

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

ANÁLISE DE POTENCIAL DE ECONOMIA DE
ENERGIA DE MEDIDAS ESPECÍFICAS DE PROCESSO
NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS
ESTUDO DE CASO: Segmento de Carnes

Renato Coli de Toledo

ORIENTADOR: Prof. Dr. Carlos Roberto Rocha

NOVEMBRO DE 2013

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

Renato Coli de Toledo

**ANÁLISE DE POTENCIAL DE ECONOMIA DE ENERGIA DE
MEDIDAS ESPECÍFICAS DE PROCESSO NA INDÚSTRIA DE
ALIMENTOS**

ESTUDO DE CASO: Segmento de Carnes

**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: Planejamento e
Gestão de Sistemas Energéticos.**

Orientador: Prof. Dr. Carlos Roberto Rocha

Novembro de 2013

Itajubá

de Toledo, Renato Coli

ANÁLISE DE POTENCIAL DE ECONOMIA DE ENERGIA DE MEDIDAS
ESPECÍFICAS DE PROCESSO NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS - ESTUDO DE CASO:
Segmento de Carnes / Renato Coli de Toledo. – Itajubá: UNIFEI, 2013.

107p.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Itajubá, 2013.

Orientador: Carlos Roberto Rocha

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

Renato Coli de Toledo

**ANÁLISE DE POTENCIAL DE ECONOMIA DE ENERGIA DE MEDIDAS
ESPECÍFICAS DE PROCESSO NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS**

ESTUDO DE CASO: Segmento de Carnes

Dissertação a ser apresentada para banca examinadora em
19 de dezembro de 2013, para conferir ao autor o título de
Mestre em Ciências em Engenharia de Energia.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Carlos Roberto Rocha (Orientador)

Prof. Dr. Vivaldo da Silveira Junior

Prof. Dr. Afonso Henrique Moreira Santos

Itajubá, 2013

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me amparar nos momentos mais difíceis, me proporcionando força interior para superar as dificuldades, mostrando o caminho correto nas horas incertas e me suprir em todas as minhas necessidades.

À minha mãe pelo apoio em todos os momentos de dificuldades e pela pessoa guerreira que é, e ao meu pai (*in memoriam*), por ter me ensinado a ser o grande homem que sou. Ao meu irmão, pelo incentivo e apoio nos momentos mais difíceis, amo vocês.

A minha noiva por todo o apoio, paciência, incentivo e grande incentivadora da conclusão do mestrado, te amo muito.

Aos amigos que fizeram parte desses momentos sempre me ajudando e incentivando em especial o Carlos Daniel na reta final do curso.

Aos meus colegas Erika, Jonas, Kelly e Tânia que fizeram parte do mestrado e que me ajudaram diretamente ou indiretamente.

RESUMO

O consumo de energia é um dos principais indicadores do desenvolvimento econômico e social de qualquer sociedade. O Brasil consumiu um total de energia de 236.753×10^3 tep em 2012 sendo o setor industrial responsável por 88.966×10^3 tep, ou seja, 37,58% do total. Uma forma de reduzir este consumo é a partir de políticas de promoção e incentivo a adoção de medidas de eficiência energética para o setor industrial. Porém estas políticas só podem ser reformuladas a partir de diagnósticos detalhados que sejam capazes de mostrar como a energia esta sendo consumida atualmente e como será a demanda do setor industrial no futuro. Para estes levantamentos são utilizados os modelos de previsão de demanda, que são a base para o planejamento energético, que pode definir qual a demanda futura de energia e também quais a medidas de economia de energia a serem incentivadas, levando em consideração os potenciais técnicos, econômicos e de mercado. O objetivo deste trabalho é desagregar o processo de produção do abate de bovinos e através dele analisar as possíveis medidas com maior potencial de economia de energia. Para tanto, é imprescindível destacar a significativa importância para análise do trabalho, a necessidade de desagregar as medidas de economia de energia por tipos para facilitar os estudos, possibilitando analisar medidas em áreas mais amplas, como as medidas transversais e medidas de processo, sendo que as que medidas de processo foram utilizadas como método a desagregação para se obter as operações unitárias. É importante considerar também como fator preponderante do estudo o consumo específico partindo da produção física, através da energia útil, obtendo desta forma, a energia final. Em suma, pode-se dizer que este estudo pode ser aplicado em qualquer área da indústria, desde que haja algumas adaptações. Além disso, é possível concluir que, utilizando as medidas de processo, pôde-se obter uma significativa redução no consumo de energia para o abate de bovinos, se comparado às medidas transversais.

Palavras-Chave: Planejamento energético, Medidas de processo, Operações unitárias, Indústria de alimentos e bebidas.

ABSTRACT

Energy consumption is one of the main indicators of social and economic development of any society. Brazil consumed a total energy of 236.753×10^3 toe in 2012 and is responsible for 88.966×10^3 toe industrial sector, this is 37,58% of the total. One way to reduce this consumption is from policies for promoting and encouraging the adoption of energy efficiency measures in the industrial sector. But these policies can only be reformed from detailed diagnostics that are able to show how energy is currently being consumed and how is the demand of the industrial sector in the future. For these surveys models of demand forecasting, which are the basis for energy planning , you can define what the future demand for energy and also which measures energy savings to be encouraged , taking into account the technical potential are used , economic and market . The objective of this work is to disaggregate the production process of the cattle slaughtering and through analyzing possible measures with the greatest potential for energy savings. Therefore, it is essential to highlight the significant importance to analyze the work, the need to disaggregate measures of energy saving types for ease of study, enabling the analysis of measures in broader areas, such as cross-cutting measures and process measures, and such a principle method was used to obtain the disaggregation unit operations. It is also important to consider as a major factor in the study of the specific consumption starting physical production through the useful energy, thus obtaining the final energy. In short, one can say that this study can be applied in any area of industry, provided that some adjustments. Furthermore, we conclude that, using the process measures, we could get a significant reduction in energy consumption for the slaughter of cattle, compared to the transverse measures.

Keywords: Energy Planning, Process Measurements, Unit operations, food and beverage industry.

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Consumo de energia final por subsetor do setor industrial	34
Tabela 2 - Consumo de energia final por subsetor do setor industrial	34
Tabela 3 - Consumo de energia final por segmento do subsetor alimentos e bebidas	35
Tabela 4 - Distribuição do consumo de energia final por usos finais e por fonte	36
Tabela 5 - Distribuição do consumo de energia final por usos finais	36
Tabela 6 - Consumo de energia final para cadeia produtiva carnes e derivados	37
Tabela 7 - Distribuição de energia final por usos finais para as cadeias produtivas do segmento de carnes e derivados	37
Tabela 8 - Distribuição de energia final por usos finais para as cadeias produtivas do segmento de carnes e derivados	37
Tabela 9 - Consumo de energia do Setor Industrial: Alimentos e Bebidas	38
Tabela 10 - Produção física e preço das principais matérias primas	39
Tabela 11 - Produção física e preço das matérias primas	39
Tabela 12 - Produção física e preço das matérias primas de oriundas da pecuária	40
Tabela 13 - Matérias primas ordenada por quantidade de Produção física	40
Tabela 14 - Usos finais de energia na indústria de alimentos e bebidas	42
Tabela 15 - Medida agrupada de economia de energia em Sistemas motrizes	47
Tabela 16 - Energia consumida no setor de alimentos por usos finais (em 2011)	48
Tabela 17 - Distribuição do potencial de economia de energia por medidas transversais por usos finais	49
Tabela 18 - Consumo e potencial de economia de Energia Térmica com medidas transversais por usos finais	50
Tabela 19 - Consumo e potencial de economia de Energia Elétrica com medidas transversais por usos finais	50
Tabela 20 - Consumo e Potencial de economia de Energia Térmica e Elétrica com medidas transversais	51
Tabela 21 - Medida agrupada de economia de energia em Sistemas de Vapor	52
Tabela 22 - Medida agrupada de economia de energia em Sistemas de ar comprimido	53
Tabela 23 - Medida agrupada de economia de energia em Sistemas de refrigeração	53
Tabela 24 - Medida agrupada de economia de energia em Sistemas de bombeamento	53
Tabela 25 - Medida agrupada e potencial de economia em Sistemas Motrizes	54
Tabela 26 - Medida agrupada de economia de energia em Sistemas motrizes	54

Tabela 27 - Matriz de operações unitárias por segmento da indústria de alimentos selecionado no trabalho	62
Tabela 28 - Relação entre as operações unitárias e os usos finais de energia	64
Tabela 29 - Produtos e subprodutos do abate de um bovino de 400 kg	77
Tabela 30 - Operações unitárias e usos finais de energia	78

Lista de Figuras

Figura 1 - Diferenciação de medidas transversais e de processo	5
Figura 2 - Produção de Energia Primária	7
Figura 3 - Potencial de conservação de energia pela força motriz nos setores	9
Figura 4 - Evolução da demanda de energia e da taxa de crescimento econômico no Brasil	13
Figura 5 - Evolução da estrutura da oferta de energia	15
Figura 6 - Matriz Energética Brasileira 2011	16
Figura 7 - Exemplo da abordagem Top Down	18
Figura 9 - Esquema das subdivisões e do sentido de análise de informações em um modelo de usos finais	22
Figura 10 - Sistema energético de referência adotado no sistema MARKAL	27
Figura 11 - Relação custo x complexidade da modelagem	31
Figura 12 - Consumo de energia final por setor	33
Figura 13 - Diagrama de fluxo de conversão de energia	41
Figura 14 - Diferenciação de medidas transversais e de processo	48
Figura 15 - Energia consumida no setor de alimentos por usos finais	49
Figura 16 - Potencial superior de economia de energia de medidas transversais por usos finais	50
Figura 17 - Potencial de economia de energia de medidas transversais por usos finais energia térmica e energia elétrica	51
Figura 18 - Medidas desagregadas e potenciais de economia de energia em Sistemas de Vapor	52
Figura 19 - Medida desagregadas e potenciais de economia de energia em Sistemas Motrizes	54
Figura 20 - Diagrama da cadeia produtiva da carne bovina completa.	73
Figura 21 - Fluxo de matéria-prima na cadeia produtiva de carne bovina (2009)	74
Figura 23 - Distribuição da energia consumida no setor de alimentos por usos finais em (%).	80
Figura 24 - Distribuição de C. P. Vapor e potencial de economia por operação unitária por medida de processo em (%).	81

Figura 25 - Distribuição de Refrigeração e potencial de economia de energia por operação unitária por medida de processo em (%)	82
Figura 26 - Distribuição de C. P. Água Quente e potencial de economia de energia por operação unitária por medida de processo (%).	82
Figura 27 - Distribuição de Aquecimento Direto e potencial de economia de energia por operação unitária por medida de processo (%)	83
Figura 28 - Distribuição de uso final Força Motriz e potencial de economia de energia por medida de processo por operação unitária (%).	84
Figura 29 - Distribuição de Iluminação e potencial de economia por operação unitária por medida de processo em (%).	84
Figura 30 - Potencial de economia de energia para medidas de processo por usos finais (%)	85
Figura 31 - Potencial de economia de Energia Térmica para medidas de processo por usos finais em (%).	86
Figura 32 - Distribuição de Energia Térmica e potencial de economia de energia por operação unitária por medida de processo em (%)	86
Figura 33 - Distribuição do potencial de economia de energia térmica por operação unitária e por medidas de processo em (%).	87
Figura 34 - Distribuição de Energia Elétrica e potencial de economia de energia por operação unitária por medida de processo em (%).	88
Figura 35 - Distribuição do potencial de economia de energia elétrica por operação unitária para medidas de processo em (%)	89
Figura 36 - Consumo e potenciais de economia de energia por tipo de medidas de processo e transversais em (%).	90
Figura 37 - Diagrama de Conversão da Energia Final em Energia Útil	90

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	3
2.1. Objetivo Geral.....	3
2.2. Objetivos Específicos	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1. Introdução	4
3.2. Medidas de economia de energia	4
3.2.1. <i>Tecnologias de medidas transversais (inter-sectoriais)</i>	5
3.2.2. <i>Tecnologias de medidas específicas de processo</i>	5
3.3. Balanço energético e definições de energia	6
3.3.1. <i>Balanço Energético</i>	6
3.3.2. <i>Energia Primária</i>	6
3.3.3. <i>Energia Secundária</i>	7
3.3.4. <i>Energia Final</i>	7
3.3.5. <i>Balanço de Energia Útil</i>	8
3.3.6. <i>Eficiência Energética</i>	9
3.3.7. <i>Matriz Energética</i>	12
3.4. Métodos de planejamento energético	16
3.4.1. <i>Abordagem Top-Down para planejamento energético</i>	18
3.4.2. <i>Abordagem bottom-up para planejamento energético</i>	19
3.4.3. <i>Método de extrapolação de tendências</i>	20
3.4.4. <i>Modelos econométricos</i>	20
3.4.5. <i>Modelos de Usos-Finais</i>	21
3.4.6. <i>Modelos integrados oferta / demanda</i>	23
3.4.7. <i>Métodos de decomposição estrutural da demanda (SDA)</i>	24
3.4.8. <i>Modelo auto regressivo integrado de média móvel (ARIMA)</i>	25
3.4.9. <i>Modele d'Évolution de la Demande Energétique (MEDEE)</i>	25
3.4.10. <i>Market Allocation Model (MARKAL)</i>	26
3.4.11. <i>Model for Analysis of Energy Demand (MAED)</i>	27
3.4.12. <i>Model for Energy Supply Strategy Alternatives and their General Environmental Impacts (MESSAGE)</i>	28
3.4.13. <i>Modelo Integrado de Planejamento Energético (MIPE)</i>	29
3.4.14. <i>Modelo LEAP</i>	30
3.4.15. <i>Relação Custo x complexidade da modelagem</i>	31
3.4.16. <i>Gerenciamento da demanda de energia</i>	32
3.6. Fontes de dados de consumo de energia	33
3.6.1. <i>Consumo total de energia no setor industrial</i>	33
3.6.2. <i>Consumo total de energia na indústria de alimentos e bebidas</i>	34
3.6.3. <i>Consumo específico de energia na indústria de alimentos e bebidas</i>	38
3.6.4. <i>Principais matérias-primas da indústria de alimentos do Brasil</i>	39

