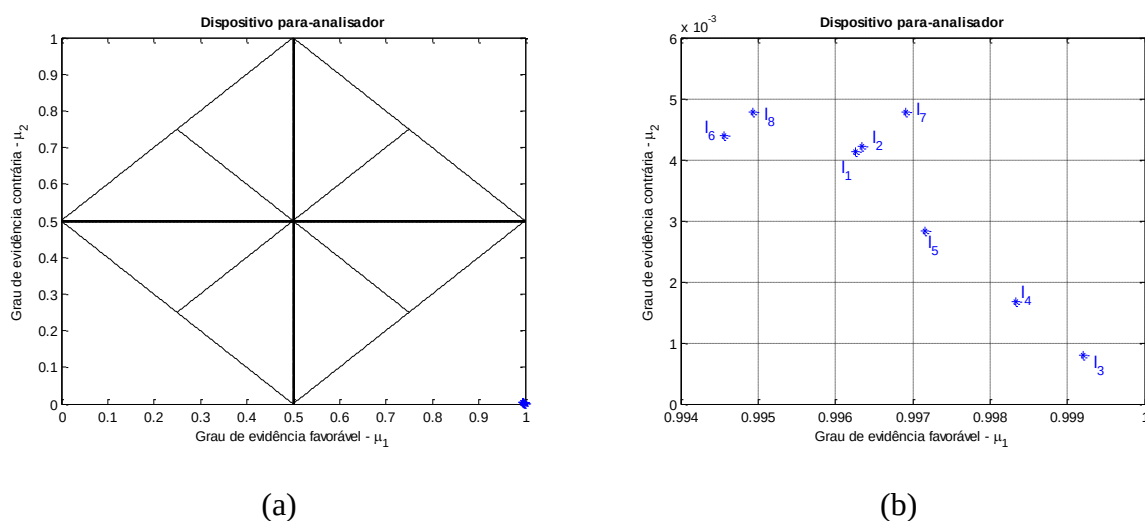


Figura 5.30 – Resultados gráficos para o ensaio de regulação de tensão para tensão nominal em condição extrema do inversor *off grid* 02: (a) no dispositivo para-analisador e (b) ampliando a área do dispositivo para-analisador.

Fonte: Elaboração própria.

O resultado do ensaio de regulação de tensão para a tensão nominal em condição extrema mais crítico do Grau de Certeza mínimo (i.e. menor $G_{C(\min)} = 0,513$) é do inversor *off grid* 11. A Figura 5.31 mostra os resultados gráficos do inversor *off grid* 11.

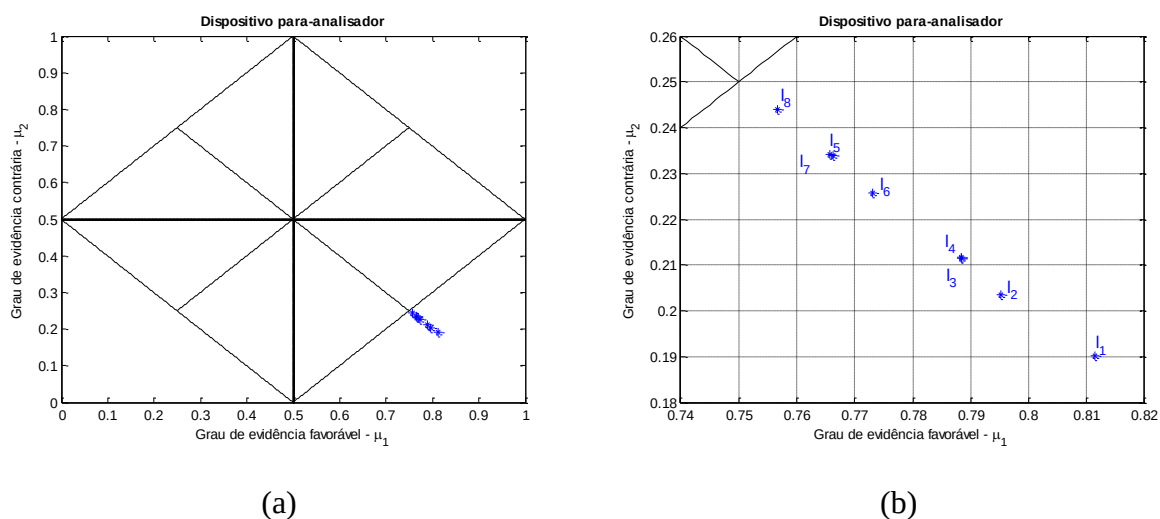


Figura 5.31 – Resultados gráficos para o ensaio de regulação de tensão para tensão nominal em condição extrema do inversor *off grid* 11: (a) no dispositivo para-analisador e (b) ampliando a área do dispositivo para-analisador.

Fonte: Elaboração própria.

Já o resultado total do ensaio de regulação de tensão para a tensão nominal em condição extrema é apresentado na Figura 5.32.

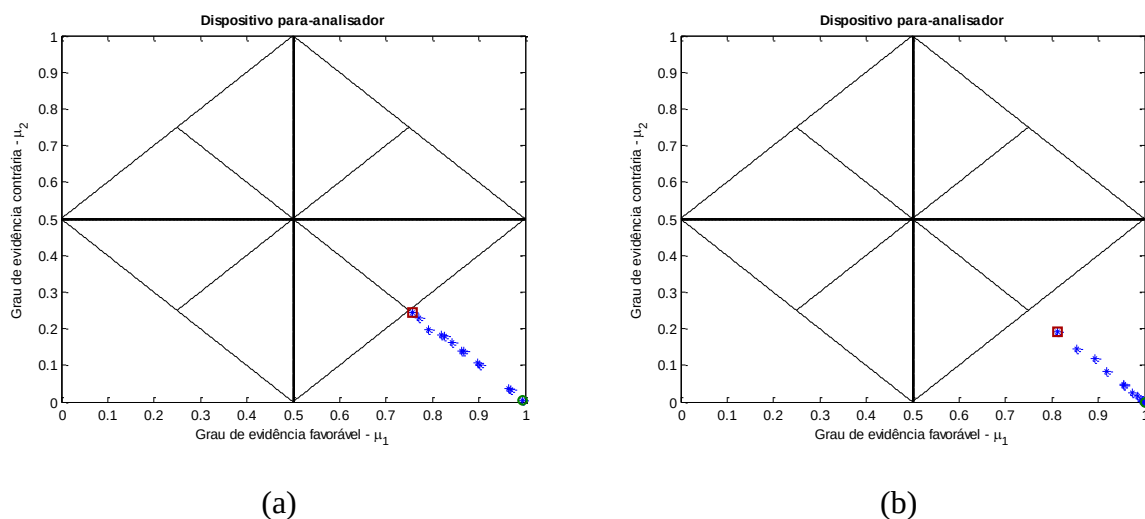


Figura 5.32 – Resultados gráficos para o ensaio de regulação de tensão para tensão nominal em condição extrema dos inversores *off grid* 1 a 15 no dispositivo para-analisador: (a) para $G_{C(\min)}$ e (b) para $G_{C(\max)}$.

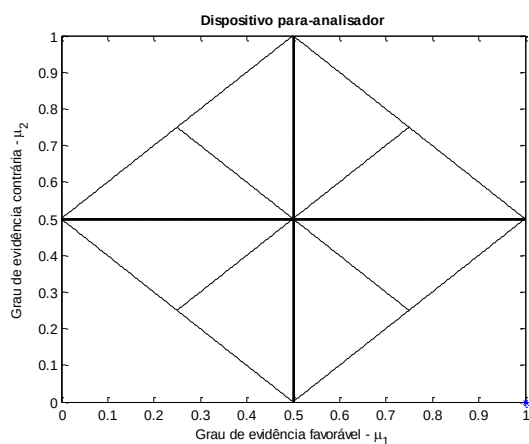
Fonte: Elaboração própria.

No ensaio de regulação de tensão tanto para o caso em condição normal quanto para condição extrema, os quinze inversores ensaiados estão em conformidade com a Portaria INMETRO 004/2011 (INMETRO, 2011).

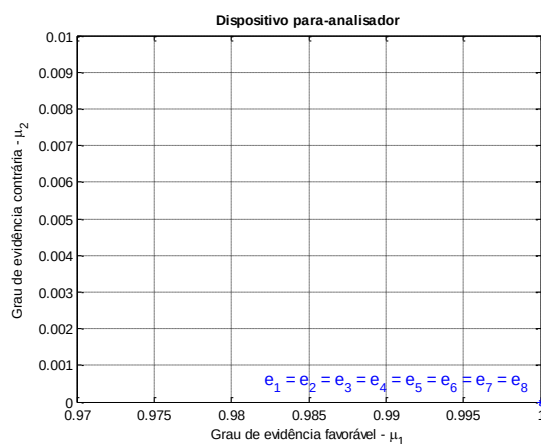
Por outro lado, deve-se atentar que, o pior resultado foi do inversor *off grid* 11 conforme visualizado na Figura 5.31 e 5.32a, onde o fabricante do equipamento declara uma tensão nominal de 120Vca. É oportuno ressaltar que, o módulo 8 do PRODIST classifica como adequado para uma tensão de 127Vca, os limites mínimo e máximo são 116,84V e 133,35V respectivamente. Já para uma tensão de 220Vca, os limites mínimo e máximo são 202,40V e 231,00V respectivamente PRODIST (cf. ANEEL, 2016, p. 35). Sendo assim, o inversor *off grid* 11 sofreu uma penalidade em relação à tensão de referência exigida pela legislação brasileira vigente.

5.3.1.5. Resultados do ensaio de frequência

No ensaio de frequência para tensão nominal em condição normal, o resultado menos crítico do Grau de Certeza mínimo (i.e. maior $G_{C(\min)} = 1,000$) é encontrado nos inversores *off grid* 02, 13 e 14. Na Figura 5.33, são apresentados os resultados gráficos do inversor *off grid* 14.



(a)

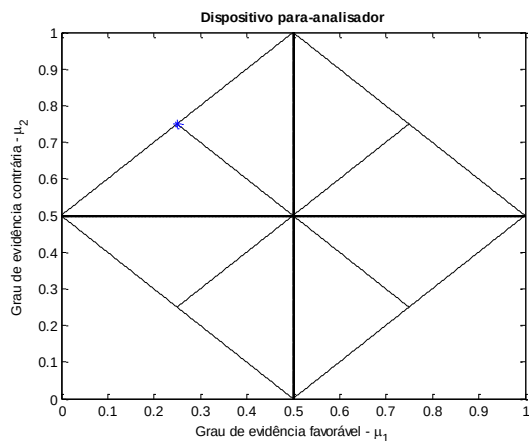


(b)

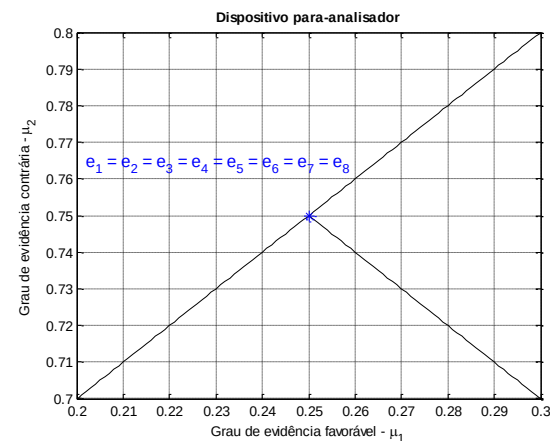
Figura 5.33 – Resultados gráficos para o ensaio de frequência para tensão nominal em condição normal do inversor *off grid* 14: (a) no dispositivo para-analisador e (b) ampliando a área do dispositivo para-analisador.

Fonte: Elaboração própria.

O resultado do ensaio de frequência para a tensão nominal em condição normal mais crítico do Grau de Certeza mínimo (i.e. menor $G_{C(\min)} = -0,500$) é do inversor *off grid* 09. Na Figura 5.34, os resultados gráficos do inversor *off grid* 09 são mostrados.



(a)

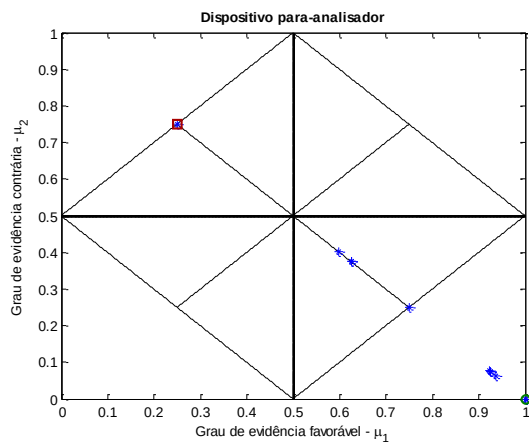


(b)

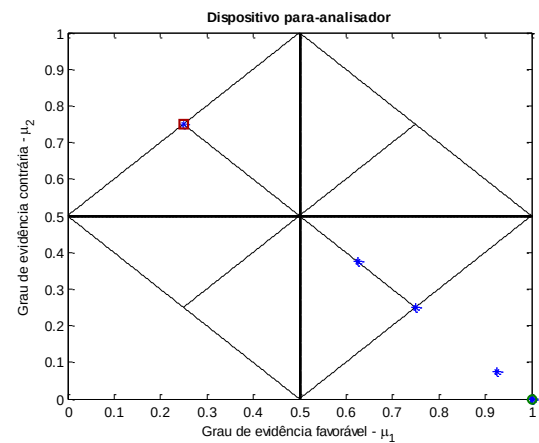
Figura 5.34 – Resultados gráficos para o ensaio de frequência para tensão nominal em condição normal do inversor *off grid* 09: (a) no dispositivo para-analisador e (b) ampliando a área do dispositivo para-analisador.

Fonte: Elaboração própria.

Já o resultado total do ensaio de frequência para a tensão nominal em condição normal é apresentado na Figura 5.35.



(a)

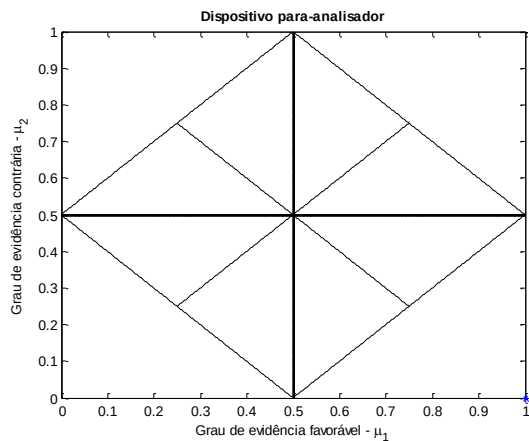


(b)

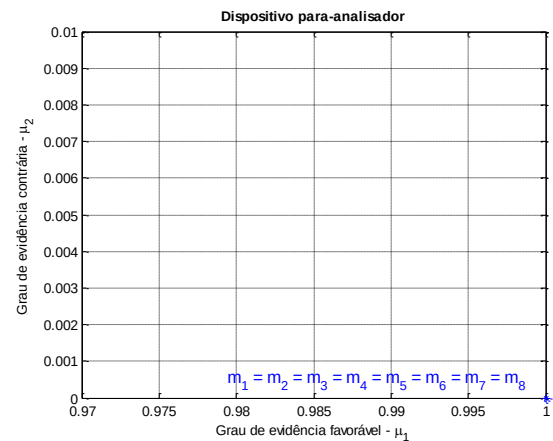
Figura 5.35 – Resultados gráficos para o ensaio de frequência para tensão nominal em condição normal dos inversores *off grid* 1 a 15 no dispositivo para-analisador: (a) para $G_{C(\min)}$ e (b) para $G_{C(\max)}$.

Fonte: Elaboração própria.

No ensaio de frequência para tensão nominal em condição extrema, o resultado menos crítico do Grau de Certeza mínimo (i.e. maior $G_{C(\min)} = 1,000$) é encontrado nos inversores *off grid* 13 e 14. Na Figura 5.36, os resultados gráficos do inversor *off grid* 13 são apresentados.