3.6.5. Usos finais da energia na indústria de alimentos e bebidas.....	41
3.7. Exemplos de medidas transversais de eficiência energética	42
3.7.1. Sistemas de Vapor.....	42
3.7.2. Sistemas de Ar Comprimido	44
3.7.3. Sistemas de Refrigeração.....	45
3.7.4. Sistemas de Bombeamento.....	46
3.7.5. Sistemas Motrizes	47
3.7.6. Medidas de eficiência nas Instalações.....	47
3.8. Potencial de economia de energia das medidas transversais	48
3.8.1. Potencial das medidas transversais em sistemas de vapor.....	52
3.8.2. Potencial das medidas transversais em Sistemas de Ar Comprimido.....	53
3.8.3. Potencial das medidas transversais em Sistemas de Refrigeração.....	53
3.8.4. Potencial das medidas transversais em Sistemas de Bombeamento.....	53
3.8.5. Potencial das medidas transversais em Sistemas Motrizes	54
3.8.6. Potencial das medidas transversais nas instalações industriais	54
4. METODOLOGIA	55
4.1. Introdução	55
4.2. Tecnologias de processo.....	55
4.3. Operações unitárias utilizadas na indústria de alimentos	55
4.4. Distribuição das operações unitárias por segmentos industriais.....	57
4.5. Oportunidades de economia de energia em tecnologias de processo	66
4.6. Principais operações unitárias consumidores de energia.....	70
5. ESTUDO DE CASO: SEGMENTO DE CARNE BOVINA	72
5.1. Subsegmento de carne bovina.....	72
5.2. Etapas do processo de abate de bovinos	75
5.3. Rendimento de produtos e subprodutos do abate de um bovino	77
5.4. Operações unitárias e usos finais de energia do abate de um bovino	78
5.5. Fluxograma com balanço de massa e energia da carne bovina.....	79
.....	79
5.6. Distribuição de energia por usos finais do abate de bovinos	80
5.7. Distribuição de energia por usos finais e operação unitária no abate de bovinos	81
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	91
7. CONCLUSÕES.....	92
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	93

1. INTRODUÇÃO

O racionamento de energia elétrica ocorrido em 2001 fez crescer em todo o país o sentimento de economia desta fonte. A necessidade de um sistema elétrico confiável e o aumento nas perdas de energia e pressões ambientais intensificaram as ações de eficiência energética. Para contornar estes problemas o Brasil desenvolve programas de Eficiência Energética reconhecidos internacionalmente: o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), o Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural (CONPET) e o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) (PNEF, 2011).

Ao se comparar a realidade atual com o cenário de 25 anos atrás, quando o PROCEL foi instituído, não é difícil reconhecer como a situação evoluiu e que diversas barreiras foram removidas. Com efeito, hoje são ofertadas no mercado inúmeras tecnologias eficientes, a preços bastante atrativos. Para isso, foi fundamental o papel desempenhado pelo programa de etiquetagem e pelos prêmios, que ajudaram a divulgar os equipamentos eficientes. Por outro lado, o controle da inflação e os reajustes das tarifas de energia e combustíveis tornaram atrativas as opções de modernização tecnológica. A rede de laboratórios, hoje fortalecida e mais capacitada, provê os serviços necessários à garantia da qualidade dos produtos e à segurança dos consumidores, reconhecidas por meio de etiquetas e selos certificados pelas marcas do INMETRO e PROCEL.

A eficiência energética é uma das maneiras mais efetiva de ao mesmo tempo reduzir os custos e os impactos ambientais locais e globais. Além disso, a conservação diminui a necessidade de subsídios governamentais para a produção de energia. Sendo o consumo de energia um dos principais indicadores do desenvolvimento econômico e social de qualquer sociedade. Ele reflete tanto o ritmo de atividade nos setores industrial, comercial e de serviços, quanto à capacidade da população para adquirir bens e serviços tecnologicamente mais avançados, como automóveis (que demandam combustíveis), eletrodomésticos e eletroeletrônicos (que exigem acesso à rede elétrica e pressionam o consumo de energia elétrica), (ANEEL, 2008).

A energia é essencial para o funcionamento de todas as atividades seja uma nação desenvolvida ou em desenvolvimento. Estima-se que a energia utilizada nas

indústrias pelos países em desenvolvimento é de 45 a 50% do consumo total de energia comercial. No entanto, a produção em grande escala e alto consumo de energia traz uma enorme degradação ao meio ambiente, pois as fontes de energia não são renováveis. Isto levou políticos e industriais a buscarem meios eficientes de utilização de energia e também olhar para fontes alternativas de energia. Neste cenário, a utilização de energia renovável está lentamente ganhando força em todo o mundo (CSIRO, 2007).

A procura por meios de gerar e utilizar energia de forma racional está tornando uma questão importante, pois o futuro depende das decisões de hoje, os recursos energéticos de forma ideal tornaram-se imperativo entre setores de planejamento energéticos e políticos. Nos últimos tempos, com as condições climáticas que vão para a inversão térmica, a atenção foi desviada para a utilização de fontes de energia renováveis. As fontes de energia renováveis foram estabelecidas para ser, sustentável, não poluente e renovável. Outra forma para melhorar sua eficiência, e que tem grande potencial de economia de energia, tanto elétrica quanto térmica são os programas de eficiência energética para o setor industrial.

Porém, estes programas devem ser focados para a realidade do parque industrial brasileiro, para isso há uma grande necessidade de ferramentas de prospecção de oportunidades e avaliação de potencial de economia de energia para direcionar as tomadas de decisões estratégicas tanto por parte do governo, para criação de políticas de regulação e incentivos, quanto de empresas que têm a eficiência energética como foco do seu negócio, juntamente fundos de investimentos, para alcançar os níveis desejados de economia de energia (CSIRO, 2007).

As oportunidades de economia de energia podem estar na melhoria dos processos de gestão das tecnologias atuais ou no desenvolvimento e utilização de novas tecnologias. Em se tratando de novas tecnologias, geralmente não se conhece o seu potencial de economia de energia e nem o possível retorno financeiro, limitando o seu desenvolvimento e utilização.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

O principal objetivo deste trabalho é desenvolver uma metodologia para estimar o consumo de energia e o potencial de economia de energia para o setor industrial baseado em medidas de economia de energia específicas dos processos industriais e métodos de previsão de demanda.

2.2. Objetivos Específicos

- Realizar levantamento e analisar diferentes fontes de dados sobre consumo e métodos de previsão de demanda de energia
- Analisar os potenciais de economia de energia nos processos industriais de forma desagregada (operações unitárias)
- Realizar estudo de caso para analisar o consumo energético no abate de bovinos;
- Analisar o potencial de economia de energia através das medidas transversais e medidas de processos;
- Avaliar qual método é considerado o mais adequado para se obter o melhor resultado no estudo de caso abordado

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Introdução

A procura por meios de gerar e utilizar energia de forma racional está tornando uma questão importante, pois o futuro depende das decisões de hoje, os recursos energéticos de forma ideal tornaram-se imperativo entre setores de planejamento energético e políticos. As políticas de incentivo a melhoria da eficiência energética no setor industrial têm grande potencial de economia de energia, tanto elétrica quanto térmica. Porém, estes programas devem ser focados para a realidade do parque industrial brasileiro, para isso há uma grande necessidade de ferramentas de prospecção de oportunidades e avaliação de potencial de economia de energia para direcionar as tomadas de decisões estratégicas tanto por parte do governo, para criação de políticas de regulação e incentivos, quanto de empresas que têm a eficiência energética como foco do seu negócio, juntamente fundos de investimentos, para alcançar os níveis desejados de economia de energia (CSIRO, 2007).

As oportunidades de economia de energia podem estar na melhoria dos processos de gestão das tecnologias atuais ou no desenvolvimento e utilização de novas tecnologias. Em se tratando de novas tecnologias, geralmente não se conhece o seu potencial de economia de energia e nem o possível retorno financeiro, limitando o seu desenvolvimento e utilização.

3.2. Medidas de economia de energia

O levantamento e a quantificação do potencial de redução de consumo devido às medidas de economia de energia em um setor complexo como é caso da indústria de alimentos apresenta grandes dificuldades e há poucas referências na literatura que trabalho com o setor como um todo, somente há trabalhos disponíveis para alguns segmentos específicos e de forma não sistematizada. A abordagem utilizada neste trabalho é a de desagregar as medidas por tipos para facilitar os estudos de economia de energia, pois possibilita analisar medidas em áreas mais amplas: como nas tecnologias inter-sectoriais (medidas transversais) e na utilização de cogeração. Todavia contribuições de tecnologias específicas de processo (medidas de processo) também precisam ser consideradas como uma opção possível, particularmente quando seu potencial de economia de energia é alto.

Tipos de medidas de economia de energia possíveis de serem utilizadas na indústria de alimentos:

- **Tecnologias inter-sectoriais (transversais):** tecnologias aplicadas em sistemas de vapor, sistemas motrizes, sistemas refrigeração, etc.; ou seja, sistemas que convertem a energia final (comprada) em energia útil entregue ao processo industrial;
- **Tecnologias específicas de processo:** tecnologias aplicadas às instalações e equipamentos que realizam as operações unitárias que formam os processos industriais, ou seja, sistemas que utilizam a energia útil na transformação de matérias primas em produtos finais;

3.2.1. *Tecnologias de medidas transversais (inter-sectoriais)*

As tecnologias transversais estão nos equipamentos ou sistemas que convertem a energia comprada pela empresa, ou seja, a energia final em energia útil aplicada na realização das diferentes operações unitárias que formam os processos produtivos dos segmentos da indústria de alimentos, como ilustrado na Figura 1.

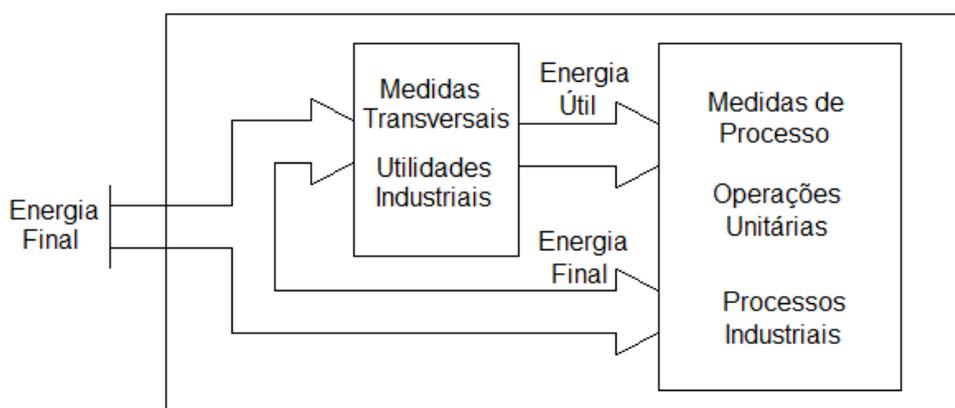


Figura 1 - Diferenciação de medidas transversais e de processo

3.2.2. *Tecnologias de medidas específicas de processo*

Caracterizam-se por ações que atuam no nível das operações unitárias, principalmente dos equipamentos que realizam estas operações e que constituem os processos industriais. Mas que uma medida avaliada para um equipamento de uma operação unitária pode ser aplicada a todos os processos que contenham esta operação ou o equipamento.

3.3. Balanço energético e definições de energia

3.3.1. Balanço Energético

O Balanço Energético Nacional – BEN é o mais tradicional documento do setor energético brasileiro. Ele divulga, através de extensa pesquisa, toda a contabilidade relativa à oferta e ao consumo de energia no Brasil, contemplando atividades e operações ligadas à exploração e produção de recursos energéticos primários, à conversão em formas secundárias, às contas de importação e exportação, à distribuição e ao uso final da energia. De fundamental importância para as atividades de planejamento e acompanhamento do setor energético nacional, o Balanço reúne, em um único documento, as séries históricas das diversas operações ligadas à oferta e demanda dos diferentes energéticos, além de informações sobre reservas, capacidades instaladas e importantes dados estaduais. O BEN é elaborado e divulgado anualmente pela Empresa de Pesquisa Energética – EPE (BEN, 2012).

3.3.2. Energia Primária

As fontes de energia se caracterizam por apresentar uma disponibilidade natural de energia, mas que em raras situações se apresenta diretamente na forma como pode ser utilizada. Em geral, no uso da energia, são necessárias transformações ou conversões de uma forma de energia em outra. A energia, na forma direta como é provida pela natureza, é definida como energia primária. As principais fontes de energia primária são hidrelétricas, o petróleo, o gás natural, o carvão mineral, o minério de urânio, os resíduos (vegetais e animais), a energia eólica e a energia solar. A maioria das fontes de energia primária não é consumida diretamente, sendo transformada em outra forma de energia. Na Figura 2 temos a produção de energia primária (BEN, 2012).

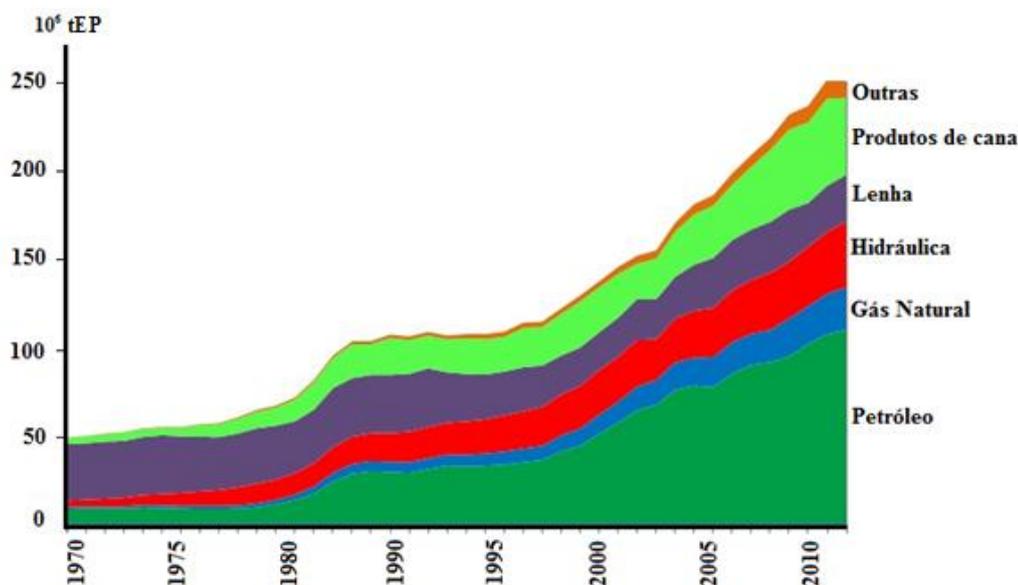


Figura 2 - Produção de Energia Primária

Fonte: BEN, 2012.

3.3.3. Energia Secundária

Define-se energia secundária como a resultante dos diferentes centros de transformação, tendo como destino os diversos setores de consumo ou, eventualmente, outro centro de transformação.

3.3.4. Energia Final

A Energia Final, por sua vez, é definida como a energia na forma como é recebida pelo usuário nos diferentes setores, seja na forma primária, seja na forma secundária e apenas representa a forma em que a energia é comercializada. Nos setores de consumo ainda é necessário converter a energia final para o atendimento das necessidades de iluminação, força motriz, calor de processo etc. A energia na forma em que é demandada pelos consumidores recebe o nome de energia útil (BEU, 2005).

A Energia Final é obtida através do estudo do Balanço de Energia Útil em (BEU 2005), que é um estudo que permite processar as informações setoriais do Balanço Energético Nacional (BEN), de consumo de energia, destinada aos Usos Finais Força Motriz, Calor de Processo, Aquecimento Direto, Refrigeração, Iluminação, Eletroquímica e Outros Usos e, com base nos rendimentos do primeiro processo de transformação energética, estimar a Energia Útil (BEU, 2005).

3.3.5. Balanço de Energia Útil

O Balanço de Energia Útil (BEU) é um modelo que permite processar as informações setoriais do Balanço Energético Nacional (BEN) para obter estimativas da Energia Final destinada a sete diferentes Usos Finais (Força Motriz, Calor de Processo, Aquecimento Direto, Refrigeração, Iluminação, Eletroquímica e Outros usos) e, com base nos rendimentos do primeiro processo de transformação energética, estimar a Energia Útil (BEU, 2005).

Conforme Marques et al. (2006), energia útil “significa a forma energética última, efetivamente demandada pelo usuário, devendo ser algum fluxo energético simples, como calor de alta e baixa temperatura, iluminação e potência mecânica”.

Quando se trata da estimativa dos valores de energia útil no Brasil, esta é apresentada no Balanço de Energia Útil (BEU), publicado em intervalos de 10 anos, e cuja edição mais recente tem como ano base 2004 (MME/FDTE, 2005). De acordo com esse documento, a energia útil é a parcela da energia final efetivamente utilizada em um dado uso, ou seja, a energia final menos as perdas. Expresso de outra forma corresponderia exatamente ao produto da energia final por um rendimento energético.

Em contrapartida, com relação ao conceito de rendimento energético, o adotado na formulação do BEU, esse “se refere apenas à primeira transformação de energia do processo produtivo”, tratando-se de uma simplificação e reduzindo o potencial de economia calculado por não considerar perdas (e consequentes oportunidades de aumento da eficiência) para todo o sistema energético: as perdas reais serão sempre maiores do que as estimadas.

O BEU apresenta, para efeitos de análise do potencial de economia de energia, dois valores para os rendimentos energéticos sendo o “real” ou “efetivo”, associado às instalações em atividade no Brasil; e rendimento de referência, que corresponde a um valor (máximo) disponível no mercado para determinada tecnologia.

O potencial de conservação de energia calculado a partir dos parâmetros apresentados no BEU se aproxima, portanto, do potencial técnico conforme descrito em Electric Power Research Institute (EPRI, 2009) – economias resultantes da adoção das tecnologias mais eficientes disponíveis, sem levar em conta a viabilidade econômica destas tecnologias.

O Balanço de Energia Útil (MME/FDTE, 2005) disponibiliza uma ferramenta

que permite o cálculo de potenciais de conservação de energia a partir de coeficientes técnicos, comparando a eficiência verificada nos processos energéticos com valores referenciais que corresponderiam, conforme já assinalado, às melhores tecnologias disponíveis comercialmente.

Utilizando-se os valores apurados no Balanço Energético Nacional (BEN) para o ano base 2011 de acordo com a (EPE, 2012) e os parâmetros técnicos do BEU, válidos para 2004, pode-se calcular o potencial de conservação para todas as formas de energia. Os valores assim obtidos são: Aquecimento direto $3099,9 \times 10^3$ tep/ano; Calor de processo $2607,87 \times 10^3$ tep/ano; Força motriz $1217,6 \times 10^3$ tep/ano; Iluminação $117,6 \times 10^3$ tep/ano; e Refrigeração $103,1 \times 10^3$ tep/ano.

A força motriz tem o maior percentual de conservação de energia com 43% do uso final.

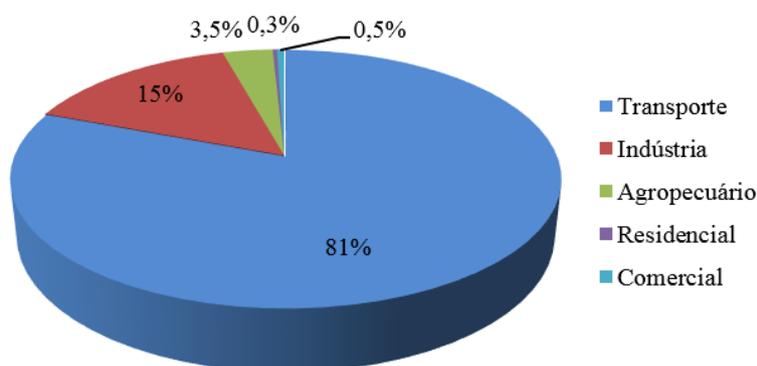


Figura 3 - Potencial de conservação de energia pela força motriz nos setores. Ano base 2011

Fonte: EPE, 2012.

Em termos totais de quantidade de energia conservada, o maior potencial encontra-se no setor industrial. Portanto, utilizando como parâmetro a Figura 3, pode-se dizer que o BEU permite avaliar o rendimento energético global da sociedade brasileira e os rendimentos específicos dos setores de atividade, das diferentes formas de energia e dos Usos Finais globais, dos principais setores de atividades, dos principais energéticos e dos principais Usos Finais (BEU, 2005).

3.3.6. Eficiência Energética

Um dos grandes problemas enfrentados pela sociedade atual é o grande consumo de energia, e por ser um recurso finito a energia não deve ser utilizada de forma indiscriminada. Em síntese, o consumo de energia deve ser realizado de forma

sustentável garantindo que as futuras gerações possam utilizar desse recurso (Our Common Future, 2012).

De fato, houve um aumento significativo do consumo de recursos energéticos, por causa do acelerado desenvolvimento econômico mundial, ocasionando efeitos indesejáveis na natureza e na sociedade. Não é surpreendente que, nos últimos anos, vários segmentos em todo o mundo, como por exemplo governos, indústria, produtores de energia e fornecedores, prestadores de serviços, professores e investigadores, entre outros, tanto em países desenvolvidos como em vias de desenvolvimento, tenham colocado a melhoria da eficiência energética no topo das suas agendas políticas, reconhecendo, assim, o papel essencial que tem no aumento da segurança da energia e na redução das emissões dos gases com efeito de estufa. (Our Common Future, 2012).

Torna-se, assim, de extrema importância a publicação pela ISO – *International Organization for Standardization* – da nova norma ISO 50001.

A norma ISO 50001 requer que a organização desenvolva e implemente uma política energética, estabeleça objetivos, metas e planos de ação que tenham em conta requisitos legais e informação relacionada com consumo e utilização significativa da energia.

A ISO 50001 é aplicável a todos os tipos de organizações, independentemente das suas condições geográficas, culturais e sociais, sendo que a complexidade do sistema, o volume de documentação e os recursos a dedicar podem ser definidos à medida dos requisitos de quase todas as organizações, pequenas ou grandes, públicas ou privadas.

Conceituando o termo eficiência energética mencionado acima, este pode ser tratado como o uso da menor quantidade de energia possível para o fornecimento de um determinado produto ou serviço. A eficiência energética pode ser medida a partir de diferentes indicadores, em função do equipamento, processo, tecnologia ou serviço estudado, mas sua unidade pode ser expressa basicamente como unidade de produto e serviço por unidade de energia.

O inverso da eficiência energética é a intensidade energética, que pode ser expressa como a quantidade de energia por unidade de produto ou serviço.

A diferença entre intensidade e eficiência é mais evidente quando múltiplas tecnologias ou vários produtos são utilizados ou produzidos na economia. Por exemplo,

é difícil comparar a eficiência energética da produção de aço com a eficiência na produção de etanol, neste caso comparar as intensidades energéticas de ambos os setores é possível.

No Brasil, utilizam-se principalmente os indicadores de intensidade energética para medir a eficiência energética de acordo com as fórmulas abaixo:

$$\text{Intensidade Energética} = \frac{\text{Quantidade Energia}}{\text{Produto / Serviço}} = \frac{Tep}{US\$} \quad 3.1$$

$$\text{Eficiência Energética} = \frac{\text{Produto / Serviço}}{\text{Quantidade Energia}} = \frac{US\$}{Tep} \quad 3.2$$

Contudo, a construção de um serie histórica com os índices obtidos nas equações 3.1 e 3.2 é possível incorporar diversas informações relevantes que devem ser decompostas nos chamados Efeito Estrutural e Efeito Intensidade.

Pode-se dizer que o Efeito Estrutural refere-se ao tamanho total do setor/segmento na demanda total de energia, o que se relaciona ao nível de atividade de cada setor/segmento de acordo com o crescimento do PIB bem como da estrutura setorial.

Quanto ao Efeito Intensidade, esse é definido como o percentual de ganho relativo de eficiência ao se adotar maior participação de uma dada fonte energética mais eficiente (por exemplo, gás natural para geração de vapor em substituição ao óleo combustível) ou por substituição tecnológica, ou ainda, através de mudanças de procedimento (hábitos de uso, especificação correta de equipamentos ou de equipamentos mais eficientes, dimensionamento de sistemas, manutenção adequada, gestão energética etc.).

A importância da decomposição da Intensidade Energética em Efeito Estrutural e Efeito Intensidade reside na utilização de tais índices em conjunto com outras variáveis para estimar uma função de demanda de energia para a indústria brasileira e determinar as devidas elasticidades. Dessa forma, é importante salientar que as Estimativas e previsões de demanda de energia são muito relevantes não só para uma melhor otimização do planejamento energético, mas também para auxiliar órgãos reguladores nas formulações de regras e políticas para este setor.

Em termos práticos, especificamente o segmento industrial, por exemplo, as funções de demanda de energia industrial tradicionais levam em conta valor adicionado na indústria ou PIB industrial, preço da energia, estoque de capital, sendo que a Eficiência Energética costuma ser mencionada apenas quando se trata da Elasticidade-Renda da demanda de energia. Entretanto, tal método é insuficiente para revelar a real importância da Eficiência Energética na demanda de energia.

Considerando que parte da demanda por energia pela sociedade, em especial pela indústria, será suprida pela construção de hidrelétricas que precisam de reservatórios para armazenagem de água ou por termoelétricas que produzem energia através da queima de algum combustível fóssil (diesel, óleo combustível ou gás natural), o real impacto da Eficiência Energética implicaria em reduzir a necessidade de novos investimentos, contribuindo para mitigar os impactos ambientais.

Dado a importância que a conservação de energia e eficiência energética vêm ganhando nos últimos anos no Brasil e no mundo em função dos impactos ambientais que o uso intensivo de energia gera ao meio ambiente, assim como pelo fato de a oferta de energia não acompanhar a taxa de crescimento da demanda, a completa estimação e mensuração dos impactos de ganhos de eficiência contribuem para maior previsibilidade e também para que se possa entender com maior mérito a contribuição da indústria na conservação de energia e, por conseguinte, na diminuição dos efeitos da atividade industrial no meio ambiente.

3.3.7. Matriz Energética

Ao longo do século XX, o Brasil experimentou intenso desenvolvimento econômico, que se refletiu numa crescente demanda de energia primária. Entre os fatores que determinaram tal crescimento alinham-se um expressivo processo de industrialização, com a instalação de plantas energo-intensivas, e uma notável expansão demográfica, acompanhada de rápido aumento da taxa de urbanização. Considerando-se apenas o período a partir de 1970, a série histórica da evolução do consumo de energia e do crescimento populacional indica que naquele ano a demanda de energia primária era inferior a 70 milhões de toneladas equivalentes de petróleo (tep) enquanto a população atingia 93 milhões de habitantes. Em 2000 a demanda de energia quase triplicou, alcançando 190 milhões de tep, e a população ultrapassava 170 milhões de habitantes (Tolmasquim et al., 2007).