(a)

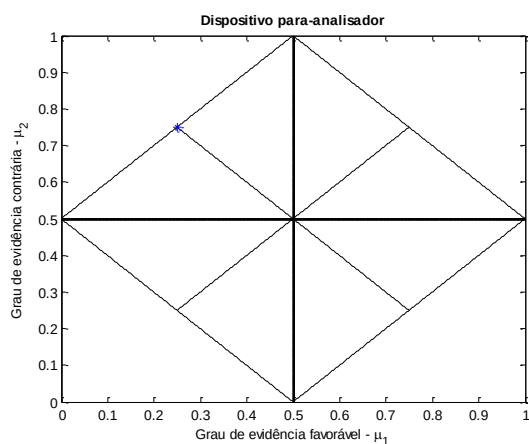


(b)

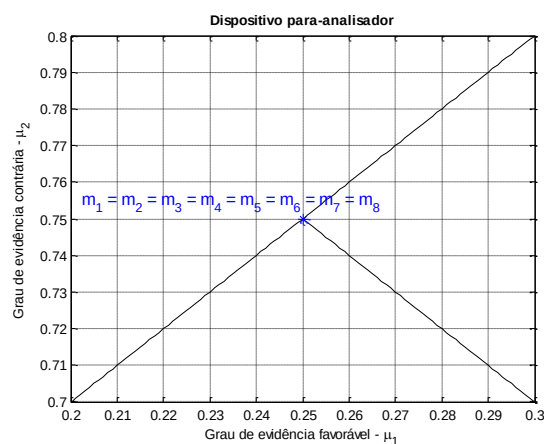
Figura 5.36 – Resultados gráficos para o ensaio de frequência para tensão nominal em condição extrema do inversor *off grid* 13: (a) no dispositivo para-analisador e (b) ampliando a área do dispositivo para-analisador.

Fonte: Elaboração própria.

O resultado do ensaio de frequência para a tensão nominal em condição extrema mais crítico do Grau de Certeza mínimo (i.e. menor $G_{C(\min)} = -0,500$) é do inversor *off grid* 09. Na Figura 5.37, mostram os resultados gráficos do inversor *off grid* 09.



(a)

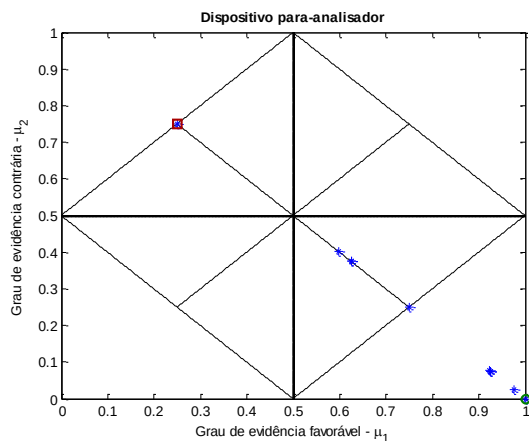


(b)

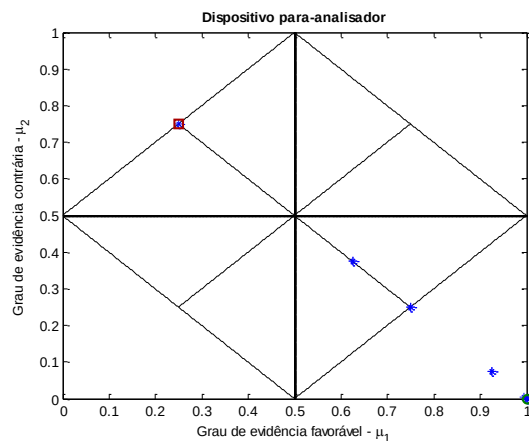
Figura 5.37 – Resultados gráficos para o ensaio de frequência para tensão nominal em condição extrema do inversor *off grid* 09: (a) no dispositivo para-analisador e (b) ampliando a área do dispositivo para-analisador.

Fonte: Elaboração própria.

Já o resultado total do ensaio de frequência para a tensão nominal em condição normal é apresentado na Figura 5.38.



(a)



(b)

Figura 5.38 – Resultados gráficos para o ensaio de frequência para tensão nominal em condição extrema dos inversores *off grid* 1 a 15 no dispositivo para-analisador: (a) para $G_{C(mín)}$ e (b) para $G_{C(máx)}$.

Fonte: Elaboração própria.

De forma semelhante ao ocorrido com o ensaio de regulação de tensão, o ensaio de frequência é regido também pelo módulo 8 do PRODIST (cf. ANEEL, 2016, p. 35). Nota-se que, a faixa de frequência adequada na legislação vigente é de 59.9 até 60.1 Hz. Sendo assim,

o inversor *off grid* 09, que mediu 59.7Hz e foi penalizado. Nota-se que, a faixa de frequência adequada é de 0.995 até 1.002 p.u., ou seja, tem um comprimento de 0.007 p.u., o que mantém o ensaio de frequência como o mais crítico de todos ensaio do inversor *off grid* por força da legislação vigente.

5.3.1.6. Resultados do ensaio de sobrecarga

No ensaio de sobrecarga, o resultado menos crítico do Grau de Certeza mínimo (i.e. maior $G_{C(\text{mín})} = 0.518$) encontra-se nos inversores *off grid* 15. Na Figura 5.39, são apresentados os resultados gráficos do inversor *off grid* 15.

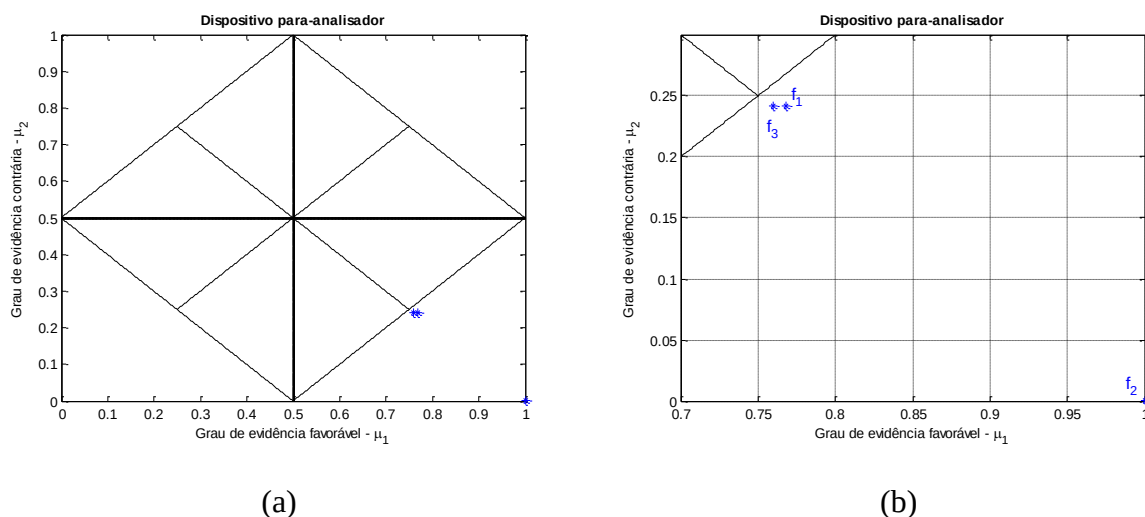


Figura 5.39 – Resultados gráficos para o ensaio de sobrecarga do inversor *off grid* 15: (a) no dispositivo para-analisador e (b) ampliando a área do dispositivo para-analisador.

Fonte: Elaboração própria.

O resultado do ensaio de sobrecarga com o valor mais crítico em relação ao Grau de Certeza mínimo (i.e. menor $G_{C(\text{mín})} = 0,480$) foi dos inversores *off grid* 01, 02, 03 e 04. Na Figura 5.40, são mostrados os resultados gráficos do inversor *off grid* 01. Pode-se notar que, a proposição f_1 mantém o inversor *off grid* 01 (i.e. neste caso, mas também ocorre com os inversores *off grid* 02, 03 e 04) em um estado de não conformidade com o ensaio de sobrecarga. Na Tabela 5.5, identifica a proposição f_1 como a etapa do ensaio de sobrecarga referido ao arranque de uma carga preferencialmente indutiva (no caso, um motor) com um 1/3 da potência nominal do inversor *off grid*. O uso, neste ensaio, de um motor comercial

abaixo de 1/3 penalizou o ensaio. Sugere-se a revisão deste ensaio com um motor adequado a Portaria INMETRO 004/2011.

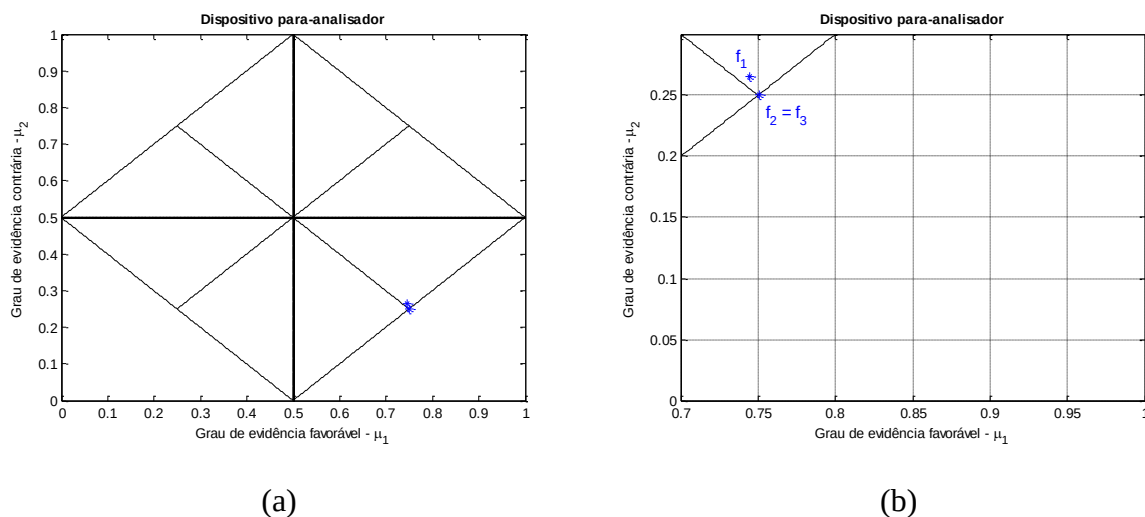


Figura 5.40 – Resultados gráficos para o ensaio de sobrecarga do inversor *off grid* 01: (a) no dispositivo para-analisador e (b) ampliando a área do dispositivo para-analisador.

Fonte: Elaboração própria.

Já o resultado total do ensaio de sobrecarga é apresentado na Figura 5.41.

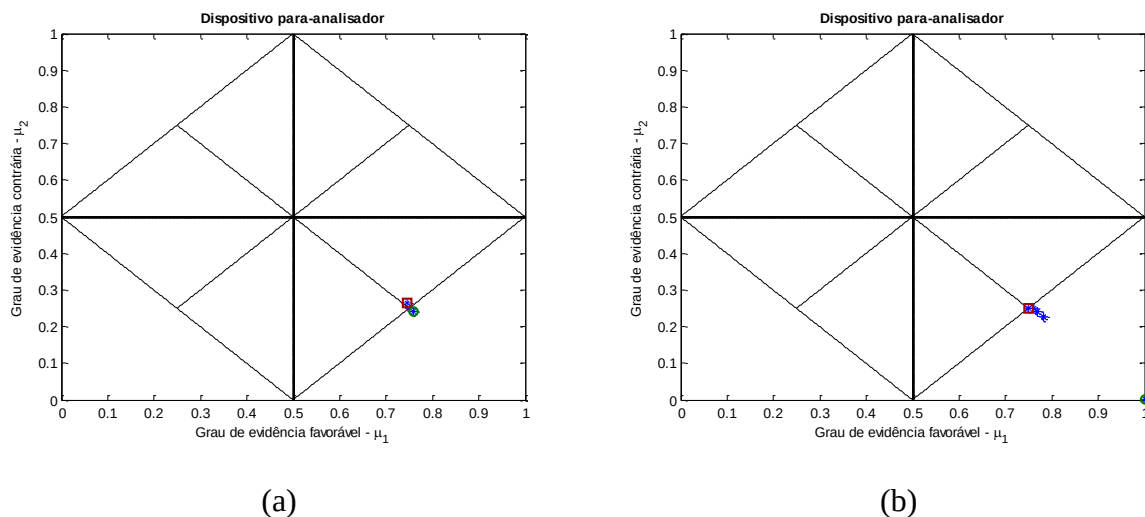


Figura 5.41 – Resultados gráficos para o ensaio de sobrecarga dos inversores *off grid* 1 a 15: (a) no dispositivo para-analisador e (b) ampliando a área do dispositivo para-analisador.

Fonte: Elaboração própria.

Neste ensaio, deve-se alertar ao fato do cumprimento da legislação vigente a fim de não penalizar o equipamento sob a avaliação da conformidade.

5.3.1.7. Resultados do ensaio de proteção

No ensaio de proteção contra inversão de polaridade, os resultados gráficos total para os inversor *off grid* 1 a 15 são mostrados na Figura 5.42.

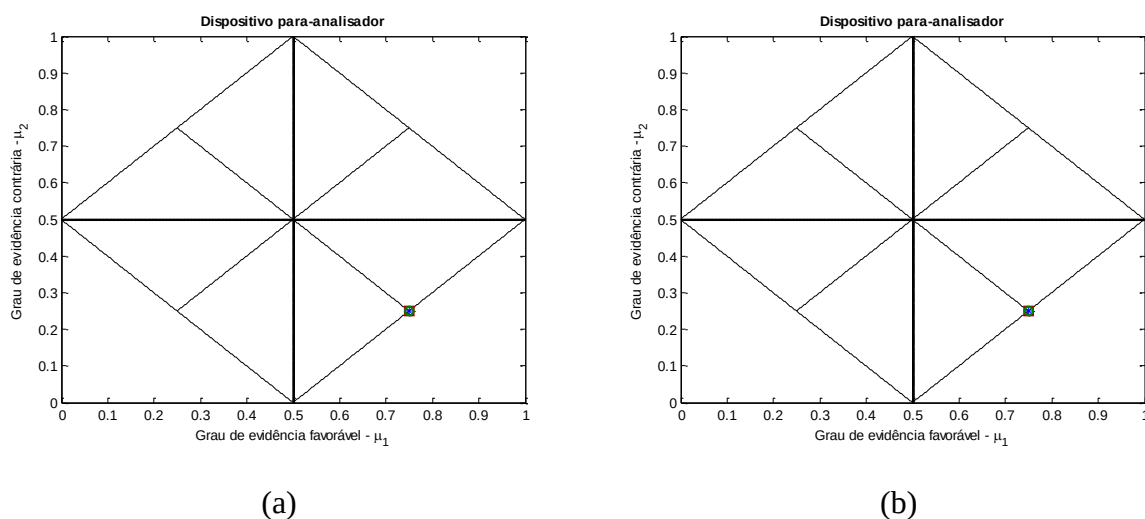


Figura 5.42 – Resultados gráficos para o ensaio de proteção contra inversão de polaridade para os inversores *off grid* 1 a 15: (a) no dispositivo para-analisador e (b) ampliando a área do dispositivo para-analisador.

Fonte: Elaboração própria.

Já no ensaio de proteção contra curto-circuito, os resultados gráficos total para os inversores *off grid* 1 a 15 são mostrados na Figura 5.43.