Note-se que o crescimento econômico não foi uniforme durante o período. A taxa média anual, de 3,5%, oscilou de 5,5% em 1970-80 a 2,2% e 3% nas décadas seguintes, quando o crescimento apresentou volatilidade em razão de crises macroeconômicas. No entanto, mesmo nos períodos de taxas menores — como aqueles que se seguiram aos planos Cruzado e Real — sempre se verificou significativa expansão do consumo de energia nos intervalos em que houve uma expansão mais vigorosa da economia. Isso indica que em um ambiente de maior crescimento econômico deve se esperar maior crescimento da demanda de energia (Tolmasquim et al., 2007).

Estima-se que a oferta interna de energia crescerá a 5% ao ano no período 2005-10 e que nos anos subsequentes haverá um crescimento menor — de 3,6% e 3,4% ao ano nos períodos 2010-20 e 2020-30, respectivamente —, devido, sobretudo a uma maior eficiência energética tanto do lado da demanda como da oferta. No entanto, esse crescimento deve ser qualitativamente diferente. Além de um crescimento sustentado, pode-se esperar um aumento muito mais intenso da renda *per capita* e também uma melhor distribuição de renda (Tolmasquim et al., 2007).

Esses fatores, aos quais se soma o consumo de energia *per capita*, atualmente muito baixo para os padrões mundiais (de 1.190 tep/10³ hab.), justificam o crescimento da demanda nacional de energia para 3,8% ao ano em 2030, superando 550 milhões de tep Figura 4.

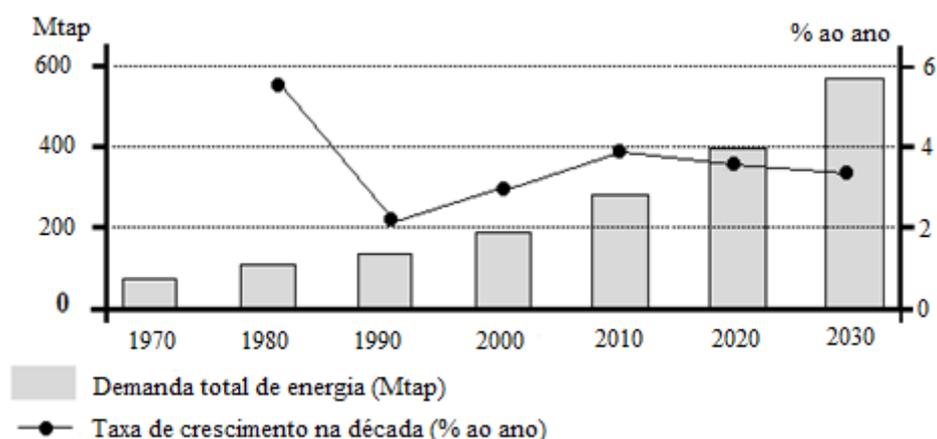


Figura 4 - Evolução da demanda de energia e da taxa de crescimento econômico no Brasil entre 1970 – 2030

Fonte: Tolmasquim et al, 2007.

Cabe ressaltar uma clara tendência de diversificação da matriz energética brasileira. Como se pode observar na Figura 5, em 1970 apenas duas fontes de energia, petróleo e lenha, respondiam por 78% do consumo, enquanto em 2000 três fontes correspondiam a 74% do consumo: além de petróleo e lenha, a energia hidráulica. Observa-se ainda a reversão da tendência de redução da participação das fontes renováveis na matriz energética brasileira. Em 1970 essa participação era superior a 63%, pela predominância da lenha. Em 2000, a participação das fontes renováveis caiu para 42%. Essa tendência deve se manter nos próximos anos, mas projeta-se que este cenário será revertido novamente até 2030 (Tolmasquim et al., 2007).

Uma Matriz Energética, a representação da quantidade de recursos energéticos oferecidos em uma região (nacional, estadual, regional), a consolidação das projeções energéticas a partir de modelagens técnica-econômicas, nas quais são quantificadas e adotadas uma série de premissas e parâmetros para a elaboração de cenários futuros de oferta e demanda energética, dentro de um período pré-estabelecido de tempo. Há duas metodologias usualmente utilizadas, a tendencial, baseada em modelos econométricos, na qual as projeções utilizam regressões obtidas do histórico de informações energéticas, vinculadas a relações entre a variável econômica do Produto Interno Bruto (PIB) e o consumo total de energia, e a estrutural na qual a abordagem é desagregada e integrada por meio de modelos econômicos, tecnológicos e energéticos para explicitar as inúmeras hipóteses necessárias para se construir os cenários futuros, possibilitando elevado grau de flexibilidade e modelagem (EPE, 2012).

Através do instrumento da Matriz Energética pode-se avaliar o comportamento das quantidades dos energéticos atuais e que poderão vir a serem consumidas no futuro, assim como a forma e a eficiência com que estes energéticos serão consumidos. Podem-se avaliar também as condições de atendimento relativas à oferta futura dos diversos energéticos ou até mesmo as consequências, sob o ponto de vista econômico e sócio ambiental de sua escassez ou excesso de uso (MEESP, 2010).

A Figura 5 mostra a evolução da estrutura da oferta de energia no Brasil.

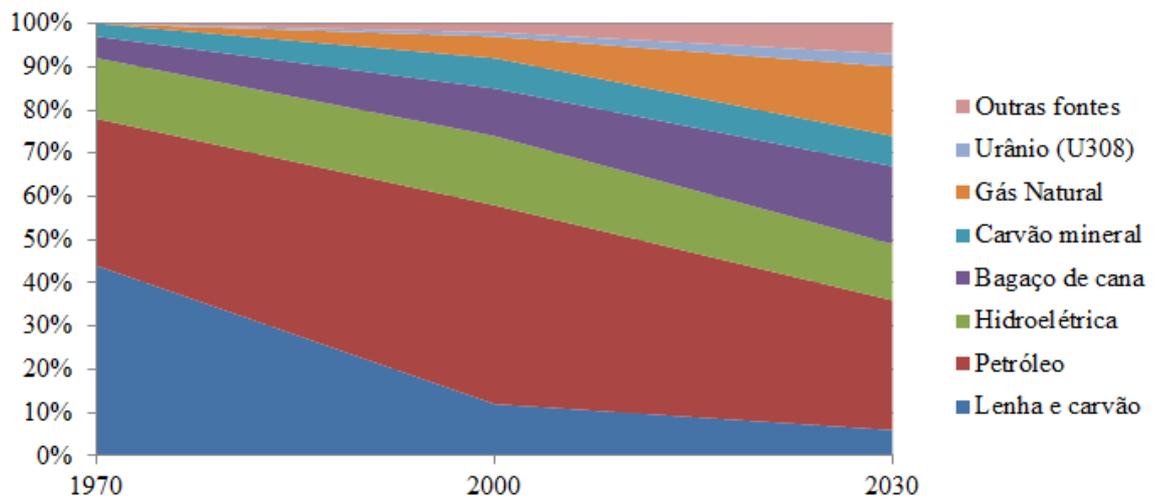


Figura 5 - Evolução da estrutura da oferta de energia

Fonte: Adaptado de Tolmasquim et al, 2007.

É possível ainda, fomentar políticas públicas no sentido de estimular o crescimento econômico de maneira menos intensiva em energia, pautado por programas de conservação, e o desenvolvimento e a penetração de tecnologias mais eficientes. Nesse sentido o instrumento Matriz Energética visa atender a essa necessidade dentro da sistemática de planejamento econômico e energético. Através dele pode-se avaliar o comportamento das quantidades dos energéticos que poderão vir a serem consumidas no futuro, assim como a forma e a eficiência com que estes energéticos serão consumidos. Podem-se avaliar também, problemas relativos à oferta futura dos diversos energéticos ou até mesmo as consequências danosas, sob o ponto de vista econômico e sócio ambiental de sua escassez ou excesso de uso (Carra, 2003).

Uma informação importante obtida a partir da análise de uma matriz energética é a quantidade de recursos naturais que está sendo utilizada. Dispor desta informação nos permite avaliar se a utilização desses recursos está sendo feita de forma racional. É bom observar que, dentre os recursos renováveis, encontram-se a lenha, o carvão vegetal e o álcool. A Figura 6 mostra a participação de cada fonte na Matriz Energética nacional no ano de 2011 (BEN, 2012).

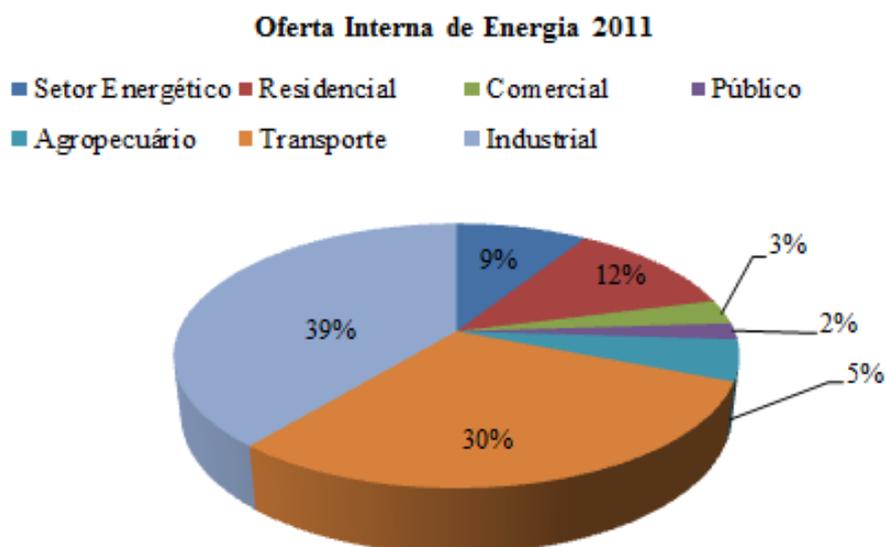


Figura 6 - Matriz Energética Brasileira 2011

Fonte: BEN, 2012.

3.4. Métodos de planejamento energético

O planejamento do setor energético é fundamental para assegurar a continuidade do abastecimento e/ou suprimento de energia ao menor custo, com o menor risco e com os menores impactos sócios econômicos e ambientais para a sociedade brasileira. A falta do planejamento energético pode trazer consequências negativas, com reflexos em termos de elevação de custos e/ou degradação na qualidade da prestação do serviço, tais como racionamentos ou excessos de capacidade instalada, produção ineficiente, etc. Em relação às mudanças socioeconômicas e político-institucionais que ocorrerão nas próximas décadas, é possível afirmar, com razoável segurança, que a evolução da demanda de energia – particularmente, do gás natural e da eletricidade – dificilmente seguirá os padrões do passado. A demanda futura deverá registrar movimentos diferenciados, decorrentes da dinâmica das variáveis que determinam o seu desempenho, como, por exemplo, em relação aos seguintes fatores em Carvalho (2005):

- Avanço do marco regulatório do setor de petróleo e gás, ainda em desenvolvimento e não completamente consolidado entre as unidades da Federação e entre o país e as nações vizinhas;
- Conclusão da implantação do novo arranjo institucional do setor elétrico, intensificando a concorrência (ambiente de negócios);
- Questões relativas à implementação da lei das parcerias público-privadas;

- Gestão ambiental restritiva;
- Incertezas em relação ao crescimento das economias dos EUA e da China;
- Trajetória do preço do petróleo e das demais *commodities*.

Assim, o método de análise prospectiva é eficaz na sistematização de cenários sobre as “possibilidades de futuro” e suas respectivas implicações para o setor energético, especialmente, no que se refere à necessidade de desenvolvimento de competências específicas na indústria de energia (Carvalho, 2005).

Os modelos de planejamento energético são desenvolvidos para o progresso sustentável de qualquer nação. Modelos de demanda de energia podem ser classificados de diversas maneiras como estática versus dinâmica, univariada contra multivariada, técnicas variando de série para modelos híbridos (Caio, 1998). Softwares são utilizados para analisar e estudar o gerenciamento de energia de vários sistemas energéticos (DeLurgio, 1998).

3.4.1. Abordagem Top-Down para planejamento energético

A abordagem Top-Down consiste em realizar previsões de vendas para séries consolidadas, isto é, a previsão é realizada para vendas agregadas de vários produtos ou de várias regiões. A projeção do mercado de energia elétrica é elaborada por subsistema elétrico e por classe de consumo: residencial, industrial, comercial e outras. O conjunto de “outras classes” inclui o segmento rural, poderes públicos, serviço público, iluminação pública e consumo próprio das concessionárias do setor. A projeção por classe de consumo baseia-se na evolução de alguns parâmetros característicos do correspondente segmento do mercado, bem como na evolução do PIB e da população (Darrough, et al., 2002).

Na abordagem Top-Down, também conhecida como abordagem analítica, a previsão de vendas é feita para grupos ou famílias de produtos e depois desagregada para cada item, segundo o percentual histórico de vendas. Também é possível fazer uma previsão agregada para uma região e, então, decompor em previsões para as diversas localidades que compõe esta região, segundo sua representatividade histórica.

A Figura 7 mostra um exemplo bastante comum da abordagem Top-Down nas indústrias de bens de consumo não duráveis: a empresa realiza a previsão de vendas de um determinado produto com base nos dados históricos das vendas totais e, posteriormente, decide o volume que será enviado para cada centro de distribuição, segundo a representatividade (em %) (Gordon et al., 1997).

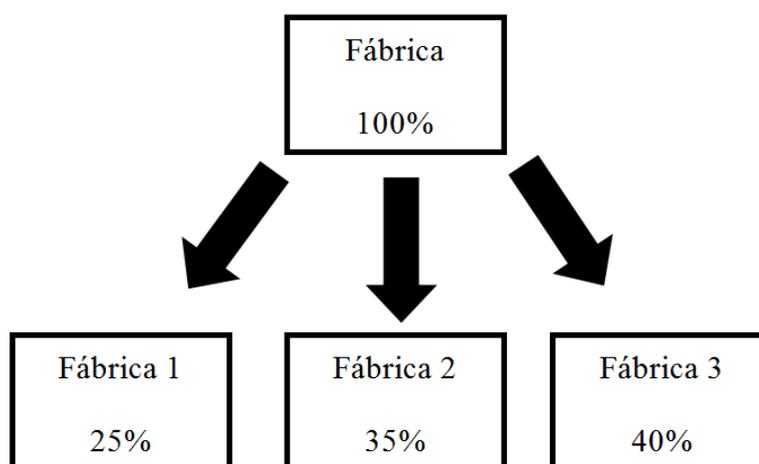


Figura 7 - Exemplo da abordagem Top Down

3.4.2. Abordagem bottom-up para planejamento energético

Na abordagem Bottom-Up, a previsão é realizada diretamente para cada item ou para cada localidade e, posteriormente, agregada por família/grupo de produtos ou por regiões. A estimativa da demanda de energia elétrica no setor residencial é realizada com base no percentual de domicílios ligados à rede elétrica e no consumo de energia elétrica por domicílio ligado à rede (Darrouh , 2002; Masako , 2002; e Russell, 2002).

A Figura 8 apresenta um exemplo da abordagem Bottom-Up. Neste caso, os centros de distribuição têm autonomia para realizar a previsão de vendas de um determinado produto, que, então, é enviada para a fábrica e consolidada para gerar as ordens de produção e remessa (Gordon, 1997; Morris, 1997; Dangerfield 1997; e Byron, 1997).

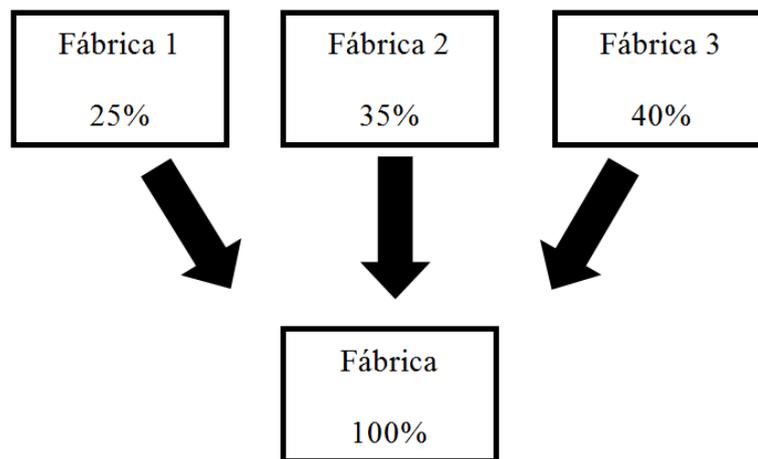


Figura 8 – Exemplo da abordagem, Bottom -Up

A escolha da abordagem Top-Down ou Bottom-Up para a realização da previsão de vendas tem impactos operacionais e estratégicos para a empresa. Em geral, as empresas optam pela estratégia que minimiza o erro de previsão, porém outros fatores também são levados em consideração, tais como os custos de implementação e operação do método (Kahn, 1998). A decisão, pois, de qual abordagem escolher é de grande importância para um grande número de empresas, com destaque para as grandes empresas de varejo, distribuição e produção de bens de consumo não-duráveis.

3.4.3. Método de extrapolação de tendências

Estes métodos examinam tendências e ciclos nos dados históricos, e daí, então, usa técnicas matemáticas para extrapolar o futuro. A hipótese de todas estas técnicas é que as forças responsáveis pela criação do passado continuarão a operar no futuro. Esta é uma hipótese válida quando a previsão é de horizonte de curto prazo, mas ela falha repentinamente quando se criam previsões de médio, e longo, prazos. Quanto mais distante tentamos prever, menos certeza nós temos da previsão (Jain, 1995).

A estabilidade do ambiente é o fator principal na determinação de se a extrapolação de tendências é um modelo apropriado de previsão. O conceito de "inércia do desenvolvimento" incorpora a ideia de que alguns itens são mais facilmente mutáveis que outros (Lapide, 1998).

3.4.4. Modelos econométricos

Até recentemente, modelos econométricos tradicionais e simplificados eram utilizados nas previsões de demanda, particularmente na previsão de energia. Porém, esses métodos econométricos não expressavam a complexidade da teoria econômica. São eles compostos de equações matemáticas como na de caráter essencialmente estático, não induzindo a um quadro teórico em particular (Hallet, 2001; Untiedt, 2001).

$$E = aY^\alpha \times P^\beta$$

Onde:

E - demanda de energia

Y - renda

P - preço da energia-renda

α - elasticidade energia-renda

β - elasticidade energia-preço

Estes modelos foram largamente utilizados até a década de 1970 para se projetar a demanda de energia e permitem compreender a agregação entre a demanda e dois de seus determinantes: preço e renda (Januzzi, 1997).

Os modelos puramente econométricos são mais adequados para a projeção a curto e médio prazos da demanda energética e, em geral, não são adequados para representar possíveis rupturas futuras em padrões tecnológicos ou econômicos consolidados. Os modelos econométricos não conseguem decompor quantitativamente o

peso dos principais agentes intervenientes. Supõe-se simplesmente que as variáveis se mantenham inalteráveis. Esse fato reduz bastante o grau de precisão do fundamento empírico e do valor explicativo das análises de correlação e do uso dos coeficientes de elasticidade, os quais apresentam uma margem de erro proporcional à influência simultânea dessas forças sobre o consumo de energia. Os modelos econométricos baseiam-se em Hallet, (2001), e Untiedt, (2001):

- Comportamento histórico dos dados;
- Sistemas de regressão;
- Dependências entre as variáveis selecionadas;
- Funções de custos e produção;
- Interações estatisticamente provadas.

3.4.5. Modelos de Usos-Finais

O objetivo da abordagem de usos finais é mensurar o impacto do uso de energia para os diversos sistemas e dispositivos eletro-intensivos. Nas previsões de comportamento futuro do mercado segundo a ótica da metodologia de usos finais, devem ser analisados uma série de fatores, tais como: tecnologias empregadas, processos de consumo, eficiência dos equipamentos consumidores de energia, fatores climáticos, aspectos sócio econômicos associados aos hábitos de consumo, classe social, renda média familiar, entre outros. No setor residencial, por exemplo, a energia elétrica é fundamentalmente utilizada em refrigeradores, fornos, chuveiros elétricos e iluminação. Na indústria, é utilizada para calor de processo, aquecimento direto, refrigeração, força motriz, iluminação entre outras.

Os modelos de uso final se baseiam na premissa de que a energia utilizada é requerida devido à possibilidade de prestação do serviço que ela é capaz de viabilizar, não propriamente como o produto final. O principal desafio desta metodologia é obter uma representação numérica para os principais fatores que delineiam o desenvolvimento da demanda energética dentro de cenários econômicos que contabilizam as incertezas inerentes às expectativas futuras (Caio & Bermann, 1999). Conforme Meetamehra (2002), a Equação 3.3 define, de maneira simplificada, a metodologia de usos finais para um setor.

$$E = S \times N \times P \times H \quad (3.1)$$

onde:

E - energia consumida por um dispositivo;

S - nível de utilização dos dispositivos em termos de número de dispositivos por cliente;

N - número de clientes;

P - potência requerida por um dispositivo;

H - horas de uso do dispositivo;

A Equação 3.3 aplicada aos diferentes dispositivos de uso final de um setor fornece a visão agregada de demanda por energia desse setor. Este método pode, inclusive, levar em consideração melhorias de eficiência energética dos equipamentos, utilização de fontes de energia substitutas, alteração das taxas de utilização dos equipamentos, entre outros. Considerando alterações nessas variáveis em longo prazo, implicitamente está se considerando os impactos causados por variáveis exógenas como o preço, a renda, políticas governamentais de incentivo ou retração de consumo, uma vez que tais fatores atuam de maneira direta no nível de utilização de equipamentos eletro-intensivos ou na substituição de aparelhos por fontes alternativas.

A Figura 9 esquematiza as subdivisões consideradas em modelos de usos finais. Tais modelos adotam uma visão do tipo bottom-up, que caracteriza-se por analisar o problema a partir das menores subdivisões e ir em direção à convergência de um ponto macro comum. Existem vários casos de aplicação de modelos de usos finais na literatura.

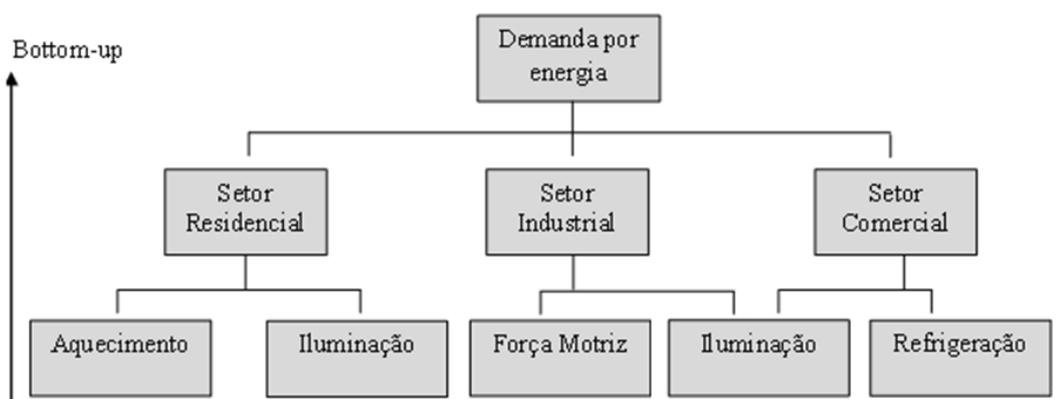


Figura 8 - Esquema das subdivisões e do sentido de análise de informações em um modelo de usos finais

A abordagem de usos finais permite não somente a obtenção de modelos para a previsão do mercado futuro, como também provê mecanismos para auxílio ao processo de tomada de decisão. Em Clinton (1992) é proposto um modelo baseado em usos finais para prever o consumo de energia e avaliar a necessidade de investimentos em melhoria da qualidade e confiabilidade do serviço.

Em Yoshiyuki, Takuro, Takao & Minoru, (2003) é implementado um modelo de usos finais para simular o comportamento da classe residencial na cidade de Osaka, no Japão. O modelo consiste do mapeamento dos perfis de utilização dos dispositivos eletro-intensivos na classe residencial, identificação do modelo de suprimento de água quente, cálculo dos perfis de equipamentos de aquecimento ou resfriamento. Adicionando ao modelo os cenários de alteração da quantidade de clientes e da quantidade de dispositivos por cliente, o modelo torna-se apto a quantificar o impacto de cada cenário no consumo total de energia.

Para a criação de um modelo realmente consistente, o conjunto de dispositivos de usos finais analisados para cada setor deve que ser abrangente o suficiente para mapear o comportamento dos usuários. Uma crítica que pode ser feita aos sistemas de uso final é a necessidade de obtenção de grandes massas de dados confiáveis e com elevado nível de detalhes. Além disso, tais modelos têm caráter fundamentalmente estático. Dificilmente são capazes de se adaptar de maneira adequada às mudanças de perfis de comportamento devido a fatores demográficos, socioeconômicos, climáticos ou culturais.

3.4.6. Modelos integrados oferta / demanda

Foram desenvolvidos modelos mistos de projeção, para minimizar as restrições aos modelos exclusivamente econométricos e aos modelos técnico-econômicos, que utilizam relações econométricas para estabelecer cenários tendenciais ou de referência e para explicar a evolução de algumas variáveis dos modelos. Este é o tipo de modelo mais empregado atualmente no mundo pelas instituições que realizam projeções da demanda energética a médio e longo prazo.

Os modelos integrados de demanda/oferta contemplam a importante família dos modelos de equilíbrio, que podem ser aplicados a determinados segmentos da indústria de energia, como tem sido o caso dos modelos empregados nos exercícios de planejamento integrado de recursos nos setores: elétrico e de gás canalizado em Faria &

Bajay (1996), ou ao setor energético como um todo, assim como os modelos corporativos, que simulam os impactos financeiros de um plano de expansão de uma empresa, de um segmento, como o elétrico conforme Faria & Bajay (1996), ou de todo o setor energético.

3.4.7. Métodos de decomposição estrutural da demanda (SDA)

Os modelos de decomposição estrutural (SDA - Structural Decomposition Analysis) buscam quantificar o efeito de um conjunto de variáveis econômicas sobre uma série temporal específica a qual se deseja analisar. Pressupõe-se que a variável em análise trata-se de uma função multivariável. Uma análise feita em decomposição estrutural consiste em um método estático comparativo e baseia-se em dados históricos agregados à economia. Com uma análise decomposta em setores e feita segundo a ótica das matrizes do tipo insumo-produto, esses modelos permitem uma avaliação dos efeitos diretos e indiretos entre as variáveis (Wachsmann, 2005).

Os modelos SDA foram inicialmente propostos em 1972 por Leontief e Ford. Desde a introdução desse método, algumas publicações foram realizadas referentes à aplicações práticas reais, a maioria delas relacionada à utilização de energia ou emissões provenientes desta, como CO₂ ou outros poluentes (Janssen, Van Den Bergh, Van Beukering, & Hoekstra, 2001).

Os trabalhos apresentados por Rose & Chen (1991), relacionados à utilização de energia e aplicados a vários setores intermediários da economia americana, representaram um grande avanço na metodologia de SDA e contribuíram para a expansão da utilização desses modelos.

Lin & Polenske (1995), realizaram um estudo dos efeitos de alterações da demanda final e da produção tecnológica na China. Nesse trabalho, foram analisados os efeitos de variações de fatores exógenos relacionados ou não à energia elétrica no comportamento da demanda. Wachsmann, (2005) apresenta os resultados de uma aplicação de SDA à avaliação de mudanças no consumo de energia e nas emissões associadas de CO₂ no Brasil. Rormose & Olsen (2005), realizaram aplicações de um modelo de SDA para analisar a emissão de poluentes relacionados ao uso de energia na Dinamarca.