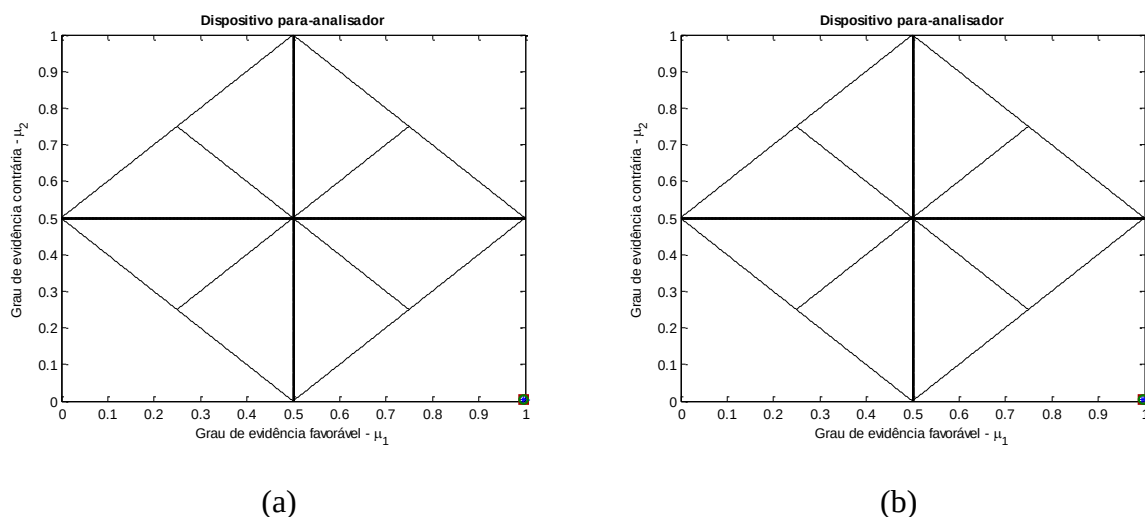


Figura 5.43 – Resultado gráfico para o ensaio de proteção contra curto-circuito para os inversores *off grid* 1 a 15: (a) no dispositivo para-analisador e (b) ampliando a área do dispositivo para-analisador.

Fonte: Elaboração própria.

Em relação ao ensaio de proteção contra inversão de polaridade, registra-se a importância do tempo de dez minutos exigidos pela legislação vigente. Para o caso de inversores que são aprovados com o tempo mínimo, o programa computacional oferecerá a nota mínima como ocorreu nos quinze ensaios avaliados.

De forma análoga, a exigência de anotar o tempo do ensaio de proteção contra curto-circuito torna-se crucial. Nos relatórios de ensaio, a informação que a proteção instantaneamente atuou, atribui ao programa computacional a anotação da precisão do cronômetro para efetuar os graus de evidências favorável e contrária, por isso, os quinze ensaios estão em conformidade e em semelhança. Poder-se-ia, de alguma forma, anotar de fato o tempo da atuação da proteção a fim de oferecer resultados mais próximos da realidade. Todavia, estes dados não invalidam a conformidade dos ensaios de proteção descritos nesta seção (5.3.1.7).

5.3.2. As anotações resultantes para o estudo de viabilidade

Nesta seção (5.3.2), os resultados gráficos dos inversores *off grid* são as anotações do tipo $(\mu_{1[Cn]}, \mu_{2[Cn]})$. Estes resultados são agrupados por ensaios avaliados por AAC de 3ª parte (cf. Figura 5.10). Onde, **Cn** é um vetor de anotações do tipo $(\mu_{1[cn]}, \mu_{2[cn]})$ para cada ensaio do inversor *off grid* “n” e a letra “C” significa um AAC de 3ª parte. As anotações do tipo $(\mu_{1[Cn]}, \mu_{2[Cn]})$ são as entradas do primeiro operador lógico MÍN (i.e. entenda-se como o primeiro estágio – cf. Figura 5.10). A saída deste operador MÍN resulta em uma anotação do tipo $(\mu_{1[cn]}, \mu_{2[cn]})$, neste caso, o resultado do inversor *off grid* “n”, com o menor Grau de Certeza mínimo. De forma análoga, as anotações do tipo $(\mu_{1[c1]}, \mu_{2[c1]})$, $(\mu_{1[c2]}, \mu_{2[c2]})$, ..., $(\mu_{1[c15]}, \mu_{2[c15]})$ são os resultados do primeiro operador lógico MÍN da Figura 5.10 e significam as anotações para os inversores 1, 2, ..., 15 respectivamente. Executa-se esse procedimento para cada ensaio e para cada inversor *off grid*.

Em um segundo momento, é oportuno registrar a aplicação do segundo operador lógico MÍN (i.e. entenda-se o segundo estágio – cf. Figura 5.10). Este calcula a anotação resultante para os quinze inversores. Ou seja, o resultado que oferece o mais crítico Grau de Certeza mínima (i.e. menor $G_{C(\min)}$) entre as anotações da entrada do segundo operador MÍN para cada ensaio avaliado. A saída do segundo operador MÍN oferece as anotações resultantes do tipo (μ_{1R}, μ_{2R}) , onde “R” é uma matriz com duas colunas e doze linhas com as anotações com o menor Grau de Certeza mínimo para cada ensaio do inversor *off grid*. As anotações resultantes são mostradas no dispositivo para-analisador da Figura 5.44.

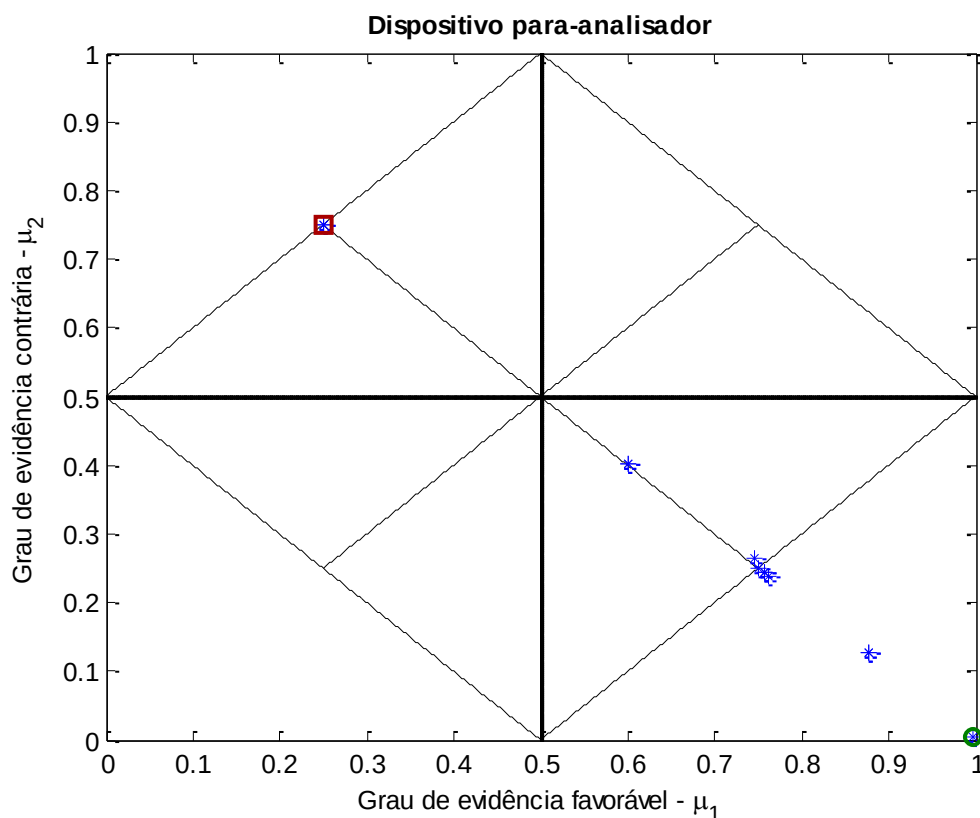


Figura 5.44 – Resultados gráficos das anotações resultantes (μ_{1R} , μ_{2R}) para o menor $G_{C(\min)}$ de cada ensaio dos quinze inversores *off grid* mostrada no dispositivo para-analisador.

Fonte: Elaboração própria.

A Tabela 5.10 mostra uma proposta para o Selo Procel de ordem hierárquica para os ensaios dos inversores *off grid* conforme o valor do menor Grau de Certeza mínimo. Esta proposta aponta para os ensaios que devem ser observados para subsidiar os critérios normativos para o regulamento específico do Selo Procel. Com isso, pode-se oferecer uma tabela com o nome dos doze ensaios de inversores *off grid* pertencentes à Portaria INMETRO 004/2011 (INMETRO, 2011) com os valores mais críticos de $G_{C(\min)}$, ou seja, o menor $G_{C(\min)}$ em relação à ordem do ensaio mais crítico para o menos crítico.

Deve-se observar que, apesar, do ensaio de sobrecarga apresentar um valor abaixo de 0.500, faz-se aqui uma ressalva em relação aos equipamentos avaliados neste ensaio. Esta observação já foi considerada na seção (5.3.1.6) e trata-se da proposição f_1 e o correto uso do motor comercial (ou carga indutiva) em conformidade com a legislação vigente. Sendo assim, para o Selo Procel os ensaios mais críticos são os de frequência e os de eficiência energética. Todavia, ratifica-se aqui a importância dos demais ensaios, cabendo ao corpo técnico-

gerencial crivar quais são os ensaios e critérios para os requisitos de inclusão dos inversores *off grid* no Selo Procel.

Tabela 5.10 – Nome do ensaio de inversores *off grid* descrito na Portaria INMETRO 004/2011 em relação à ordem do ensaio mais crítico e apresentação do menor $G_{C(min)}$.

ORDEM DO ENSAIO MAIS CRÍTICO	NOME DO ENSAIO DESCRITO NA PORTARIA INMETRO 004/2011	MENOR $G_{C(min)}$
1º	Ensaio 12 – Frequência em condição extrema	-0,500
2º	Ensaio 11 – Frequência em condição normal	-0,500
3º	Ensaio 09 – Eficiência Energética em condição extrema	0,198
4º	Ensaio 02 – Eficiência Energética em condição normal	0,198
5º	Ensaio 06 – Sobrecarga	0,480
6º	Ensaio 07 – Proteção contra inversão de polaridade	0,500
7º	Ensaio 11 – Regulação de tensão em condição extrema	0,513
8º	Ensaio 05 – Regulação de tensão em condição normal	0,513
9º	Ensaio 01 - Autoconsumo	0,523
10º	Ensaio 10 – Distorção Harmônica em condição extrema	0,750
11º	Ensaio 03 – Distorção Harmônica em condição normal	0,750
12º	Ensaio 08 – Proteção contra curto-circuito	0,990

Fonte: Elaboração própria.

5.4. Pós-processamento

Nesta seção (5.4), são apresentados dois possíveis estudos após o processamento das anotações. Todavia, vale ressaltar que, com os dados processados podem-se imprimir relatórios e traçar gráficos conforme a necessidade do estudo. E de fato algumas dessas demandas já foram até apresentadas na seção primária anterior (5.3).

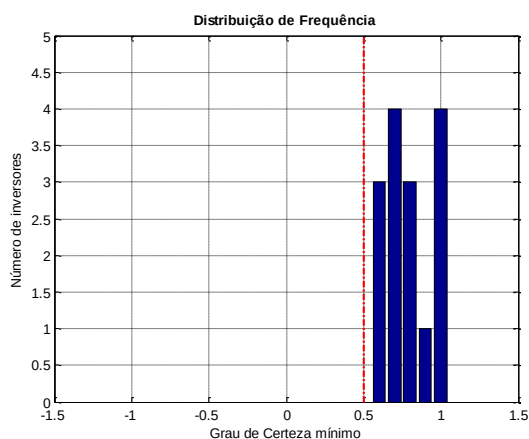
A primeira proposta de estudo se relaciona com o levantamento de uma curva de distribuição de frequência e interpolação polinomial com os valores do Grau de Certeza mínimo e do número de inversores cada ensaio. Na Tabela 5.11, os inversores *off grid* avaliados nesta dissertação para cada ensaio estão listados segundo a Portaria INMETRO 004/2011 e o menor $G_{C(min)}$.

Tabela 5.11 – Os quinze inversores *off grid* avaliados e o Grau de Certeza mínimo por ensaio.

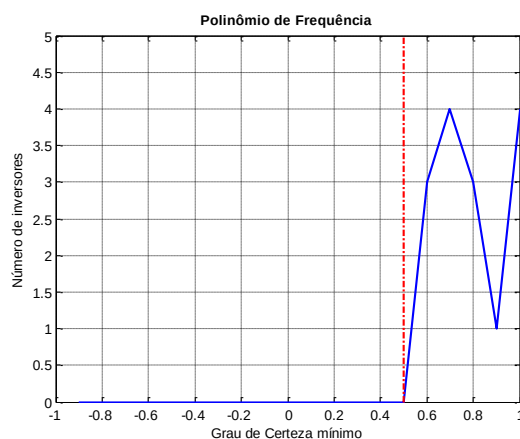
	Ensaio 01	Ensaio 02	Ensaio 03	Ensaio 04	Ensaio 05	Ensaio 06	Ensaio 07	Ensaio 08	Ensaio 09	Ensaio 10	Ensaio 11	Ensaio 12
<i>Inversor_001</i>	0,99	0,41	0,83	0,99	0,85	0,48	0,50	0,99	0,41	0,83	0,99	0,85
<i>Inversor_002</i>	0,99	0,37	0,83	0,86	1,00	0,48	0,50	0,99	0,41	0,83	0,99	0,85
<i>Inversor_003</i>	0,72	0,53	0,79	0,72	0,50	0,48	0,50	0,99	0,53	0,79	0,72	0,50
<i>Inversor_004</i>	0,68	0,47	0,75	0,68	0,50	0,48	0,50	0,99	0,47	0,75	0,68	0,50
<i>Inversor_005</i>	0,68	0,38	0,77	0,76	0,50	0,50	0,50	0,99	0,47	0,75	0,68	0,50
<i>Inversor_006</i>	0,94	0,50	0,89	0,94	0,85	0,50	0,50	0,99	0,50	0,90	0,94	0,85
<i>Inversor_007</i>	0,65	0,28	0,83	0,65	0,20	0,50	0,50	0,99	0,28	0,83	0,65	0,20
<i>Inversor_008</i>	0,79	0,20	0,85	0,79	0,25	0,50	0,50	0,99	0,20	0,85	0,79	0,25
<i>Inversor_009</i>	0,93	0,38	0,85	0,93	-0,5	0,50	0,50	0,99	0,38	0,85	0,93	-0,5
<i>Inversor_010</i>	0,73	0,52	0,87	0,76	0,85	0,50	0,50	0,99	0,51	0,88	0,73	0,85
<i>Inversor_011</i>	0,52	0,89	0,91	0,51	0,85	0,50	0,50	0,99	0,89	0,91	0,51	0,85
<i>Inversor_012</i>	0,80	0,52	0,79	0,80	0,25	0,50	0,50	0,99	0,51	0,79	0,80	0,25
<i>Inversor_013</i>	0,64	0,39	0,91	0,64	1,00	0,50	0,50	0,99	0,39	0,91	0,64	1,00
<i>Inversor_014</i>	0,54	0,57	0,92	0,54	1,00	0,50	0,50	0,99	0,57	0,92	0,54	1,00
<i>Inversor_015</i>	0,59	0,68	0,79	0,60	0,88	0,52	0,50	0,99	0,59	0,85	0,59	0,95

Fonte: Elaboração própria.

Nas Figuras 5.45 a 5.56, são apresentados os resultados gráficos da proposta de estudo da distribuição de frequência e ao lado a interpolação polinomial do Grau de Certeza mínimo em relação ao número de inversores. Vale frisar que, a reta vermelha paralela ao eixo das ordenadas é a linha limítrofe do Nível de Exigência (NE), ou seja, $NE = 0,50$. É importante perceber o comportamento do pior resultado de cada ensaio, ou seja, o Grau de Certeza mínimo a fim de estabelecer um “aperto” dos novos critérios desses ensaios.



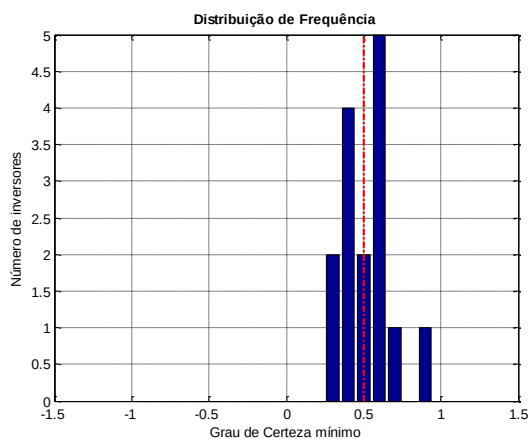
(a)



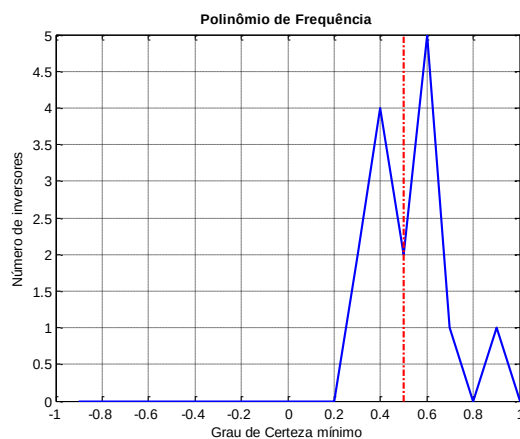
(b)

Figura 5.45 – Grau de Certeza mínimo em relação ao número de inversores do ensaio de autoconsumo: (a) Distribuição de Frequência e (b) Polinômio da frequência.

Fonte: Elaboração própria.



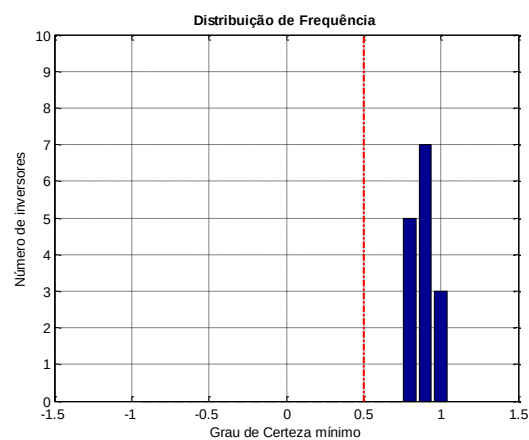
(a)



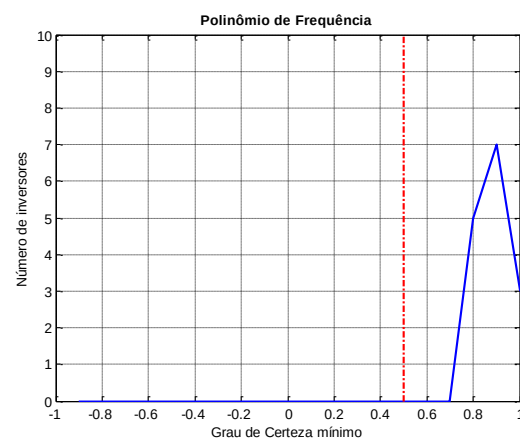
(b)

Figura 5.46 – Grau de Certeza mínimo em relação ao número de inversores do ensaio de eficiência energética para tensão nominal em condição normal: (a) Distribuição de frequência e (b) Polinômio da frequência.

Fonte: Elaboração própria.



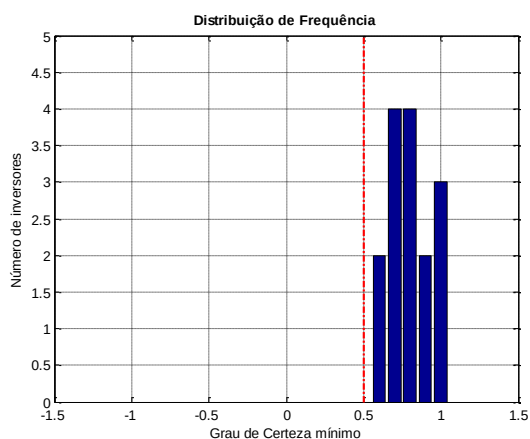
(a)



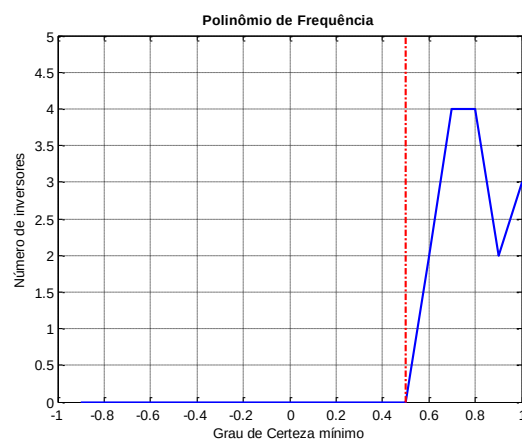
(b)

Figura 5.47 – Grau de Certeza mínimo em relação ao número de inversores do ensaio de distorção harmônica em condição normal: (a) Distribuição de frequência e (b) Polinômio da frequência.

Fonte: Elaboração própria.



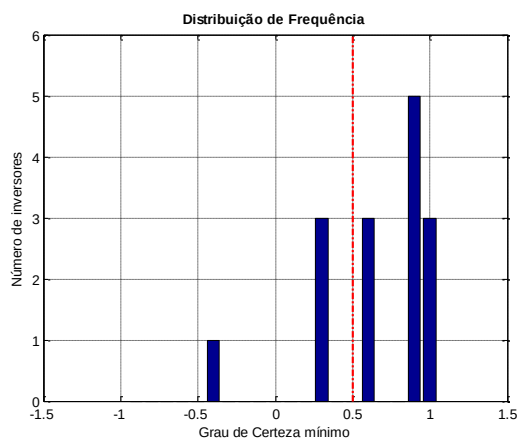
(a)



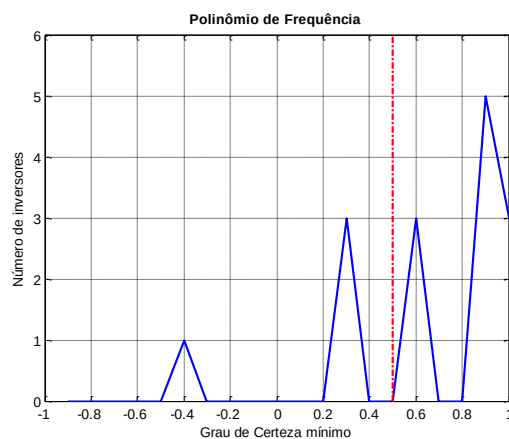
(b)

Figura 5.48 – Grau de Certeza mínimo em relação ao número de inversores do ensaio de regulação de tensão em condição normal: (a) Distribuição de frequência e (b) Polinômio da frequência.

Fonte: Elaboração própria.



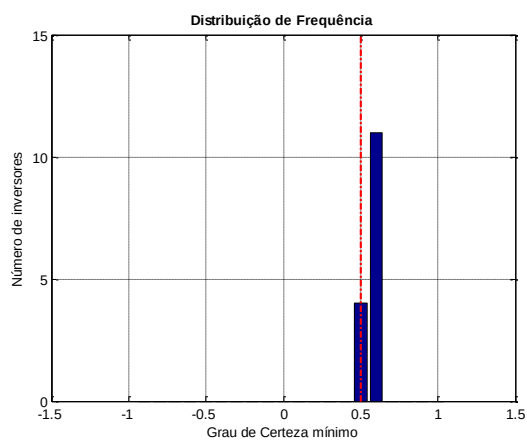
(a)



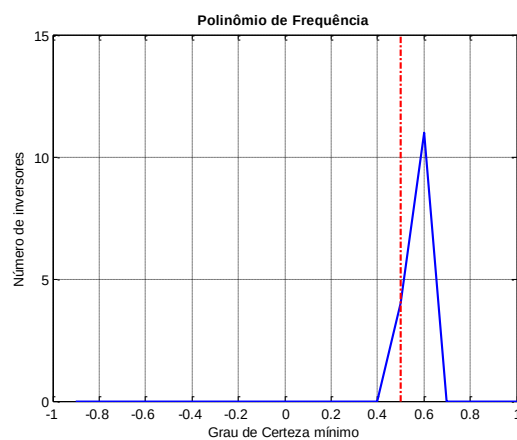
(b)

Figura 5.49 – Grau de Certeza mínimo em relação ao número de inversores do ensaio de frequência em condição normal: (a) Distribuição de frequência e (b) Polinômio da frequência.

Fonte: Elaboração própria.



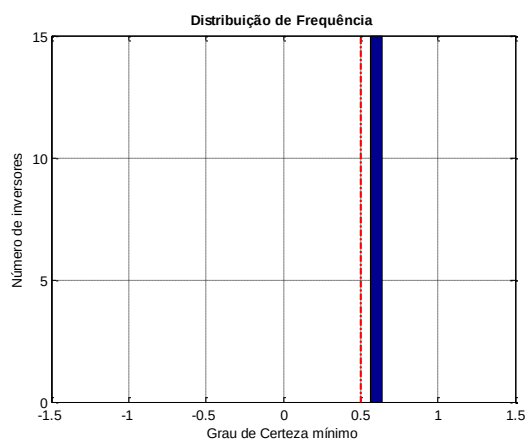
(a)



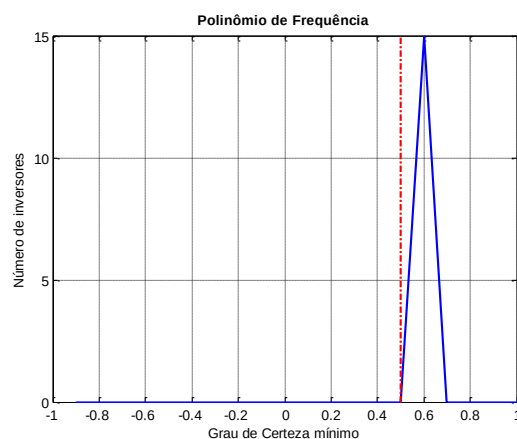
(b)

Figura 5.50 – Grau de Certeza mínimo em relação ao número de inversores do ensaio de sobrecarga: (a) Distribuição de frequência e (b) Polinômio da frequência.

Fonte: Elaboração própria.



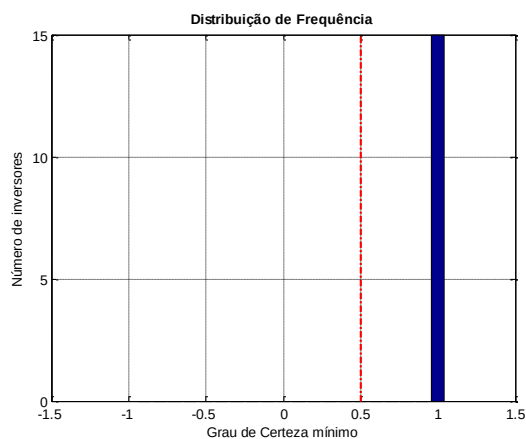
(a)



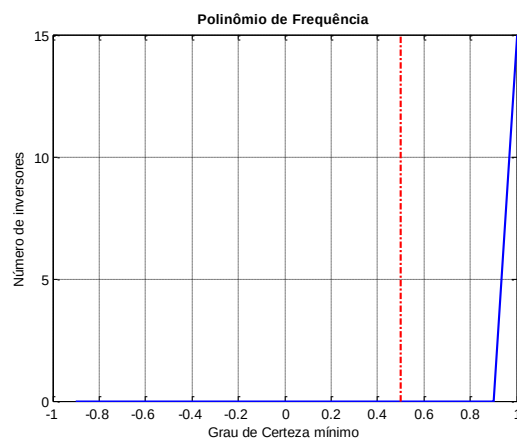
(b)

Figura 5.51 – Grau de Certeza mínimo em relação ao número de inversores do ensaio de proteção contra inversão de polaridade: (a) Distribuição de frequência e (b) Polinômio da frequência.

Fonte: Elaboração própria.



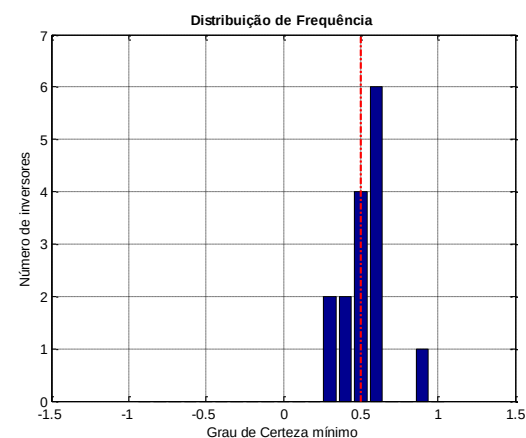
(a)



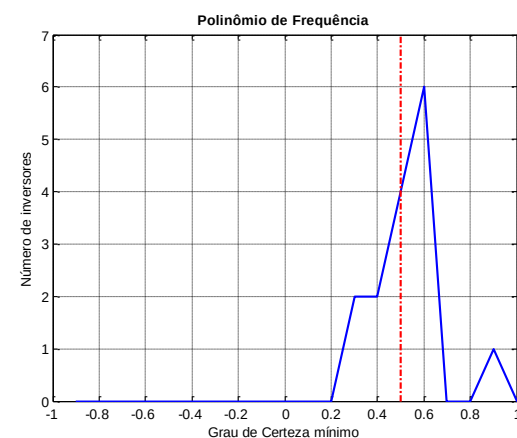
(b)

Figura 5.52 – Grau de Certeza mínimo em relação ao número de inversores do ensaio de proteção contra curto-circuito: (a) Distribuição de frequência e (b) Polinômio da frequência.

Fonte: Elaboração própria.



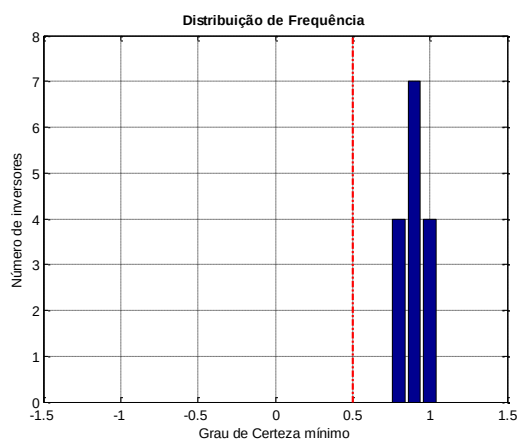
(a)



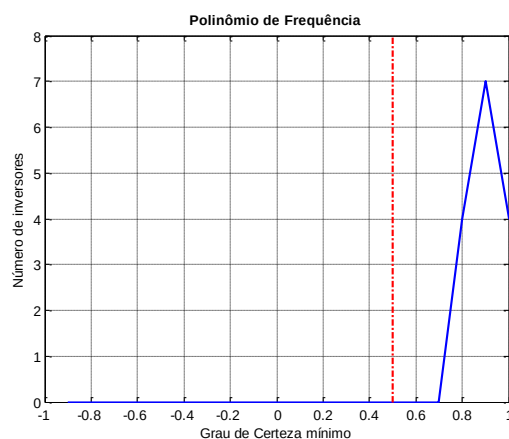
(b)

Figura 5.53 – Grau de Certeza mínimo em relação ao número de inversores do ensaio de eficiência energética para tensão nominal em condição extrema: (a) Distribuição de frequência e (b) Polinômio da frequência.

Fonte: Elaboração própria.