Rose & Chen (1991), apresentam uma detalhada revisão de literatura sobre o histórico da evolução metodológica e de aplicações práticas de análise de decomposição estrutural.

3.4.8. Modelo auto regressivo integrado de média móvel (ARIMA)

Nenhum outro modelo de previsão tem sido tão amplamente discutido quanto a construção dos modelos ARIMA. Popularizado na década de 1970, por George Box e Gwilym Jenkins, os nomes dos autores geralmente são utilizados como sinônimos na aplicação geral de modelos ARIMA (Box- Jenkins) para analisar séries temporais e fazer previsões. O propósito da análise ARIMA é encontrar um modelo que represente precisamente os padrões passados e futuros das séries temporais. Assim, os modelos ARIMA são compreendidos em (DeLurgio, 1998).

- Modelo auto regressivo de ordem p – AR(p): usado quando há auto correlações entre as observações, o processo auto regressivo é usado quando o valor de uma variável Y no período t depende de seu valor no período anterior ($t-1$) e de um termo aleatório;
- Modelo de média móvel de ordem q – MA(q): usado quando há auto correlação entre os resíduos. Ou seja, há uma relação de dependência entre o conjunto de erros em períodos passados;
- Modelo auto regressivo de média móvel – ARMA (p,q): usado quando há auto correlação entre as observações e auto correlação entre os resíduos;
- Modelo auto regressivo integrado de média móvel – ARIMA (p,d,q): usado em séries não estacionárias.

O modelo ARIMA é um caso geral dos modelos propostos por Box e Jenkins (1976), que é apropriado para descrever séries não estacionárias. Ou seja, séries em que a média não é constante no período de análise, nas quais os parâmetros quase sempre são pequenos, apresentando tendência e ou sazonalidade (DeLurgio, 1998).

3.4.9. Modele d'Évolution de la Demande Energétique (MEDEE)

O *MEDEE* foi desenvolvido na França e normalmente é aplicado para os horizontes de médio e longo prazo. Esse método caracteriza-se pela análise técnico-econômica, do tipo contábil, tendo como principal foco, os usos de energia aplicados a técnicas de cenários (Trigoso, 2004).

O modelo baseia-se na identificação dos determinantes econômicos, demográficos, sociais e técnicos da demanda de energia final. Tudo isso separado por setores e tendo como base as estatísticas disponíveis. A partir disso torna-se possível simular as tendências, podendo ser incluídos as variáveis exógenas e os cenários econômicos. A metodologia permite desagregar a demanda até os múltiplos usos finais, obtendo-se alguns módulos energéticos. Porém, a maior dificuldade deste modelo encontra-se na definição da evolução do comportamento socioeconômico e, além disso, na complexidade de manter a coerência das relações entre os diversos setores (Trigoso, 2004).

O grande mérito desta metodologia é a transparência do processo, que permite explorar ações sobre a estrutura da demanda. As maiores dificuldades que recaem sobre o uso deste modelo, é a de definir as evoluções e comportamentos socioeconômicos e, também, a complexidade de manter a coerência das relações entre os vários setores.

3.4.10. Market Allocation Model (MARKAL)

O exemplo do modelo MESSAGE, o MARKAL, também é caracterizado pelo sistema linear dinâmico, que representa os fluxos de energia desde a extração de fontes primárias, até a utilização da energia em cada uso final. A diferença substancial, é que o primeiro integra ao processo de otimização, a seleção do tipo de equipamento dos consumidores, desagregado por uso e tipo de fonte utilizada (Trigoso, 2004).

O modelo MARKAL requer como dado exógeno, os consumos de energia útil para todos os usos em cada um dos setores do consumo em análise. O modelo também admite diversas funções objetivas baseadas em alguns critérios, tais como o mínimo custo total atualizado, a máxima segurança e a sinalização dos impactos ambientais (Trigoso, 2004). Enquanto o modelo MESSAGE inclui o cálculo dos efeitos ambientais de cada tecnologia, no MARKAL, se estende ao usuário final. Os efeitos ambientais não são somente mensurados, mas também selecionados entre as tecnologias disponíveis, com base nos limites admitidos de contaminação. O modelo tem sido aplicado para estudar o impacto de novas tecnologias a partir da demanda de energia útil.

As limitações à aplicação do modelo MARKAL se referem à qualidade de sua aplicabilidade. Porém, essa metodologia define matematicamente as várias restrições aos processos tecnológicos na área de petróleo, carvão, biomassas, nuclear, eletricidade (segregando os processos termoelétricos), inclusive energia eólica e solar (células

fotovoltaicas), além de outras fontes não convencionais. A figura 10 esquematiza o sistema energético de referência adotado no sistema MARKAL.

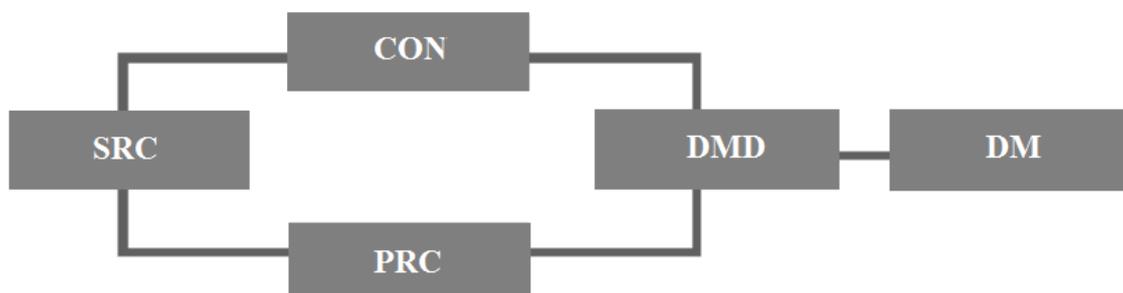


Figura 9 - Sistema energético de referência adotado no sistema MARKAL

onde:

SRC - Fonte de energia primária

CON - Unidade de conversão de energia

PRC - Unidade de produção de energia

DMD - Equipamentos que demandam energia para produção de produtos e serviços (demanda desagregada)

DM - Demanda final de energia.

3.4.11. Model for Analysis of Energy Demand (MAED)

O MAED foi desenvolvido pela Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA) é um clássico modelo de simulação. Sua função é projetar as demandas de energia por usos finais nos vários setores da economia, a partir da definição de um banco de dados sobre população, renda, produção, intensidades energéticas, consumos energéticos específicos, rendimentos de conversão, etc. Em um ano base, e hipóteses sobre a evolução destes parâmetros ao longo do horizonte de projeção.

O modelo MAED é um modelo de simulação para avaliar as implicações da evolução da demanda de energia (a médio e longo prazo) de um cenário que descreve uma evolução hipotética das atividades econômicas e das características populacionais.

Trata-se de um modelo que relaciona a demanda de energia a um conjunto de fatores sociais, econômicos e tecnológicos que a influenciam. A demanda de energia é desagregada em categorias de usos finais, cada uma correspondendo a um determinado serviço ou para a produção de certo bem. A natureza e nível da demanda para bens e serviços dependem de fatores sociais (por exemplo, a densidade demográfica regional,

tipo e quantidade de eletrodomésticos por residência); fatores socioeconômicos (prioridade em desenvolvimento de certas indústrias ou setores econômicos, a política do país para transporte público); fatores puramente econômicos (por exemplo, a influência da mudança de preços de combustível); ou fatores puramente tecnológicos, como a evolução das eficiências de certos tipos de equipamento, penetração no mercado de novas tecnologias ou formas de energia (Schaeffer et al., 2004).

O modelo MAED obtém como resultado final, a demanda por energia útil para diferentes usos finais, salvo para o caso da demanda por eletricidade para os usos cativos desta fonte energética. As variáveis-chaves de simulação do modelo MAED são os rendimentos dos equipamentos de consumo e os níveis de atividade econômica ou atividade física, conforme o setor de consumo (Schaeffer et al., 2004).

Evidentemente, os rendimentos dos equipamentos de consumo de energia final não estão desvinculados da energia final consumida. No entanto, não é o modelo MAED, mas sim o modelo MESSAGE, que será descrito adiante, que seleciona as fontes energéticas consumidas para atendimento da demanda por energia útil, através de uma minimização de custo global (considerando-se os preços-relativos das fontes energéticas).

3.4.12. Model for Energy Supply Strategy Alternatives and their General Environmental Impacts (MESSAGE)

O MESSAGE (*Model for Energy Supply Strategy Alternatives and their General Environmental Impacts*), também desenvolvido pela IAEA, tem como objetivo eleger os meios de produção energética que permitam abastecer uma demanda de fontes secundárias (exógena à metodologia). Dessa forma, acarretará a minimização dos custos de operação e manutenção, ao longo do período observado. Por sua formulação, o modelo analisa as substituições possíveis entre fontes energéticas nos diferentes centros de transformação, através do nível de consumo final (Schaeffer et al., 2004).

O modelo considera uma série de fontes primárias (petróleo, carvão, gás natural, urânio hidroeletricidade, solar, geotérmica e outras), e os centros de transformação que permitem obter as energias secundárias demandadas (eletricidade, combustíveis líquidos e gasosos, carvão, solar e calor distribuído).

Essas demandas podem ser subdivididas regionalmente e, no caso da energia elétrica, é possível representar a curva monótona de duração das cargas. Cada fonte de

energia primária (exceto a solar e a hidroeletricidade) pode ser dividida em um número opcional de classes, tendo em conta, o preço de extração, a qualidade da fonte e a localização dos depósitos (Trigoso, 2004).

Essa estratificação permite representar no modelo, relações não lineares entre os custos de extração e a quantidade disponível de recursos. Em seguida, essas fontes primárias são transformadas, direta ou indiretamente, em fontes secundárias que satisfazem a demanda.

Logo, o modelo MESSAGE seleciona os meios de produção de energia, para abastecer a demanda de energia útil, de forma a minimizar os custos de operação e manutenção ao longo do período observado, para todo o sistema energético. Trata-se, portanto, de um modelo de Programação Linear que abrange o sistema energético como um todo. Por sua formulação, o modelo analisa as substituições possíveis entre fontes energéticas nos diferentes centros de transformação, através do nível de consumo final, sob restrições de potencial disponível (reservas e capacidade de geração e transmissão elétrica) e níveis de impacto ambiental (padrões máximos de emissões atmosféricas, por exemplo) (Schaeffer et al., 2004).

3.4.13. Modelo Integrado de Planejamento Energético (MIPE)

O MIPE (Modelo Integrado de Planejamento Energético), desenvolvido pela COPPE/UFRJ e atualmente de uso exclusivo da Empresa de Pesquisas Energéticas (EPE), é um modelo técnico-econômico de previsão, que esquadrinha a dinâmica real da energia no país. Esse modelo possibilita levantar as variáveis independentes – variáveis de entrada – para cada segmento de consumo e oferta de energia, simulações de cenários bastante diversificados (Tolmasquim, 2000).

De um modo geral, para os setores de consumo de energia, consideram-se como variáveis independentes:

- Indicadores físicos para a projeção: baseados na energia útil por forma de destinação j e na produção física do segmento para um ano determinado;
- Participação de cada fonte em uma destinação específica;
- Rendimentos de conversão de energia final em energia útil e/ou consumos específicos de equipamentos;
- Participação de cada tecnologia na produção de determinado produto;

- Participação do segmento na composição dos produtos industriais e serviços.

Assim, o módulo de demanda constitui a base de projeção do modelo, pois, nele, se mostram presentes as hipóteses tanto referentes ao modo de desenvolvimento da economia quanto referentes às questões técnico-econômicas de cada segmento de consumo. A partir deste módulo e das opções de oferta de energia do módulo de oferta, implementa-se a previsão (Tolmasquim, 2000).

3.4.14. Modelo LEAP

Modelo técnico-econômico baseado em cenários, usado para determinar a evolução do sistema energético em nível de países, regiões e planejamento local em longo prazo. A forma como este modelo trabalha permite uma descrição detalhada da estrutura de demanda, conversão e oferta de energia. Além disso, uma das vantagens da utilização desse software é a possibilidade de análise das políticas de forma isolada ou em conjunto, garantindo, assim, uma abordagem mais integrada das políticas sobre os diversos indicadores. Possibilita, ainda, analisar os impactos ambientais ligados à energia (Araujo, 1988).

Inicialmente o modelo faz uma análise da demanda por meio de um modelo técnico econômico do tipo contábil. Estes determinantes refletem o nível de satisfação das necessidades dos indivíduos, os níveis de atividade econômica, as mudanças tecnológicas e os processos de substituição entre os diferentes energéticos. A análise da demanda do LEAP pode ser resumida da seguinte forma (Araujo, 1988):

- Na primeira etapa, a demanda é desagregada em grandes setores com funções econômicas e necessidades de energia semelhantes (indústria, transporte, residencial, comercial, público e agropecuário). Estes setores são, então, divididos em módulos energéticos homogêneos (subsetores), cuja evolução é descrita a partir de um número restrito de parâmetros técnicos e variáveis explicativas.
- Numa segunda etapa, identifica-se, para cada um dos diversos módulos homogêneos, inicialmente, a energia útil para as diversas necessidades, nas quais competem as várias formas energéticas. Nos casos em que, em condições normais, as necessidades correspondam a usos específicos, nos quais só pode ser empregado um único energético (iluminação com

eletricidade). Ou no caso de setores nos quais ainda existem incertezas sobre como identificar ou mensurar adequadamente as necessidades de energia útil (setor transporte, cujo uso final é a força motriz), utiliza-se a energia final na competição entre os energéticos.

- Na terceira etapa, a projeção da demanda de energia é embasada em um quadro global de desenvolvimento econômico e social. É feita a análise dos determinantes sociais, econômicos e tecnológicos que afetam a demanda no longo prazo, assim como a identificação das inter-relações existentes. As simulações das necessidades de energia são executadas por meio de um conjunto de hipóteses que exprimem a evolução dos contextos demográficos, socioeconômicos, regulatórios, ambientais e tecnológicos no período estudado.