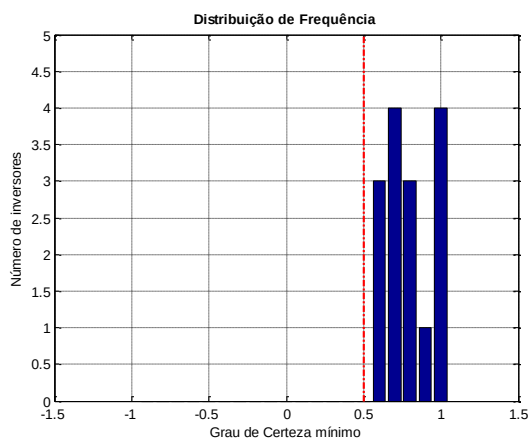
(a)



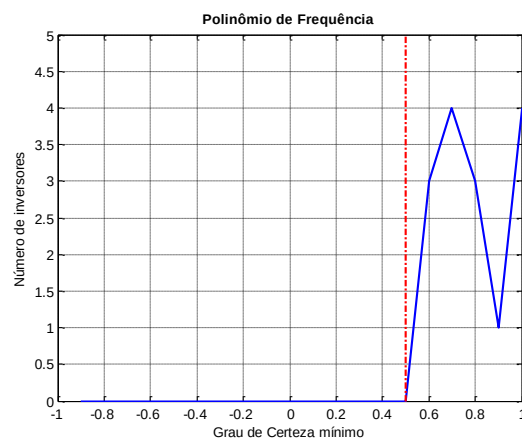
(b)

Figura 5.54 – Grau de Certeza mínimo em relação ao número de inversores do ensaio de distorção harmônica para tensão nominal em condição extrema: (a) Distribuição de frequência e (b) Polinômio da frequência.

Fonte: Elaboração própria.



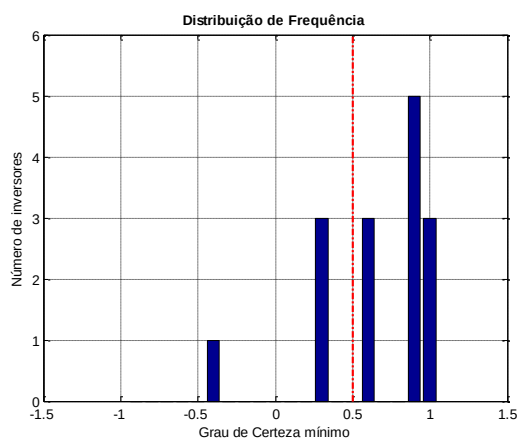
(a)



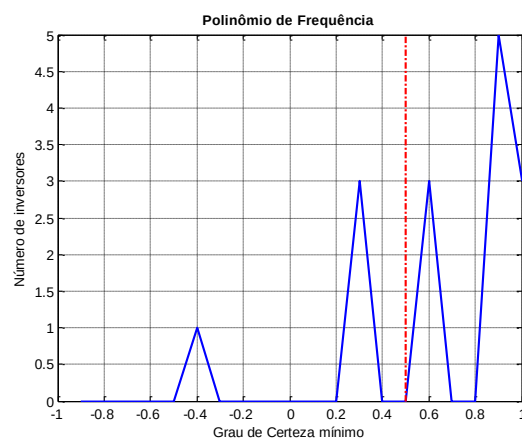
(b)

Figura 5.55 – Grau de Certeza mínimo em relação ao número de inversores do ensaio de regulação de tensão em condição extrema: (a) Distribuição de frequência e (b) Polinômio da frequência.

Fonte: Elaboração própria.



(a)



(b)

Figura 5.56 – Grau de Certeza mínimo em relação ao número de inversores do ensaio de frequência em condição extrema: (a) Distribuição de frequência e (b) Polinômio da frequência.

Fonte: Elaboração própria.

Uma segunda proposta de estudo se relaciona ao “aperto” dos critérios de cada ensaio visando da Portaria INMETRO a fim de estabelecer novos padrões. Percebe-se que, os resultados do ensaio de frequência e de eficiência energética são os mais críticos. Então, um estudo sobre um “aperto” de critério do ensaio de frequência e de eficiência energética representa quanto de impacto no número de inversores em conformidade.

Novos estudos e propostas também podem ser implementados usando os dados processados da ferramenta computacional conforme a necessidade vigente, pois o uso do MPDM é flexível e descrito em linguagem MATLAB.

5.5. Considerações finais

Esta seção primária (5) mostrou detalhadamente os três procedimentos do MPDM usado nesta dissertação, a saber: (1) pré-processador; (2) processador e (3) pós-processador.

Na seção secundária (5.2) sob o título “pré-processador”, foi elaborado a descrição do diagrama de blocos dado na Figura 5.1, onde cada bloco deste diagrama representava uma seção terciária a ser apresentada e descrita com pormenores. Foram detalhados como é realizado o procedimento de ensaio dos inversores *off grid* conforme a Portaria INMETRO 004/2011 e também como se representou as proposições da LPA E τ com cada medição no laboratório. Mostrou-se como se fez a classificação dos ensaios em critério do tipo “passa-baixa” ou “passa-alta” ou “passa-faixa”. Finalizou-se, o pré-processamento, com a elaboração do banco de dados com os graus de evidências favorável e contrária com a possibilidade de inserção de pesos, o que, nesta dissertação, atribuiu-se o peso unitário.

Na seção secundária (5.3), sob o título “processador”, foi mostrado como se cálculos utilizando os operadores MÍN e MÁx. Estes estão associados diretamente aos cálculos do Grau de Certeza mínimo e do Grau de Certeza máximo respectivamente. A ferramenta computacional com sua flexibilidade também calcula outros operadores como AND e OR, não necessário, para esta dissertação. Todavia, a ideia de valor mais crítico do Grau de Certeza mínimo e o menos crítico do Grau de Certeza mínimo, como a forma análoga, para o Grau de Certeza máximo foi utilizada a fim de encontrar o pior valor dos piores anotações (ou medidas), o pior valor das melhores medidas, o melhor valor das piores medidas e o melhor valor das melhores medidas. Foram identificados os inversores *off grid* de melhor e de pior performance para cada um dos doze ensaios.

Na seção secundária (5.4), são colocadas duas propostas de estudos para subsidiar o Regulamento Específico para inclusão de inversores *off grid* no portfólio Selo Procel. O

primeiro estudo proposto se refere à distribuição da frequência absoluta dada pelo número de inversores em relação ao Grau de Certeza mínimo (i.e. que expressa os piores resultados). A finalidade é de identificar o comportamento da curva dos inversores *off grid*, que pode ser visualizado pelo gráfico da interpolação polinomial. É interessante observar que o Nível de Exigência a 0,50 é o limite entre os inversores *off grid* em conformidade com o ensaio ou não. A proposta de um segundo estudo está na hierarquia obtida (cf. Tabela 5.33) quando se traçou as anotações resultantes e se calculou o Grau de Certeza mínimo para cada ensaio. Esta proposta se refere a um “aperto” dos critérios de ensaios, onde se identifica que o ensaio a ser estudado é o de frequência e de eficiência energética nas duas condições.

A ferramenta computacional se mostrou satisfatória e outros estudos devem ser elaborados com uma quantidade maior de inversores a fim de sempre ter um banco de dados que representa a realidade vigente.

6. Conclusão

O objetivo geral desta dissertação foi oferecer uma metodologia que auxilie no estudo de viabilidade técnica por meio de relatórios de avaliação da conformidade de equipamentos. Utilizaram-se dados sob a égide da Eletrobras de inversores *off grid* devido a estes contemplar os três critérios de classificação de ensaios, a saber: o passa-baixa, passa-alta e o passa-faixa (cf. seção 5.2.3). Para isso, foram elaborados quatro capítulos a fim de cumprir o objetivo desta dissertação. O meio para fazer o estudo da avaliação da conformidade apresentado nesta dissertação é o Método Paraconsistente de Decisão Modificado (MPDM). A seguir, são mostradas as considerações finais dos capítulos desta dissertação.

Na seção (2), foram expostas as características técnicas e normativas associados ao Inversor para Sistema Fotovoltaico (ISF) e o estado da arte dos programas de etiquetagem em inversores nos contextos: alemão, mexicano e indiano. Além disso, apresentou-se o contexto nacional, onde os inversores para sistema fotovoltaico são regidos pela Portaria INMETRO n°. 004/2011 com retificações dadas pela redação da Portaria Inmetro n° 357/2014 (INMETRO, 2014). Então, chegou-se à conclusão no final desta seção (2), que os fatores de influência dos inversores *off grid* para um estudo de avaliação da conformidade são os critérios adotados nos doze ensaios descritos na Portaria INMETRO 004/2011 (INMETRO, 2011).

Na seção (3), foram apresentados o pano de fundo histórico da LP até a LPA $E\tau$ e as noções fundamentais da LPA $E\tau$. Os conceitos de grau de evidência favorável (μ_1) e grau de evidência contrária (μ_2) foram apresentados e exemplificados. Além disso, o Grau de Certeza (G_C) e o Grau de Incerteza (G_I) também foram definidos. É neste contexto que, foram destacadas as relações existentes entre G_C e G_I com μ_1 e μ_2 formuladas na Eq. 3.12 e na Eq. 3.13. Destaca-se a informação que os pontos pertencentes ao Segmento Perfeitamente Definido (SPD) mostrado na Figura 3.9 se comportam como dentro dos princípios da lógica clássica, onde $\mu_1 + \mu_2 = 1.00$. As proposições atômicas do tipo $p_i(\mu_1, \mu_2)$ ou do tipo $q_i(\mu_1, \mu_2)$ são conceituadas. Já o cálculo para obtenção de proposição molecular por meio de operadores lógicos usados na LPA $E\tau$ forma explicitados. Além disso, foram apresentados cinco operadores na seção (3.4.1). Enfatiza-se que para o MPDM os operadores lógicos utilizados foram o minimizante (MÍN) e o maximizante (MÁX), devido ao comportamento das proposições atômicas (ou medidas dos ensaios) que perseguem aproximadamente o SPD. Finaliza-se a seção (3) mostrando o dispositivo (ou algoritmo) para-analisador em μ_1 e μ_2 com

suas doze regiões, onde se destacou o triângulo inferior a direita. Este representa a região do estado lógico da Verdade. Com isso, a interpretação dada no MPDM descrito na seção (5) é: o elemento, ou seja, a medida do ensaio ou a proposição pertencente ao conjunto da região triangular supramencionada está em conformidade com a legislação vigente (INMETRO, 2011) caso contrário, não está em conformidade e o equipamento está reprovado no ensaio em avaliação.

Na seção (4), foram descritos dois exemplos com o uso do MPD a fim de mostrar as etapas desse método. O MPD foi cunhado na tese doutoral de Fabio de Carvalho (2006) e este método é assentado na Lógica Paraconsistente Anotada Evidencial $E\tau$ e no conceito de dispositivo (ou algoritmo) para-analisador. Mostrou-se também como F. R. de Carvalho (2006) utiliza o Método da Análise do Baricentro (MAB) para responder a questão da anotação resultante dos fatores de influência. As doze áreas do dispositivo para-analisador foram apresentadas. Além disso, a interpretação dada para cada região do para-analisador em relação ao valor lógico ou valoração também foi exposta. Percebeu-se que, no MPD a região do triângulo inferior à direita é interpretada como a área de viabilidade e o triângulo superior à esquerda é a área de inviabilidade. As dez regiões restantes são denominadas no MPD para um estudo de tomada de decisão como “não conclusiva”, ou seja, não é viável nem inviável.

Na seção (5), é um cotejamento dos conceitos apresentados do LPA $E\tau$, do dispositivo para-analisador e do MPD. As adequações e as modificações necessárias ao MPD devido às peculiaridades do estudo da avaliação da conformidade foram feitas e o código fonte foi elaborado por meio da linguagem MATLAB. E esse método *ad hoc* foi denominado de Método Paraconsistente de Decisão Modificado (MPDM). Para fins de apresentação, o MPDM foi dividido em três procedimentos, a saber: (1) pré-processamento, (2) processamento e (3) pós-processamento.

Em relação ao procedimento de pré-processamento, a seleção dos fatores de influência em conjuntos e a adequação das proposições da LPA $E\tau$, a conversão do sistema internacional para o sistema por unidade, a formulação de classificação dos ensaios em critérios do tipo passa-baixa, passa-alta e passa-faixa, o cálculo do mínimo da função erro quadrático para os modelos matemáticos dos ensaios de inversores *off grid*, o cálculo de μ_1 e μ_2 como função de G_C e G_I e a elaboração de um banco de dados específicos com inclusão de pesos foram contribuições do MPDM ao estudo da avaliação da conformidade. Nesta dissertação, não foi necessário o uso de pesos, uma vez que, todos os ensaios devem merecer igual tratamento.

Em relação ao processador, o uso do operador lógico minimizante (MÍN) permitiu a identificação das proposições (ou medidas de ensaios) com o $G_{C(mín)}$. Com esse resultado, apresenta-se um vetor de $G_{C(mín)}$, onde se pode filtrar a medida do ensaio do inversor *off grid* mais crítica daquelas com Grau de Certeza mínimo (i.e. menor $G_{C(mín)}$), como também, a medida menos crítica daquelas com Grau de Certeza mínimo (i.e. maior $G_{C(mín)}$). De forma análoga, o uso do operador lógico maximizante (MÁX) remeteu aos resultados de menor $G_{C(máx)}$ e de maior $G_{C(máx)}$. Os ensaios foram realizados por Laboratórios de 3ª parte e os relatórios de ensaio de desses inversores estão sob a égide da Eletrobras. A Figura 5.10 mostrou o esquema das operações lógicas do 1º e do 2º estágios. A saída do segundo estágio é o cálculo das anotações resultantes do ensaio proposto, que é diferente do MAB utilizado no MPD. Com isso, se conclui que para os quinze inversores *off grid* sob o crivo dos doze ensaios da Portaria INMETRO 004/2011 (INMETRO, 2011), deve-se concentrar os esforços nos ensaios de frequência e de eficiência energética em condições normal e extrema como prioridade. É importante ressaltar que esse resultado não minimiza a importância dos demais ensaios.

Em relação ao pós-processador, foram oferecidas duas sugestões de estudo. A primeira se refere a uma passagem dos resultados do dispositivo para-analisador para dados de distribuição de frequência e de polinômio de frequência. Esses resultados apontam para o comportamento do equipamento para cada ensaio. Já o segundo estudo se refere ao “aperto” dos índices para o Selo Procel, ou seja, qual(is) critério(s) deve(m) ser alterado(s) frente aos novos avanços tecnológicos? Outros estudos específicos podem ser realizados uma vez que as proposições foram processadas, como por exemplo: estudos da economia de energia, estudos comparativos entre ensaios, estudos para determinação de famílias, estudos para identificar a pior e a melhor tecnologia por ensaio, ou seja, o menor $G_{C(máx)}$ e o maior $G_{C(máx)}$ *et cetera*.

As contribuições aqui mencionadas podem ser aplicadas para outras áreas do conhecimento. Também, é digno de registro que, os programas computacionais do MPDM e correlatos estão sendo estendidos para o uso em outros equipamentos por meio de uma Interface Gráfica Usuário denominada CONFORME (em versão preliminar). Esta tem ferramentas específicas a fim de elaborar um estudo de avaliação da conformidade para inclusão (ou não) de inversores e outros equipamentos no portfólio do Selo Procel.

7. Referências

7.1. Referências sobre Inversores para Sistemas Fotovoltaicos

- ABNT (2012). **ABNT NBR IEC 62116:2012** – Procedimentos de ensaio de anti-ilhamento para inversores de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica. Rio de Janeiro, 2012.
- ABNT (2013a). **ABNT NBR 16149:2013** – Sistemas Fotovoltaicos (FV) – Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição. Rio de Janeiro, 2013.
- ABNT (2013b). **ABNT NBR 16150:2013** – Sistemas Fotovoltaicos (FV) – Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição – Procedimentos de ensaio de conformidade. Rio de Janeiro, 2013.
- BEE (2006). **Energy Efficiency Labels: Details of Scheme for Energy Efficiency Labeling**. New Delhi, Bureau of Energy Efficiency [Ministry of Power, Govt. of India], May 2006. 16 pp.
- BEE (2013). **Reference Manual for Existing Agencies Migrated to new BEE S&L Web Portal**. New Delhi, Bureau of Energy Efficiency [Ministry of Power, Govt. of India], June 2013. 20 pp.
- BEE (2014). **Schedule No.: 17 – Solid State Inverters**. New Delhi, Bureau of Energy Efficiency [Ministry of Power, Govt. of India], 11th August, 2014. 10 pp.
- BENEDITO, Ricardo da S. (2009). **Caracterização da geração distribuída de eletricidade por meio de sistemas fotovoltaicos conectados à rede, no Brasil, sob aspectos técnico, econômico e regulatório**. Dissertação (Mestrado em Energia) – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 29 de outubro de 2009. 110p.
- BIS (1992). **IS 13.314: 1992 – Solid state inverters run from storage batteries** [ETD 31: Power Electronics]. New Delhi, Bureau of Indian Standards, January 1992. 11 pp.
- CHIVELET, N. M.; CHENLO-ROMENO, F.; ALONSO-GARCIA, M. C. (1994). Modelado y Fiabilidad de los inversores para Instalaciones Fotovoltaicas Autónomas a partir de medidas con cargas resistivas y reactivas. **7th Congreso Ibérico de Energía Solar**, España, pp. 463-468, 1994.
- FERREIRA, Maria J. G (1993). **Inserção da energia solar fotovoltaica no Brasil**. Dissertação (Mestrado em Energia) – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 1993. 168p.
- FIDE (2012). **Especificación Sello Fide n°. 4176 – Inversores de Voltaje para Sistemas Fotovoltaicos**. Revisão 1. Cidade do México: Fideiconiso para el Ahorro de Energía Eléctrica, 2012. Documento assinado em: 20 de fevereiro de 2012. Última atualização em: 25 de abril de 2014. 6 pp. Disponível em: <http://www.fide.org.mx/images/stories/sellofide/4176_rev01.pdf>. Acesso em: 9 mai. 2014.
- GONZÁLEZ, R.; LÓPEZ, I.; SANCHIS, P.; MARROYO, L. (2007). Transformerless Inverter for Single-Phase Photovoltaic System. **IEEE Transactions on Power Electronics**, vol. 22, n. 2, pp. 693-697, 2007.

- IEC (1992a). **IEC 61.215**: Crystalline Silicon Terrestrial Photovoltaic (PV) Modules – Design Qualification and Type Approval. New York: IEEE Standards Board, June 18, 1992.
- IEC (1992b). **IEC 61.701**: Salt Mist Corrosion of Photovoltaic (PV) Modules. New York: IEEE Standards Board, June 18, 1992.
- IEEE (1992). **IEEE Standard 519**: IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems. New York: IEEE Standards Board, June 18, 1992.
- IEEE (2000). **IEEE Standard 929**: IEEE Recommended Practices for Utility Interface of Photovoltaic (PV) Systems. New York: IEEE Standards Board, April 3, 2000.
- IEEE (2002a). **IEEE Standard 1144**: IEEE Recommended Practice for Sizing Nickel-Cadmium Batteries for Photovoltaic (PV) Systems. New York: IEEE Standards Board, August 6, 2002.
- IEEE (2002b). **IEEE Standard 1145**: IEEE Recommended Practice for Installation and Maintenance of Nickel-Cadmium Batteries for Photovoltaic (PV) Systems. New York: IEEE Standards Board, August 6, 2002.
- IEEE (2002c). **IEEE Standard 1262**: IEEE Recommended Practice for Qualification of Photovoltaic (PV) Modules. New York: IEEE Standards Board, August 6, 2002.
- IEEE (2002d). **IEEE Standard 1361**: IEEE Guide for Selection, Changing, Test, and Evaluation of Lead-Acid Batteries Used in Stand-Alone Photovoltaic (PV) Systems. New York: IEEE Standards Board, February 6, 2004.
- IEEE (2003). **IEEE Standard 1547**: IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems. New York: IEEE Standards Board, August 26, 2003.
- IEEE (2005). **IEEE Standard 1513**: IEEE Recommended Practice for Qualification of Concentrator Photovoltaic (PV) Receiver Sections and Modules. New York: IEEE Standards Board, August 7, 2002.
- IEEE (2005). **IEEE Standard 1547.1**: IEEE Standard Conformance Test Procedures for Equipment Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems. New York: IEEE Standards Board, August 1, 2005.
- IEEE (2007). **IEEE Standard 937**: IEEE Recommended Practice for Installation and Maintenance of Lead-Acid Batteries for Photovoltaic (PV) Systems. New York: IEEE Standards Board, June 18, 2007.
- IEEE (2008). **IEEE Standard 1547.3**: IEEE Guide for Monitoring, information Exchange, and Control of Distributed Resources Interconnected with Electric Power Systems. New York: IEEE Standards Board, January 16, 2008.
- IEEE (2008). **IEEE Standard 1562**: IEEE Guide for Array and Battery Sizing in Stand-Alone Photovoltaic (PV) Systems. New York: IEEE Standards Board, May 12, 2008.
- IEEE (2008). **IEEE Standard 1661**: IEEE Guide for Test and Evaluation of Lead-Acid Batteries Used in Photovoltaic (PV) Hybrid Power Systems. New York: IEEE Standards Board, February 8, 2008.
- IEEE (2009). **IEEE Standard 1159**: IEEE Recommended Practices for Monitoring Electric Power Quality. New York: IEEE Standards Board, June 26, 2009.

- IEEE (2009). **IEEE Standard 1547.2**: IEEE Application Guide for IEEE Std 1547, IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems. New York: IEEE Standards Board, April 15, 2009.
- IEEE (2011). **IEEE Standard 1547.4**: IEEE Guide for Design, Operation, and Integration of Distributed Resources Island with Electric Power Systems. New York: IEEE Standards Board, July 21, 2011.
- IEEE (2011). **IEEE Standard 1547.6**: IEEE Recommended Practice for Interconnecting Distributed Resources with Power Systems Distribution Secondary Networks. New York: IEEE Standards Board, September 12, 2011.
- INMETRO (2011). **Portaria Inmetro nº 004**, de 4 de janeiro de 2011. 49 pp. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/rtac001652.pdf>>. Acesso em: 8 abr. 2015.
- INMETRO (2014). **Portaria Inmetro nº 357**, de 1 de agosto de 2014. 2 pp. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC002145.pdf>>. Acesso em: 8 abr. 2015.
- INMETRO (2015). **Orientações gerais para fabricantes e importadores sobre a Regulamentação de equipamentos para geração de energia fotovoltaica**. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC), Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). Atualizado em: 18 nov. 2015. Disponível em: <http://www2.inmetro.gov.br/pbe/pdf/guia_de_orientacoes_PBE_fotovoltaico.pdf>. Acesso em: 30 dez. 2015.
- JANTSCH, M.; SCHIMIDT, H.; SCHMID, J. (1992). Results of the concerted action on power conditioning and control. **11th European Photovoltaic Solar Energy Conference**, Montreaux, Suíça, pp. 1589-1593, 1992.
- KEATING, L.; MAYER, D.; MCCARTHY, S.; WRIXON, G. T. (1991). Concerted Action on Computer Modeling and Simulation. **European Photovoltaic Solar Energy Conference**, Lisboa, Portugal, 1991.
- KJAER, S. B.; PEDERSEN, J. K.; FELLOW, F. B. (2005). A review of single-phase grid-connected inverters for photovoltaic modules. **IEEE Transactions on Industry Applications**, vol. 41, n. 5, pp. 1292-1306, 2005.
- MACÊDO, Wilson N (2006). **Análise do Fator de Dimensionamento do inversor aplicado a sistemas fotovoltaicos conectados à rede**. Tese (Doutorado em Energia) – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2006. 201 pp.
- MOCELIN, André R. (2007). **Implantação e gestão de sistemas fotovoltaicos domiciliares: Resultados operacionais de um projeto piloto de aplicação da Resolução ANEEL Nº 83/2004**. Dissertação (Mestrado em Energia) – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 27 de abril de 2007.
- PINTO NETO, Aimé F. de C (2012). **Qualificação e etiquetagem de inversores para sistemas fotovoltaicos conectados à rede**. Dissertação (Mestrado em Energia) – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2012. 141 pp.

- PINTO NETO, Aimé; ZILLES, Roberto; ALMEIDA, M. (2011). Eficiência brasileira de inversores para sistemas fotovoltaicos conectados à rede. **Avances em Energías Renovables y Medio Ambiente**, v. 15, pp. 04.09 – 04.15, 2011.
- PRIEB, César W. M. (2011). **Determinação da eficiência de seguimento de máxima potência de inversores de sistemas fotovoltaicos conectados à rede de distribuição**. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 21 de dezembro de 2011. 141 pp.
- RAL GGBH (2012). **Basic Criteria for Award of the Enviromental Label – Photovoltaic Inverters RAL-UZ 163**. Sankt Augustin, RAL gGmbH, January 2012.
- RAMPINELLI, Guiliano A. (2010). **Estudo de características elétricas e térmicas de inversores para sistemas fotovoltaicos conectados à rede**. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 10 de dezembro de 2010. 285 pp.
- URBANETZ JR, Jair (2010). **Sistemas fotovoltaicos conectados a redes de distribuição urbanas: sua influência na qualidade da energia elétrica e análise dos parâmetros que possam afetar a conectividade**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina (UFRGS), Florianópolis, 2010. 189 pp.

7.2. Referências sobre Lógica

- ABE, Jair M. (1992). **Fundamentos da Lógica Anotada**. 1992. 98 pp. Tese (Doutorado em Filosofia) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas (FFLCH), Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 1992.
- ABE, Jair M.; DA SILVA FILHO, João Inácio (2003). Manipulating conflits and uncertainties in robotics. **Mutiple-Valued Logic and Soft Computing**, vol. 9, n°. 2, pp.147-169, 2003.
- ABE, Jair M.; DA SILVA FILHO, João Inácio; CELESTINO, Uanderson; DE ARAUJO, Hélio C. (2011). **Lógica Paraconsistente Anotada Evidencial Et**. São Paulo, [apostila editada pelos autores], 121 pp., 2011;
- ABE, Jair M. (1997). Some Aspects of Paraconsistent Systems and Applications. **Logique et Analyse**, 157, pp. 83-96, 1997.
- ARISTÓTELES (2005a). **Metafísica**. Trad. Edson Bini. Bauru, SP: EDIPRO, 2005.
- ARISTÓTELES (2005b). **Órganon**: Categorias, Da interpretação, Analíticos anteriores, Analíticos posteriores, Tópicos, Refutações sofisticas. Trad. Edson Bini. Bauru, SP: EDIPRO, 2005.
- ARRUDA, Ayda I. (1964). **Considerações sobre os sistemas formais NF_n**. 55p. Tese (Cátedra em Análise Matemática e Análise Superior) – Universidade do Paraná, Curitiba, 1964.
- ARRUDA, Ayda I. (1970a). Sur une hiérarchie de systèmes formales. **Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences**. Paris: Institut de France. Série A, vol. 259, pp. 1081-1084, 1970.

- ARRUDA, Ayda I. (1970b). Sur les systèmes formales NF_i de da Costa. **Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences**. Paris: Institut de France. Série A, vol. 270, pp. 2943-2945, 1970.
- ARRUDA, Ayda I. (1975). Remarques sur les systèmes C_n . **Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences**. Paris: Institut de France. Série A, vol. 280, pp. 1253-1256, 1975.
- ARRUDA, Ayda I. (1977). On the imaginary logic of N. A. Vasilev. In: ARRUDA, Ayda I.; DA COSTA, Newton C. A.; CHUAQUI, R. (eds.). **Latin American Symposium on Mathematical Logic**. Amsterdam: North-Holland [Studies in Logic and the Foundations of Mathematics, 89], pp. 3-22, 1977.
- ARRUDA, Ayda I. (1980). A survey of paraconsistent logic. In: ARRUDA, Ayda I.; DA COSTA, Newton C. A.; CHUAQUI, R. (orgs.). **Latin American Symposium on Mathematical Logic**, IV – 1978. Amsterdam: North-Holland [Synthese Historical Library, 9], pp. 1-41, 1980.
- ARRUDA, Ayda I. (1981). Remarks on da Costa's paraconsistent set theories. In: **Latin American Symposium on Mathematical Logic**, 1981.
- ARRUDA, Ayda I. (1984). N. A. Vasilev forerunner of paraconsistent logic. **Philosophia Naturalis**, vol. 21, pp. 427-491, 1984.
- ARRUDA, Ayda I. (1989). Aspects of the historical development of paraconsistent logic. In: PRIEST, Graham; ROUTLEY, Richard; NORMAN, Jean. **Paraconsistent logic: essays on the inconsistent**. München: Philosophia Verlag, p. 99-130, 1989.
- ARRUDA, Ayda I. (1990). **N. A. Vasiliev e a Lógica Paraconsistente**. Campinas: UNICAMP, Centro de Lógica, Epistemologia e História da Ciência, Coleção CLE, v. 7, 1990.
- ÁVILA, Braulio C. (1996). **Uma abordagem paraconsistente baseada em lógica evidencial para tratar exceções em sistemas de frames com múltipla herança**. 133p. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.
- BELL, John L.; MACHOVER, Moshé (1997). **A Course in Mathematical Logic**. Amsterdam: North-Holland, 1997.
- BÉZIAU, Jean-Yves. (1990). **La Logique Paraconsistente C_1 de Newton da Costa**. Dissertação de Mestrado, Universidade de Paris VII, 1990.
- BÉZIAU, Jean-Yves. (1998). A Lógica Paraconsistente: História de uma Revolução Conceitual. In: DA COSTA, Newton C. A.; BÉZIAU, Jean-Yves; BUENO, Otávio (1998). **Elementos de Teorias de Conjuntos Paraconsistentes**. Campinas: UNICAMP, Centro de Lógica, Epistemologia e História da Ciência, Coleção CLE, vol. 23, pp. 99-112, 1998.
- BLAIR, Howard A.; SUBRAHMANIAN, V. S. (1987). Paraconsistent logic programming. **Foundations of Software Technology and Theoretical Computer Science**, pp. 340-360, 1987.
- BLAIR, Howard A.; SUBRAHMANIAN, V. S. (1988). Paraconsistent foundations for logic programming. **Journal of non-classical logic**, vol. 5, n°. 2, pp. 45-73, 1988.
- BLANCHÉ, Robert (2001). **História da Lógica**. Trad. A. P. Ribeiro e P. E. Duarte. Lisboa: Edições 70, 2001.