3.4.15. Relação Custo x complexidade da modelagem

A Figura 11 faz uma relação do (custo x complexidade) dos Métodos de Previsão de demanda de energia. Na linha azul, pode-se notar que quanto menos distorções o método apresentar, ele fica mais complexo, na linha rosa pode-se notar que quanto mais informações o método apresentar, ele terá um custo mais elevado e uma complexidade maior e por fim na linha verde pode-se notar que quanto menos incerteza nas informações ele apresentar, o método terá tanto um custo mais elevado como será mais complexo (Araujo, 1988).

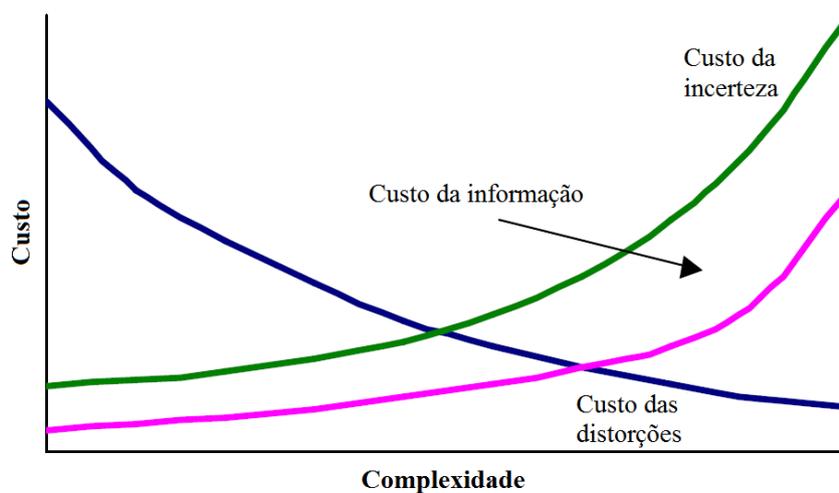


Figura 10 - Relação custo x complexidade da modelagem

Fonte: Araujo, 1988.

3.4.16. Gerenciamento da demanda de energia

Gerenciamento da demanda de energia envolve a utilização eficaz dos recursos energéticos, a confiabilidade no fornecimento, os recursos energéticos, conservação de energia, produção combinada de calor e sistemas de energia, sistemas de energias renováveis, sistemas integrados de energia, sistemas de distribuição independentes de energia, entre outras. Gerenciamento de demanda tem que considerar uma série de opções seja ele técnico, organizacional ou soluções comportamentais, de modo a diminuir o consumo de energia e demanda. Opções eficazes como, alternativas comercialmente viáveis e soluções ambientais precisam ser exploradas. A procura consiste em planejamento, implementação e monitoramento das atividades de utilização de energia que são projetadas para encorajar os consumidores a modificar seu nível e padrão de uso de energia.

Em meados dos anos noventa mudou-se o foco devido às mudanças que acontecem em todo o mundo: os avanços tecnológicos, os avanços da comunicação, melhorias nos processos de fabricação, resultando em melhor qualidade a custos mais baixos. A ênfase da gestão da procura tinha mudado de gerenciamento de carga residencial para Gerenciamento da demanda comercial e industrial. Gestão da procura promove a eficiência energética para o desenvolvimento sustentável. A demanda por energia é encontrada a estar intimamente ligado ao preço da energia, o PIB, a população só para citar alguns. Gerenciamento da demanda de energia deverá contribuir para alcançar a auto-suficiência e eficácia de custo para prever um desenvolvimento económico sustentável. Gerenciamento da demanda de energia deverá, assim, ajudar no:

- planejamento para a exigência de futuro, identificando as medidas de conservação;
- identificação e priorização dos recursos energéticos, a utilização otimizada da energia, estratégias para melhoria da eficiência energética;
- enquadrar as decisões de política;
- identificação de estratégias para a emissão reduzida

Modelos de energia são desenvolvidos utilizando variáveis macroeconômicas para a previsão da demanda de energia. Isso ajuda no planejamento e na elaboração de políticas de gestão de energia do lado da procura.

3.6. Fontes de dados de consumo de energia

3.6.1. Consumo total de energia no setor industrial

A Empresa de Pesquisas Energéticas - EPE, ligada ao Ministério de Minas e Energia - MME elabora e publica anualmente o Balanço energético nacional - BEN, que fornece dados sobre a produção e consumo de energia no Brasil (EPE, 2009). Na Figura 11 podemos ver graficamente a distribuição do consumo de energia final por setor no ano de 2011, sendo que os setores mais significativos seriam o industrial como o maior consumidor de energia, seguido pelo setor de transporte, e por último, o setor residencial.

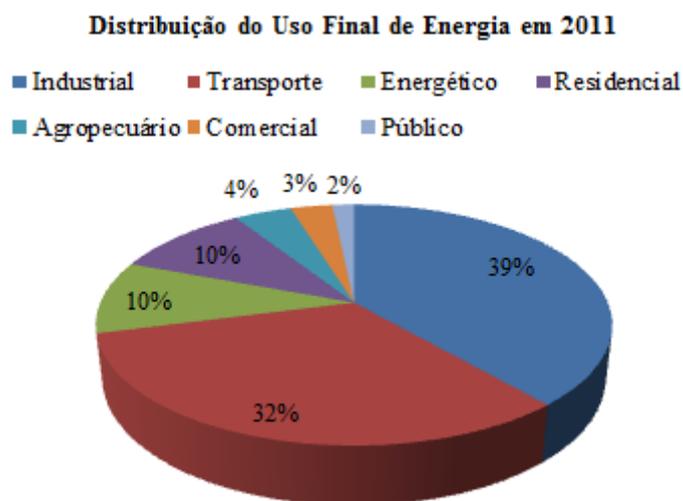


Figura 11 - Consumo de energia final por setor

Fonte: BEN, 2012.

A Tabela 1 apresenta o consumo de energia final por subsetor de 2005 a 2011. Pode-se verificar que o subsetor de alimentos e bebidas é o maior consumidor de energia, com uma participação de 9,3% em 2011.

Tabela 1 - Consumo de energia final por subsetor do setor industrial (10^3 tep). Fonte BEN, 2012.

Sub-Setores	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Alimentos e bebidas	17.926	20.122	21.262	20.694	21.547	23.244	22.972
Ferro-gusa e aço	17.459	16.985	17.664	18.229	13.478	16.445	17.669
Papel e celulose	7.684	8.016	8.555	8.957	9.346	10.056	10.180
Química	7.168	7.364	7.715	7.209	7.350	7.214	7.464
Outros	5.866	6.118	6.504	6.997	6.919	7.338	7.891
Não-ferrosos e outros	5.430	5.694	5.954	5.975	5.361	6.492	6.885
Cerâmica	3.412	3.533	3.841	4.157	4.107	4.455	4.672
Cimento	2.831	3.087	3.365	3.742	3.694	4.157	4.638
Mineração e pelotização	2.905	3.013	3.195	3.349	2.343	3.182	3.289
Ferro-ligas	1.613	1.613	1.803	1.811	1.447	1.695	1.555
Têxtil	1.202	1.213	1.275	1.208	1.172	1.212	1.201
Total	73.50	76.76	81.13	82.33	76.76	85.49	88.42

A Tabela 2 apresenta a distribuição do consumo de energia final por energético (fontes de energia) para o subsetor de alimentos e bebidas de 2005 a 2011. Pode-se verificar que o bagaço de cana é o principal energético, seguido pela eletricidade e lenha.

Tabela 2 - Consumo de energia final por subsetor do setor industrial (10^3 tep). Fonte: BEN, 2012.

Energéticos	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Bagaço de cana	13.050	15.224	16.116	15.353	16.148	17.248	16.861
Eletricidade	1.777	1.848	1.926	1.985	2.025	2.319	2.342
Lenha	1.813	1.831	1.885	1.999	2.039	2.267	2.312
Gás natural	511	559	587	581	552	662	652
Óleo combustível	529	412	451	467	467	325	318
GLP	125	144	174	190	187	202	225
Óleo diesel	61	65	77	82	82	148	191
Carvão vapor	62	39	46	37	48	71	71
Total	17.93	20.12	21.26	20.69	21.55	23.24	22.97

3.6.2. Consumo total de energia na indústria de alimentos e bebidas

A indústria de alimentos e bebidas é muito pulverizada por todo o território nacional e possui cerca de 850 tipos de produtos e um universo de 42 mil plantas industriais, responsáveis por cerca de 12 milhões de postos de trabalho diretos (ABIA, 2007). Entre os segmentos de alimentos, destacam-se: o beneficiamento, moagem e torrefação de produtos alimentares; a produção de conservas de bens vegetais; o abate de animais e a produção de conserva de carnes; as atividades de pesca e correlatas; o beneficiamento de leite e a fabricação de produtos laticínios; a fabricação e o refino de

açúcar; a produção de balas, chocolates e produtos afins; a produção de artigos de padaria, a fabricação de massas alimentícias e biscoitos; o refino e a preparação de óleos comestíveis; a fabricação de rações balanceadas e de alimentos preparados para animais. Entre os segmentos de bebidas, destacam-se a produção e engarrafamento de bebidas alcoólicas - cervejas, chopes, maltes, vinhos, aguardentes - e não alcoólicas, de refrigerantes e sucos concentrados e a gaseificação e engarrafamento de águas minerais (ABIA, 2007).

Em quase todos os processos da indústria de alimentos e bebidas se necessita de água quente, ou vapor, gerado em caldeiras. O uso de fornos, secadores e equipamentos de refrigeração também são muito comuns (MME, 2005). As operações que mais consomem energia na indústria de alimentos e bebidas são: secagem, processos de separação (evaporação e destilação), cozimento, refrigeração e fornecimento de vapor ou de água quente e o principal uso final da eletricidade na indústria de alimentos e bebidas é a força motriz, seguida pela refrigeração (MME, 2005).

Em 2008, o consumo de energia final do setor de alimentos e bebidas foi de 20.694 mil tep. Excluindo a produção de açúcar, este valor foi de 5.976 mil tep, que representa 7,26% do setor industrial como um todo e 2,64% de toda a energia consumida no Brasil (EPE, 2009).

A Tabela 3 apresenta a distribuição do consumo de energia final de 2005 a 2008 para os segmentos que formam o subsetor de alimentos e bebidas.

Tabela 3 - Consumo de energia final por segmento do subsetor alimentos e bebidas. Fonte: Bajay e Rocha, 2009.

Segmentos	2005	2006	2007	2008
	(10 ³ tep)	(10 ³ tep)	(10 ³ tep)	(10 ³ tep)
Açúcar	12.757	14.320	14.380	12.749
Carnes e derivados	1.303	1.462	1.735	2.002
Bebidas	1.083	1.216	1.442	1.665
Café, cereais e derivados	809	908	1.077	1.243
Óleos vegetais	790	887	1.052	1.214
Rações para animais	633	711	843	973
Leite e derivados	421	473	561	648
Outros	129	145	172	199
Total	17.926	20.122	21.262	20.694

A Tabela 4 apresenta a distribuição do consumo de energia final por usos finais e por fonte ou energético para o subsetor de alimentos e bebidas, excluindo bagaço de cana.

Tabela 4 - Distribuição do consumo de energia final por usos finais e por fonte. Fonte: Bajay e Rocha, 2009.

Energéticos	F.M.	Refrig.	Ilumin.	Eletroq.	C.P.	A.Q.	Total
Eletricidade	26,4%	6,0%	6,5%	0,0%	0,0%	0,0%	39%
Gás Natural	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	11,0%	5,9%	17%
GLP	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	2,7%	3%
Lenha	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	6,7%	3,6%	10%
Óleo Combustível	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	10,2%	5,5%	16%
Óleo Diesel	10,1%	2,3%	2,5%	0,0%	0,0%	0,0%	15%
Outras Primárias	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,5%	0,0%	1%
Total	36,4%	8,3%	9,0%	0,0%	28,5%	17,7%	100%

A Tabela 5 apresenta a distribuição do consumo de energia final por usos finais nos principais segmentos que compõem o subsetor de alimentos e bebidas, destacando o segmento de açúcares que basicamente utiliza bagaço de cana com combustível para produção de calor de processo, em seguida vem o segmento de carnes e derivados com uma distribuição mais equilibrada de usos finais.

Tabela 5 - Distribuição do consumo de energia final por usos finais (103 tep). Fonte: Bajay e Rocha, 2009.

Segmentos	Calor de Processo		Aquecimento Direto		Energia Elétrica		
	Vapor	Ág.Qte	Forno	Secador	F. M.	Refrig.	Ilumin.
Açúcares	10.901	1.517	16	0	289	11	17
Carnes e derivados	1.036	184	159	0	276	263	85
Bebidas	158	430	422	192	322	0	141
Café, cereais e derivados	246	98	161	465	221	0	53
Óleos vegetais	843	73	0	166	106	1	25
Rações para animais	244	43	377	0	248	0	60
Leite e derivados	161	152	0	117	154	35	29
Outros	125	19	6	1	37	4	8
Total	13.714	2.515	1.141	941	1.653	314	417

Ainda de acordo com estudos desenvolvidos por Bajay e Rocha (2009), estes dados podem ainda ser desagregados pelas cadeias produtivas / produtos que compõem os segmentos do subsetor de alimentos e bebidas e a Tabela 6 apresenta o exemplo dessa desagregação para a cadeia produtiva carnes e derivados.

Tabela 6 - Consumo de energia final para cadeia produtiva carnes e derivados (10³ tep). Fonte: Bajay e Rocha, 2009.