- BOBENRIETH MISERDA, Andrés. (1996). **Inconsistencia ¿Por qué no? Un estudio filosófico sobre la paraconsistente**. Bogotá: Tercer Mundo, 1996.
- BOBENRIETH MISERDA, Andrés. (2010). The origins of the use the argument of trivialization in the twentieth century. **History and Philosophy of Logic**, July – December, vol. 31, n. 2, pp. 111-121.
- BOCHENSKI, Józef M. (1957). **Ancient formal logic**. 2nd ed. Amsterdam: North-Holland [Studies in Logic and the Foundations of Mathematics], 1957.
- BOCHENSKI, Józef M. (1966). **Historia de la Logica Formal**. [Ed. Espanola de M B Lozano]. Madrid: Editorial Gredos.
- BOCHVAR, D. (1939). On a three-valued logical calculus and its applications to the analysis of contradictions. **Mathematičeský Sbornik** [Recueil Mathématique], n.s., 4, pp. 287-300, 1939.
- BORKOWSKI, L. (ed.) (1970). **Selected Works of Lukasiewicz**. NorthHolland, 1970.
- BRANQUINHO, João; MURCHO, Desidério; GOMES, Nelson G. (2006). **Enciclopédia de Termos Lógico-Filosóficos**. São Paulo: Martins Fontes, 2006.
- CARNIELLI, Walter; CONIGLIO, Marcelo E. (2008). Aristóteles, Paraconsistentismo e a Tradição Budista. **O que nos faz pensar**, vol. 2, pp. 163-175.
- CARNIELLI, Walter; CONIGLIO, Marcelo E.; D'OTTAVIANO, Ítala M. L. (eds.) (2002). Paraconsistency the logical way to the inconsistent. **Proceedings of the World Congress held in São Paulo**, [Lecture notes in pure and applied mathematics], New York: Marcel Dekker, Inc., vol. 228, 2002.
- CASTRUCCI, Benedito (1986). **Introdução à Lógica Matemática**. 6^a ed. São Paulo: Nobel, 1986.
- CERQUEIRA, L. A.; OLIVA, A. (1979). **Introdução à Lógica**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor.
- CHURCH, Alonzo (1936). A Bibliography of Symbolic Logic. **The Journal of Symbolic Logic**, vol. 1, pp. 121-216, 1936.
- COMEY, D. D. (1965). Review of V. A. Smirnov 1962. **The Journal of Symbolic Logic**, vol. 30, pp. 368-370, 1965.
- CONWAY, J. H.; SLOANE, N. J. A. **Sphere Packings, Lattices and Groups**. New York: Springer, 1999.
- COPI, Irving M. (1981) **Introdução à Lógica**. 3a ed. Trad. Álvaro Cabral. São Paulo: Mestre Jou.
- D'OTTAVIANO, Ítala M. L (1990). On the development of paraconsistent logic and da Costa's work. **The Journal of Non-Classical Logic**, vol. 7, number ½, May-November 1990.
- D'OTTAVIANO, Ítala M. L (1991). Prefácio. In: ARRUDA, Ayda I (1990). **N. A. Vasiliev e a Lógica Paraconsistente**. Campinas: UNICAMP, Centro de Lógica, Epistemologia e História da Ciência, Coleção CLE, v. 7, 1990.
- DA COSTA, N. C. A. (1953). **O Círculo de Viena**. Curitiba: Gráfica Tipoarte. [Edição 'Prata da Casa'], 1953.

- DA COSTA, N. C. A. (1954a). **Sobre a teoria lógica da linguagem**. Curitiba: Gráfica Tipoarte. [Edição 'Prata da Casa'], 1954.
- DA COSTA, N. C. A. (1954b). **A natureza dos juízos matemáticos**. Curitiba: Gráfica Tipoarte. [Edição 'Prata da Casa'], 1954.
- DA COSTA, N. C. A. (1955). Nota sobre o teorema de Wilson. **Anuário da Sociedade Paranaense de Matemática**. Curitiba, PR: vol. 2, p. 5–6. [Primeira Série], 1955.
- DA COSTA, N. C. A. (1956a). Une généralisation du théorème de Bouniakowsky. **Anuário da Sociedade Paranaense de Matemática**. Curitiba, PR: vol. 3, p. 12–16. [Primeira Série], 1956.
- DA COSTA, N. C. A. (1956b). O estado atual da Filosofia da Matemática. **Anuário da Sociedade Paranaense de Matemática**. Curitiba, PR: vol. 3, p. 17–27. [Primeira Série], 1956.
- DA COSTA, N. C. A. (1956c). Alguns teoremas elementares sobre divisibilidade. **Anuário da Sociedade Paranaense de Matemática**. Curitiba, PR: vol. 3, p. 60–63. [Primeira Série], 1956.
- DA COSTA, N. C. A. (1957). Considerações sobre o cálculo de Heyting. **Anuário da Sociedade Paranaense de Matemática**. Curitiba, PR: vol. 4, p. 42–46. [Primeira Série], 1957.
- DA COSTA, N. C. A. (1958a). Nota sobre o conceito de contradição. **Anuário da Sociedade Paranaense de Matemática**. Curitiba, PR: vol. 1, p. 6–8. [Segunda Série], 1958.
- DA COSTA, N. C. A. (1958b). Nota sobre a lógica de Brouwer-Heyting. **Anuário da Sociedade Paranaense de Matemática**. Curitiba, PR: vol. 1, p. 9–10. [Segunda Série], 1958.
- DA COSTA, N. C. A. (1958c). Uma propriedade dos números primos. **Revista da Faculdade Católica de Filosofia do Paraná**. Curitiba, PR: vol. 3, p. 272–273, 1958.
- DA COSTA, N. C. A. (1958d). Uma questão de filosofia da matemática. **Anuário da Sociedade Paranaense de Matemática**. Curitiba, PR: vol. 1, p. 21–27, 1958.
- DA COSTA, N. C. A. (1958e). Sobre a teoria lógica da linguagem. **Revista Brasileira de Filosofia**. São Paulo, SP: vol. 8, p. 58–70, 1958.
- DA COSTA, N. C. A. (1959a). **Espaços Topológicos e Funções Contínuas**. (1959). 76p. Tese (Livre-docência em Análise Matemática e Análise Superior) – Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade do Paraná, Curitiba, 1959.
- DA COSTA, N. C. A. (1959b). Observações sobre o conceito de existência em matemática. **Anuário da Sociedade Paranaense de Matemática**. Curitiba, PR: vol. 2, p. 16–19. [Segunda Série], 1959.
- DA COSTA, N. C. A. (1959c). O significado da obra de Kurt Gödel para os fundamentos da matemática. **Revista Brasileira de Filosofia**. São Paulo: Jul.–Ago., vol. IX, n.º. 3, p. 310–319, 1959.
- DA COSTA, N. C. A. (1960a). Conceptualización de la filosofía científica. **Revista de Filosofía de la Universidad de Costa Rica**. Honduras: , vol. II, n.º. 8, p. 363–366, 1960.

- DA COSTA, N. C. A. (1960b). Correções ao artigo “Considerações sobre o cálculo de Heyting”. **Anuário da Sociedade Paranaense de Matemática**. Curitiba, PR: vol. 3. p. 16–19. [Segunda Série], 1960.
- DA COSTA, N. C. A. (1962a). **Introdução aos fundamentos da matemática**. Porto Alegre: Globo, 1962.
- DA COSTA, N. C. A. (1962b). Resenha de Kleene (1952). **Revista Brasileira de Filosofia**. vol. XII (47). p. 407–409, 1962.
- DA COSTA, N. C. A. (1962c). Resenha de Hilbert e Ackermann (1962). **Revista Brasileira de Filosofia**. vol. XII (48). p. 543–544.
- DA COSTA, N. C. A. (1962d). **Problemas atuais da lógica**. São Paulo: Instituto Brasileiro de Filosofia; Fortaleza: Imprensa Universitária do Ceará, 1962.
- DA COSTA, N. C. A. (1962e). **Sobre um subsistema do cálculo proposicional clássico**. Ciência e Cultura. São Paulo: Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência. vol. 14, n.º. 3, 1962.
- DA COSTA, N. C. A. (1963a). **Sistemas formais inconsistentes**. (Mar., 1963). Tese (Cátedra em Análise Matemática e Análise Superior) – Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, Universidade do Paraná, Curitiba; Rio de Janeiro: Núcleo de Estudos e Pesquisas Científicas do Rio de Janeiro (NEPEC).
- DA COSTA, N. C. A. (1963b). Calculs propositionnels pour le systèmes formels inconsistants. **Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l’Académie des Sciences**. Paris: Institut de France. Série A–B, vol. 257. p. 3790–3793, 1963.
- DA COSTA, N. C. A. (1964a). Calculs des prédicats pour les systèmes formels inconsistants. **Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l’Académie des Sciences**. Paris: Institut de France. Série A, vol. 258. p. 27–29, 1964.
- DA COSTA, N. C. A. (1964b). Calculs des prédicats avec égalité pour les systèmes formels inconsistants. **Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l’Académie des Sciences**. Paris: Institut de France. Série A, vol. 258. p. 1111–1113, 1964.
- DA COSTA, N. C. A. (1964c). Calculs de descriptions pour les systèmes formels inconsistants. **Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l’Académie des Sciences**. Paris: Institut de France. Série A, vol. 258. p. 1366–1368, 1964.
- DA COSTA, N. C. A. (1964d). Sur un système inconsistant de théorie des ensembles. **Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l’Académie des Sciences**. Paris: Institut de France. Série A–B, vol. 258. p. 3144–3147, 1964.
- DA COSTA, N. C. A. (1965a). Sur les systèmes formels C_1 , C_{-1} , D_i et NFi . **Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l’Académie des Sciences**. Paris: Institut de France. Série A–B, vol. 260, p. 5427–5430, 1965.
- DA COSTA, N. C. A. (1966a). **Álgebras de Curry**. São Paulo: [s/e], 1966.
- DA COSTA, N. C. A. (1966b). Opérations non-monotones dans les treillis. **Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l’Académie des Sciences**. Paris: Institut de France. Série A, vol. 263. p. 429–432, 1966.
- DA COSTA, N. C. A. (1967). **Une nouvelle hiérarchie de théories inconsistantes**. Publications du Département de Mathématiques, Université de Lyon, vol. 4, p. 2–8, 1967.

- DA COSTA, N. C. A. (1971). Remarques sur les système NF_1 . **Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences**. Paris: Institut de France. Série A–B, vol. 272A, p. 1149–1151, 1971.
- DA COSTA, N. C. A. (1974a). Remarques sur les calculs C_n , C_{-n} , $C_{=n}$ et D_n . **Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences**. Paris: Institut de France. Série A–B, vol. 278A, p. 819–821, 1974.
- DA COSTA, N. C. A. (1974b). On the theory of inconsistent formal systems. **Notre Dame Journal of Formal Logic**, Oct., vol. 15 (4), p. 497–510, 1974.
- DA COSTA, N. C. A. (1975). On the theory of inconsistent formal systems (erratum). **Notre Dame Journal of Formal Logic**, Oct., vol. 16 (4), p. 608, 1975.
- DA COSTA, Newton C. A. (2008). **Ensaio sobre os fundamentos da lógica**. 3ª ed. São Paulo: Hucitec, 2008, 2008.
- DA COSTA, Newton C. A.; BÉZIAU, Jean-Yves; BUENO, Otávio (1998). **Elementos de Teorias de Conjuntos Paraconsistentes**. Campinas: UNICAMP, Centro de Lógica, Epistemologia e História da Ciência, Coleção CLE, vol. 23, 1998.
- DA COSTA, Newton C. A.; BUENO, Otávio (2006). História da lógica paraconsistente. In: BRANQUINHO, João; MURCHO, Desidério; GOMES, Nelson G. (2006). **Enciclopédia de Termos Lógico-Filosóficos**. São Paulo: Martins Fontes, pp.468-472, 2006.
- DA COSTA, Newton C. A.; MARCONI, Diego (1989). An overview of paraconsistent logic in the 80's. **The Journal of Non-Classical Logic**, vol. 6, pp. 5-31, 1989.
- DA COSTA, Newton C. A.; SUBRAHMANIAN, V. S. (1989). Paraconsistent logics as a formalism for reasoning about inconsistent knowledge bases. **Artificial Intelligence in Medicine**, vol. 1, pp. 167-174, 1989.
- DA COSTA, Newton C. A.; SUBRAHMANIAN, V. S.; VAGO, C. (1991). The paraconsistent logics Pt. **Zeitschrift für Mathematik, Logik und Grundlagen der Mathematik**, Berlin, vol. 37, pp. 139-148, 1991.
- DA COSTA, Newton C. A.; ABE, J. M.; SUBRAHMANIAN, V. S. (1991). Remarks on annotated logic. **Zeitschrift für Mathematik, Logik und Grundlagen der Mathematik**, Berlin, vol. 37, pp. 561-570, 1991.
- DA COSTA, Newton; ALVES, Elias (1976). Une Sémantique pour le Calcul C_1 . **Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences**, 238A, pp. 729-731.
- DA COSTA; Newton C. A.; ABE, Jair M. MUROLO, Afrânio C.; DA SILVA FILHO, João Inácio; LEITE, Casemiro F. S. (1999). **Lógica Paraconsistente Anotada**. São Paulo, 1999.
- DA SILVA FILHO, J. I. da. ABE, J. M. (2001). Emmy: a paraconsistent autonomous mobile robot. In: Logic, Artificial Intelligence, and Robotics, **Proceedings of the 2nd Congress of Logic Applied to Technology – LAPTEC 2001**. J. M. Abe and J. I da Silva Fº (eds.). Amsterdam: IOS Press; Tokyo: Ohmsha. p. 53–61. (Frontiers in Artificial Intelligence and Its Applications, 71).
- DA SILVA FILHO, João I. (1997). **Implementação de circuitos lógicos fundamentados em uma classe de lógicas paraconsistentes anotadas**. 1997. 140 pp. Dissertação

- (Mestrado em Engenharia Eletrônica), São Paulo, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1997.
- DA SILVA FILHO, João I. (1999). **Métodos de aplicações da LPA de anotação com dois valores – LPA2v com construção de algoritmo e implementação de circuitos eletrônicos**. 1999. 226 pp. Tese (Doutorado em Engenharia de Computação e Sistemas Digitais), São Paulo, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1997.
- DAGHLIAN, Jacob (2008). 2008. **Lógica e Álgebra de Boole**. 4ª ed. 12ª reimpressão. São Paulo: Atlas, 2008.
- DE ALENCAR FILHO, Edgard (2002). **Iniciação à Lógica Matemática**. São Paulo: Nobel, 2002.
- DE CARVALHO, Fábio R. (2002). **Lógica Paraconsistente Aplicada em Tomadas de Decisão: Uma Abordagem para a Administração de Universidades**. São Paulo: Aleph, 2002.
- DE CARVALHO, Fabio R. (2006). **Aplicação de Lógica Paraconsistente Anotada para tomada de decisão na Engenharia de Produção**. 2006. 348 pp. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Escola Politécnica, Departamento de Engenharia de Produção, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
- DE CARVALHO, Fábio R.; ABE, Jair M. (2012). **Tomadas de Decisão com Ferramentas da Lógica Paraconsistente Anotada**. São Paulo: Blucher, 2012.
- DE CARVALHO, Fábio R.; BRUNSTEIN, Israel; ABE, Jair M. (2003). Tomadas de Decisão com Ferramentas da Lógica Paraconsistente Anotada. In: ENCONTRO NACIONAL EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 23º, outubro de 2003, Ouro Preto, MG, **Proceedings**. Ouro Preto: UFOP, pp. 55-62, 2003.
- DE CARVALHO, Fábio R.; BRUNSTEIN, Israel; ABE, Jair M. (2004). Paraconsistent annotated logic in analysis of viability: an approach to product launching. In: Sixth International Conference on Computing Anticipatory Systems (CASYS-2003), August 11-16, 2003, Liège, Belgium, **American Institute of Physics Conference Proceedings**, Springer - Physics & Astronomy [Edited by Daniel M. Dubois], vol. 718, pp. 282-291, 2004.
- DRUCKER, Thomas (1991). **Perspectives on the History of Mathematical Logic**. Boston: Birkhäuser, 1991.
- DUMITRIU, Anton (1977). **History of Logic**. [4 vols.]. Tunbridge Wells, Kent, England: Abacus Press, 1977.
- EBBINGHAUS, Heinz-Dieter; FLUM, Jörg; THOMAS, Wolfgang (2013). **Mathematical Logic**. 2nd ed. New York: Springer-Verlag New York, Inc., 2013.
- FEITOSA, Hércules A.; PAULOVICH, Leonardo (2005). **Um Prelúdio à Lógica**. São Paulo: Editora UNESP, 2005.
- FIDEL, Manuel M. (1977). The decidability of the calculi C_n . **Reports on Mathematical Logic**, vol. 8, pp. 31-40, 1977.
- GOMES, Evandro L. (2013). **Sobre a História da Paraconsistência e a Obra de da Costa: A instauração da Lógica Paraconsistente**. 2013. 666 pp. Tese (Doutorado em Filosofia) – Instituto de Filosofia e Ciências Humanas (IFCH), Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas, 2013.

- HAACK, Susan (2002). **Filosofia das Lógicas**. Trad. Luiz Henrique Dutra e César Mortari. São Paulo: Editora UNESP, 2002.
- HAMILTON, Alan G. (2000). **Logic for mathematicians**. 2nd ed [Revised edition]. 7th reprint. Cambridge: Cambridge University Press, 2000.
- HESSEN, S. I. (1910). Review of Vasil'ev 1910. **Logos**, vol. 2, pp. 287-288.
- JAMMER, Max (1974). **The Philosophy of Quantum Mechanics**. New York: John Wiley and Sons, 1974.
- JĄSKOWSKI, Stanisław (1948). *Rachunek zdah dla systemów dedukcyjnych sprzecznych* [Um cálculo proposicional para sistemas dedutivos inconsistentes]. **Studia Societatis Scientiarum Torunensis**, vol. 1, n. 5, sectio A. pp. 55-57, 1948.
- JĄSKOWSKI, Stanisław (1949). *O konjuncji dyskusyjnej w rachunku zdán dla systemów dedukcyjnych sprzecznych* [Sobre a conjunção discursiva do cálculo das Proposições para os sistemas contraditórios]. **Studia Societatis Scientiarum Torunensis**, sectio A, I, pp. 171-172, 1949.
- JĄSKOWSKI, Stanisław (1967). On the rules of suppositions in formal logic. In: **Polish Logic: 1920-1939**. Edited by Storrs McCall. Oxford: Clarendon Press, pp. 232-258, 1967.
- JĄSKOWSKI, Stanisław (1969). Propositional calculus for contradictory deductive system. **Studia Logica**, vol. 24, n. 1, pp. 143-157, December 1969.
- JĄSKOWSKI, Stanisław (1999a). A propositional calculus for inconsistent deductive systems. **Logic and Logical Philosophy**. Toruń, vol. 7, pp. 35-56, January – December 1999.
- JĄSKOWSKI, Stanisław (1999b). On the discussive conjunction in the propositional calculus for inconsistent deductive systems. **Logic and Logical Philosophy**. Toruń, vol. 7, pp. 57-59, January – December 1999.
- JØRGENSEN, Jørgen (1931). **A Treatise of Formal Logic**. [3 vols.] London: Oxford University Press, 1931.
- KIFER, M.; KRISHNAPRASAD, T.; WARREN, D. S. (1989). On the declarative semantics of inheritance networks. In: LUSIC, E.; OVERBEEK, R. (1989). **Proceedings North American Conference on Logic Programming**, MIT Press, 1989.
- KIFER, M.; LOZINSKII, E. (1989). RI: a logic for reasoning with inconsistency. In: **Proceedings 4th Symposium on Logic in Computer Science**, Asilomar, CA, June 1989.
- KLEENE, Stephen C. (1952). **Introduction to Metamathematics**. Princeton: D. Van Nostrand, 1952.
- KLEENE, Stephen C. (1967). **Mathematical Logic**. New York: John Wiley & Sons, Inc, 1967.
- KLINE, G. (1965). N. A. Vasi'ev and the development of many-valued logic. In: TYMIENIECKA, A. T. (ed.). **Contributions to logic and Methodology in Honor of J. M. Bocheński**. North-Holland, pp. 315-326, 1965.
- KNEALE, William; KNEALE Martha (1991). **O Desenvolvimento da Lógica**. Lisboa: Gulbenkian, 1991.

- KORCIK, A. (1965). Przyczynek do historii klasycznej teorii opozycji zdań asertorycznych [A contribution to the history of the classical theory of opposition of assertoric propositions], **Reczniki Filozoficzne**, vol. 4, pp. 33-49, 1965.
- KOTARBINSKI, Tadeusz (1964). **Leçons sur l'histoire de la logique**. Paris: Press Universitaires de France, 1964.
- KRAUSE, Décio (2013). Notas de aulas do curso de Lógica I. Disponível em: <<http://dkrause.cfh.ufsc.br/pg/aulas.htm>>. Acesso em: 2 abr. 2016.
- ŁUKASIEWICZ, Jan (1910). “Sobre o princípio da contradição em Aristóteles”. Trad. T. B. Mazzotti, 1996. Disponível em: <<http://www.mazzotti.pro.br/styled/downloads4/files/lukasiewiczcontaristoteles.pdf>>. Acesso em: 27 jun. 2014.
- MARCONI, Diego (1979). **La Formalizzazione della Dialettica**. Turim: Rosenberg & Sellier, 1979.
- MARTINS, Helga G. (2003) **A lógica paraconsistente anotada de quatro valores – LPA 4v aplicada em sistemas de Raciocínio Baseado em Casos para restabelecimento de Subestações Elétricas**. 2003. 145 pp. Tese (Doutorado em Engenharia de Elétrica), Itajubá, MG, Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Itajubá, 2003.
- MENDELSON, Elliot (1997). **Introduction to mathematical logic**. 4th. ed. Boca Raton, Florida: Chapman & Hall/CRC, 1997.
- MORA, José F.; LEBLANC, Hugues (1992). **Lógica Matemática**. 2ª ed. 11ª reimpresión. México, D.F.: Fondo de Cultura Económica, 1992.
- MORTARI, Cezar A. (2001). **Introdução à Lógica**. São Paulo: Editora UNESP, 2001.
- MORTENSEN, C. (1980). Every quotient algebra for C_1 is trivial. **Notre Dame Journal of Formal Logic**, Oct., vol. 21 (4), p. 694–700.
- NOLT, John; ROHATYN, Dennis (1991). **Lógica**. Trad. Mineko Yamashita. São Paulo: McGraw-Hill, [Coleção Schaum], 1991.
- PRADO, José P. A. **Uma Arquitetura para Inteligência Artificial distribuída baseada em lógica Paraconsistente Anotada**. Tese de Doutorado, EPUSP, São Paulo, 1996.
- PRIEST, Graham; ROUTLEY, Richard; NORMAN, Jean (eds.) (1989). **Paraconsistent logic: essays on the inconsistent**. München: Philosophia Verlag, p. 99-130, 1989.
- RESCHER, Nicholas (1964). **Many-valued Logic**. New York: McGraw Hill, 1964.
- ROSSER, J. Barkley (1953). **Logic for Mathematicians**. New York: McGrawHill, 1953. Disponível em: <<https://archive.org/details/logicformathemat00ross>>. Acesso em: 2 abr. 2016.
- SALMON, Wesley C. (2002). **Lógica**. Trad. Álvaro Cabral. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 2002.
- SCHOENFIELD, Joseph R. (1967). **Mathematical Logic**. London: Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1967.
- SCHOLZ, Heinrich (1959). **Abriss der Geschichte der Logik**. Freiburg im Breisgau: K. Alber, 1959.

- SMIRNOV, K. A. (1911). Kritika I bibliografiá [Review of Vasil'év 1910]. **Žurnal Ministerstva Narodnago Porsvščeniá**, novaá sériá, mart., vol. XXXII, n. 3, pp. 144-154, 1911.
- SMIRNOV, V. A. (1962). Logičéskie vzglády N. A. Vasil'éva [The logical views of N. A. Vasil'iev] In: **Očerki po istorii logiki v Rossii** [Essays in the history of logic in Russia]. Izdatélstvo Moskovskogo Univérsitéta, Moscow, pp. 242-257, 1962.
- STYAZHKIN, Nicholai I. (1969). **History of Mathematical Logic from Leibniz to Peano**. Cambridge, MI: MIT Press, 1969.
- SUBRAHMANIAN, V. S. (1987a). On the semantics of quantitative logic programs. In: **Proceedings of the 4th IEEE Symposium on Logic Programming**, Computer Society Press, Washington DC, pp. 173-182, 1987.
- SUBRAHMANIAN, V. S. (1987b). Towards a theory of evidential reasoning in logic programming. **Logic Colloquim**, vol. 87, 1987.
- TORRES, Cláudio R. (2004). **Sistema inteligente paraconsistente para controle de robôs móveis autônomos**. 2004. 145 pp. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Elétrica), Itajubá, MG, Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Itajubá, Novembro de 2004.
- VASIL'ÉV, Nikolai A. (1910). O častnyh suždéníálh, o tréugol'niké protivopoložnostěj, zakoné isklučěnnog čétvěrtogo [Sobre proposições particulares, o triângulo de oposições e a lei do quarto excluído]. **Učenié zapiski Kanzan'skogo Univérsitéta**, 42 pp, 1910.
- VASIL'ÉV, Nikolai A. (1911). **Voobražaémaá logika: konspékt lektsii** [Lógica imaginária: resumo de uma palestra]. 6 pp, 1911.
- VASIL'ÉV, Nikolai A. (1912). Voobražaémaá (néaristotéleva) logika [Lógica (não-aristotélica) imaginária]. **Žurnal Ministerstva Narodnago Porsvščeniá**, vol. 40, pp. 2017-246.
- VASIL'ÉV, Nikolai A. (1913). Logika i métalogika [Lógica e metalógica]. **Logos**, vol. 2/3, pp. 53-58.
- VASIL'ÉV, Nikolai A. (1925). Imaginary (non-aristotelian) logic. In: **Atti dei V Congresso Internazionale di Filosofia**. Napoli, pp. 107-109, 1925.

7.3. Referências sobre assunto geral

- ABNT (2005). **NBR ISO/IEC 17.025: 2005** - Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração. Brasília: ABNT, 30 de setembro de 2005.
- ANEEL (2012a). **Resolução Normativa nº 481, de 17 de abril de 2012**: Altera a Resolução Normativa nº 77, de 18 de agosto de 2004. Brasília, ANEEL, 17 de abril de 2012. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012481.pdf>>. Acesso em: 4 abr. 2016.
- ANEEL (2012b). **Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012**: Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Brasília, ANEEL, 17 de abril de 2012. Disponível em:

- <<http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Resolu%C3%A7%C3%A3o%20Normativa%20482,%20de%202012%20-%20bip-junho-2012.pdf>>. Acesso em: 4 abr. 2016.
- ANEEL (2012c). **Resolução Normativa nº 493, de 5 de junho de 2012**: Estabelece os procedimentos e as condições de fornecimento por meio de Microssistema Isolado de Geração e Distribuição de Energia Elétrica – MIGDI ou Sistema Individual de Geração de Energia Elétrica com Fonte Intermitente – SIGFI. Brasília, ANEEL, 5 de junho de 2012. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012493.pdf>>. Acesso em: 4 abr. 2016.
- ANEEL (2015). **Resolução Normativa nº 687, de 24 de novembro de 2015**: Altera a Resolução Normativa nº 452, de 17 de abril de 2012, e os Módulo 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST. Brasília, ANEEL, 24 de novembro de 2015.
- ANEEL (2016). **Procedimento de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional - PRODIST**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/prodist>>. Acesso em: 2 abr. 2016.
- APPEL, Ana P. (2010). **Métodos para o pré-processamento e mineração de grandes volumes de dados multidimensionais e redes complexas**. Tese (Doutorado em Ciências de Computação e Matemática Computacional) – Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação (ICMC), Universidade de São Paulo (USP), São Carlos, SP, 27 de abril de 2010. 153p.
- BRASIL (2000). **LEI Nº 9.991, DE 24 DE JULHO DE 2000**: Dispõe sobre realização de investimentos em pesquisa e desenvolvimento e em eficiência energética por parte das empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica, e dá outras providências, Brasília, Presidência da República – Casa Civil, Subchefia de Assuntos Jurídicos, 24 de julho de 2000. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9991.htm>. Acesso em: 11 dez. 2012.
- BRASIL (2001). **LEI Nº 10.295, DE 17 DE OUTUBRO DE 2001**: Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências. Brasília, Presidência da República – Casa Civil, Subchefia de Assuntos Jurídicos, 17 de outubro de 2001. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/LEIS_2001/L10295.htm>. Acesso em: 11 dez. 2012.
- CHAPMAN, Stephen J. (2003). **Programação em MATLAB para Engenheiros**. Trad. Flávio Soares Correa da Silva. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2003.
- CICONE JUNIOR, Décio; LEITE, Fábio C.; UDAETA, Miguel E. M.; GRIMONI, José A. B. (2007). “Atratividade financeira e tomada de decisão em projetos de eficiência energética”. **Revista Brasileira de Energia**, vol. 13, nº. 2, pp. 129-146.
- CLASP (2008). **Energy-Efficiency Labels and Standards**: A guidebook for appliances, equipment, and lighting. 2nd ed. Lead authors: Stephen Wiel; James E. McMahon. Washington, D.C., USA: CLASP, February 2008.
- CORRÊA, Leonilda B. C. A. (1998). **Comércio e Meio Ambiente**: Atuação Diplomática Brasileira em relação ao Selo Verde. Brasília: Instituto Rio Branco; Fundação Alexandre de Gusmão; Centro de Estudos Estratégicos.
- ELETROBRAS (2016). **Resultados Procel 2016**: Ano Base 2015. Rio de Janeiro: Eletrobras, 2016.

- EUROPEAN COMMISSION ENERGY (2013). **Guidance for National Energy Efficiency Action Plans**. Brussels, 2013.
- FAYYAD, Usama M.; HAUSSLER, David.; STORLORZ, Paul E. (1996). Mining Scientific Data. **Communications of the ACM**, v. 39, n. 11, pp. 51-57.
- GRAINGER, John J.; STEVENSON JR., William D. (1994). **Power System Analysis**. New York: McGrawHill, Inc., 1994.
- MARKANDYA, Anil (1997). “Eco-labelling: Na Introduction and Review”. In: ZARRILI, Simonetta; JHA, Veena; VOSSENAAR, Rene (eds.). **Eco-Labeling and International Trade**. Nova York: UNCTAD, 1997.
- MELANDA, Edson A. (2004). **Pós-processamento de Regras de Associação**. 2004. 225p. Tese (Doutorado em Ciências de Computação e Matemática Computacional) – Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo (USP), São Carlos, SP, 2004.
- NOGUEIRA, Luiz A. H. (2007). “Uso racional: a fonte energética oculta”. **Estudos Avançados**, vol. 21, n° 59, São Paulo, Janeiro – Abril de 2007, pp. 91-105.
- NOGUEIRA, Luiz A. H.; CARDOSO, Rafael B. (2011). **Análise conceitual dos benefícios energéticos e das inter-relações entre o Selo PROCEL e a Etiqueta Inmetro (PBE)**. Relatório Técnico, Universidade de Federal de Itajubá (UNIFEI) / Eletrobras Procel / GIZ, Itajubá, MG, junho de 2011.
- RADATZ, Jane (org.) (1996). **The IEEE Standard Dictionary of Electrical and Electronics Terms** [IEEE Std. 100-1996], vol. 100.
- SANTOS, Sandra R. (1998). “Programas de Rotulagem Ambiental”. Niterói, RJ, **Anais do XVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**.
- SODA (2011). **Project SoDa - Solar Radition Project**. 2011.
- SPIEGEL, Murray R.; STEPHENS, Larry J. (2009). **Estatística**. 4ª ed. Trad. José Lucimar do Nascimento. Porto Alegre: Bookman.
- STRANG, Gilbert (1993). **Introduction to Linear Algebra**. Wellesley, MA: Wellesley-Cambridge Press, 1999.
- WEG (2012). **Manual de Instalação, Operação e Manutenção: Motores de corrente contínua – Linha D**. Número do Documento; 10218369. 6ª revisão. Julho de 2012. Disponível em: <<http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-motor-de-corrente-continua-10218369-manual-portugues-br.pdf>>. Acesso em: 16 mar. 2015
- WEG (2015a). **Sítio da WEG: Home / Produtos e Serviços / Transformadores**. Disponível em: <<http://www.weg.net/br/Produtos-e-Servicos/Geracao-Transmissao-e-Distribuicao-de-Energia/Transformadores>>. Acesso em: 16 mar. 2015.
- WEG (2015b). **Sítio da WEG: Home / Produtos e Serviços / Drives**. Disponível em: <<http://www.weg.net/br/Produtos-e-Servicos/Drives>>. Acesso em: 16 mar. 2015.