Carne e derivados	2005	2006	2007	2008
Carne bovina	225	253	300	346
Carne suína	132	148	176	203
Frango	659	740	877	1.013
Abate e preparo de aves	287	322	382	441
Total	287	322	382	441

A Tabela 7 apresenta a distribuição de energia final desagregada nos usos finais: Calor de Processo (vapor e água quente), Aquecimento Direto (forno e secador) e Energia Elétrica (força motriz, refrigeração e iluminação) para as cadeias produtivas do segmento de carnes e derivados.

Tabela 7 - Distribuição de energia final por usos finais para as cadeias produtivas do segmento de carnes e derivados (10³ tep). Fonte: Bajay e Rocha, 2009.

Carnes e derivados (ano 2008)	Calor de Processo		Aquecimento Direto		Energia Elétrica			Total
	Vapor	Ág. Qte	Forno	Secador	F. M.	Refrig.	Ilumin.	
Carne bovina	171	54	24	0	29	52	16	346
Carne suína	98	28	20	0	17	30	10	203
Frango	552	72	83	0	135	131	40	1.013
Abate e prepar. de aves	216	28	33	0	94	51	19	441
Total	1.037	182	159	0	276	263	85	2.002

A Tabela 8 apresenta a distribuição de energia final desagregada nos usos finais e energéticos para o segmento de carnes e derivados.

Tabela 8 - Distribuição de energia final por usos finais para as cadeias produtivas do segmento de carnes e derivados (10³ tep). Fonte: Bajay e Rocha, 2009.

Energéticos	Calor de Processo		Aquecimento Direto		Energia Elétrica			Total
	Vapor	Ág. Qte	Forno	Secador	F. M.	Refrig.	Ilumin.	
Eletricidade	0	0	0	0	200	190	61	451
Gás Natural	400	71	53	0	0	0	0	524
GLP	0	0	24	0	0	0	0	24
Lenha	244	43	32	0	0	0	0	319
Óleo Combustível	371	66	49	0	0	0	0	486
Óleo Diesel	0	0	0	0	77	73	24	173
Outras Primárias	18	3	0	0	0	0	0	21
Total	1.036	184	159	0	276	263	85	2.002

A Tabela 8 possibilita usar a distribuição de consumo de energia final por usos finais, por exemplo, para estimar o potencial técnico de melhoria de eficiência

energética com recuperação de calor de processo (vapor) para produção de água quente. Também possibilitam estimar o potencial técnico de melhoria de eficiência energética com implantação de sistema de cogeração a partir de grupos geradores a diesel em operação no horário de ponta no segmento de carnes e derivados, que serão analisados como estudo de caso neste trabalho.

Em 2011, o consumo de energia no setor industrial no Brasil foi 88.416×10^3 tep, segundo o BEN (2012). A indústria de alimentos e bebidas teve o maior consumo, com 22.972×10^3 tep, porém o segmento de processamento de cana e produção de açúcar cristal e refinado foi responsável por mais de 70% deste consumo. O BEN – Balanço Nacional de Energia fornece dados sobre o consumo de energia final para o setor industrial de alimentos e bebida, com mostra a Tabela 9, porém não há uma fonte de dados que forneça o consumo de energia por segmentos deste setor, assim para estimar este consumo partiu-se do consumo específico e da produção física.

Tabela 9 - Consumo de energia do Setor Industrial: Alimentos e Bebidas (10^3 tep). Fonte: BEN, 2012.

FONTES	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Gás natural	407	432	491	511	559	587	581	552	662	652
Carvão vapor	50	58	48	62	39	46	37	48	71	71
Lenha	1.763	1.721	1.772	1.813	1.831	1.885	1.999	2.039	2.267	2.312
Bagaço de cana	11.082	11.942	12.783	13.050	15.224	16.116	15.353	16.148	17.248	16.861
Óleo diesel	50	61	74	61	65	77	82	82	148	191
Óleo combust.	857	721	606	529	412	451	467	467	325	318
GLP	84	111	119	125	144	174	190	187	202	225
Eletricidade	1.549	1.613	1.707	1.777	1.848	1.926	1.985	2.025	2.319	2.342
Total	15.845	16.659	17.599	17.926	20.122	21.262	20.694	21.547	23.244	22.972

3.6.3. Consumo específico de energia na indústria de alimentos e bebidas

O consumo de energia final de cada segmento / produto representativo pode ser obtido a partir da multiplicação da produção física do produto representativo do segmento, como mostra a Equação 3.4:

$$CEF = PFPR * CEE \quad [GJ] \quad (3.4)$$

Onde:

CEF - Consumo de energia final do segmento / produto representativo [GJ]

PFPR - Produção física do produto representativo do segmento [t]

CEE - Consumo específico de energia final [GJ/t]

3.6.4. Principais matérias-primas da indústria de alimentos do Brasil

O setor agropecuário é principal fonte de matérias-primas para a indústria de alimentos. As Tabelas 10, 11, 12 e 13 apresentam os dados de produção física e preço das principais matérias primas (Bajay e Rocha, 2009).

Tabela 10 - Produção física e preço das principais matérias primas. Fonte: Rocha et al., 2012.

Produtos Agrícolas	Produção (10 ³ t)		Preço (R\$/kg)		VBP (milhões R\$)	
	2011	2012	2011	2012	2011	2012
Algodão em caroço	3.229	3.029	1,073	2,300	3.464,5	6.967,4
Amendoim	227	295	1,445	1,420	328,1	418,4
Arroz	13.613	11.600	0,587	0,650	7.984,2	7.539,7
Café Beneficiado	2.609	3.029	8,708	6,432	22.719,2	19.482,2
Feijão	3.768	2.899	1,766	2,690	6.653,7	7.787,3
Mamona	141	25	0,938	0,920	132,3	22,8
Milho	57.407	72.570	0,425	0,470	24.392,5	34.108,0
Soja	75.324	66.383	0,751	1,030	56.579,8	68.374,5
Trigo	5.882	5.789	0,439	0,530	2.584,5	3.068,0

Tabela 11 - Produção física e preço das matérias primas. Fonte: Rocha et al., 2012.

Produtos Agrícolas	Produção (10 ³ t)		Preço (R\$/kg)		VBP (milhões R\$)	
	2011	2012	2011	2012	2011	2012
Banana	29.440	28.800	0,247	0,325	7.274,2	9.354,8
Batata inglesa	3.895	3.639	0,804	0,640	3.130,8	2.328,7
Cacau (amêndoas)	245	255	5,638	4,806	1.381,3	1.225,5
Cana de açúcar	715.143	660.116	0,0455	0,0652	32.545,3	43.048,3
Cebola	1.356	1.425	0,536	0,690	726,6	983,5
Fumo	949	804	5,249	5,982	4.981,6	4.809,2
Mandioca	25.330	24.357	0,266	0,195	6.745,0	4.746,6
Sisal	283	247	0,845	0,826	239,0	204,0
Tomate	4.425	3.683	1,290	1,010	5.708,1	3.719,9
Uva	1.446	1.455	3,315	2,730	4.793,4	3.972,4

Tabela 12 - Produção física e preço das matérias primas de oriundas da pecuária. Fonte: Rocha et al, 2012.

Produtos Pecuários	Produção (10 ³ t)		Preço (R\$/kg)		VBP (milhões R\$)	
	2011	2012	2011	2012	2011	2012
Carne bovina ³	9.158	9.380	6,363	5,797	58.275,3	54.373,1
Frango ⁴	13.058	13.319	2,168	2,596	28.309,9	34.573,6
Leite ³	31.022	32.263	0,816	0,830	25.309,9	26.783,6
Suínos ⁵	3.500	3.570	3,002	2,571	10.506,5	9.176,9
Ovos ⁴					5.639,7	7.119,9

Tabela 13 - Matérias primas ordenada por quantidade de Produção física. Fonte: Rocha et al., 2012.

Principais Matérias Prima	Produção Física	
	2011	2012
	10 ³ t	10 ³ t
Cana de açúcar	715.143	660.116
Soja	75.324	66.383
Milho	57.407	72.570
Leite	31.022	32.263
Mandioca	25.330	24.357
Laranja	19.829	19.013
Arroz	13.613	11.600
Frango	13.058	13.319
Carne bovina	9.158	9.380
Banana	7.023	6.864
Trigo	5.882	5.789
Tomate	4.425	3.683
Batata inglesa	3.895	3.639
Feijão	3.768	2.899
Suínos	3.500	3.570
Algodão em caroço	3.229	3.029
Café Beneficiado	2.609	3.029
Uva	1.446	1.455
Cebola	1.356	1.425
Fumo	949	804
Sisal	283	247
Cacau (em amêndoas)	245	255
Amendoim	227	295

3.6.5. Usos finais da energia na indústria de alimentos e bebidas

A energia passa por várias transformações até chegar ao seu uso final na indústria, como mostra o diagrama da Figura 12. A energia final é energia comprada pela indústria na forma de eletricidade ou de combustível (Rocha et al., 2010).

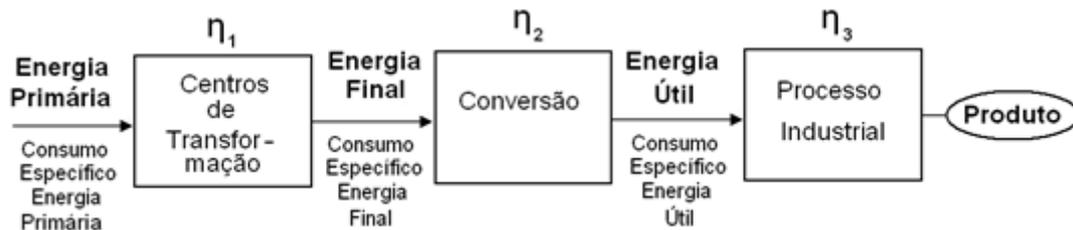


Figura 12 - Diagrama de fluxo de conversão de energia

A indústria de alimentos e bebidas é formada por várias cadeias produtivas, que podem ser agrupadas em segmentos, que são compostos por vários produtos finais e diferentes processos industriais. Os processos são subdivididos em operações, que podem ser agrupadas quanto à natureza dos Usos Finais da energia, como as relacionadas na Figura 13 (Rocha et al., 2010).

Tabela 14 - Usos finais de energia na indústria de alimentos e bebidas. Fonte: Rocha et al., 2010.

Energia Térmica	<i>Calor de processo</i>	<i>Vapor</i>	Branqueamento - imersão em vapor para ajudar a preservação, ou o descascamento
			Cozimento - pressão ambiente, ou sob pressão
			Pasteurização - aquecimento controlado para conseguir uma temperatura mínima por um tempo especificado
			Evaporação - uso do calor para retirar água de uma solução
			Destilação - evaporação de uma mistura e posterior condensação para a purificação ou a extração, principalmente conduzida por vapor
			Esterilização – eliminação de micróbios através da aplicação de calor
	<i>Aquecimento direto</i>	<i>Forno</i>	Assar, tostar - aquecimento em atmosfera controlada
			Fritura - aquecimento com imersão em óleo
			Aquecimento - usando convecção
	<i>Secador</i>	Secagem	
		Desidratação	
	Energia Elétrica	<i>Refrigeração</i>	Resfriamento e congelamento - na maior parte das situações, por compressão mecânica de vapor em instalações criogênicas.
Resfriamento (sem refrigeração direta) - usando convecção forçada do ar ou da água.			
Armazenamento com refrigeração e/ou congelamento			
<i>Força motriz</i>		Extrusão - pressurização mecânica do produto através de bocais	
		Moagem , trituração ou pulverização	
		Mistura	
		Separação - pré-concentração de líquidos utilizando filtração mecânica, centrifugação, peneiramento, ultra-filtração, ou membranas	
<i>Iluminação</i>		Instalações - industriais e administrativas	

3.7. Exemplos de medidas transversais de eficiência energética

3.7.1. Sistemas de Vapor

a) Oportunidades de economia de energia

- Monitoramento de purgadores de vapor
- Vazamento contínuo de vapor e sem fluxo indica que existência de problemas nos purgadores
- Evitar vazamentos de vapor
- Fornecimento de vapor seco para o Processo
- Utilizando o vapor na mais baixa pressão aceitável para o processo

- Utilização adequada de vapor injetado diretamente
- Minimização das Barreiras de Transferência de Calor
- Desaeração apropriada (Proper Air Venting)
- Recuperação do condensado
- Insulamento térmico das tubulações de vapor e equipamentos aquecidos
- Recuperação do vapor Flash
- Redução do trabalho feito pelo vapor

b) Oportunidades na geração de vapor

- Redução de perdas nos gases da chaminé
- Redução do nível de excesso de ar e melhoria da eficiência da combustão
- Recuperação de calor dos gases de escape pela utilização de economizador
- Recuperação de calor dos gases de escape usando pré-aquecedor de ar
- Redução de perdas de calor por radiação e convecção (perda no envoltório da caldeira)
- Recuperação de calor da descarga de fundo (blowdown)
- Redução das perdas de calor associadas à umidade do combustível

c) Oportunidades na distribuição de vapor

- Vazamento de vapor
- Redução de perda de calor através da isolamento térmica
- Recuperação do condensado
- Recuperação do vapor flash

d) Oportunidades no uso final de vapor

- Utilização de vapor direto
- Redução de perda de calor em equipamento de uso de vapor indireto
- Recobrimento de recipientes abertos e aquecidos

e) Sugestões para melhoria da eficiência energética em sistema de vapor

- Programa de inspeção e conserto dos purgadores de vapor
- Isolar termicamente as linhas de distribuição de vapor e de retorno de condensado.
- Usar economizador para recuperação de calor residual.
- Melhorar a eficiência de combustão das caldeiras.

- Limpar superfícies de transferência da caldeira.
- Retornar o condensado para a caldeira.
- Minimizar as descargas de fundo da caldeira (purgas, blowdown).
- Recuperar o calor perdido nas descargas de fundo (purgas, blowdown).
- Usar o vapor de recompressão para recuperar o vapor residual de baixa-pressão.
- Usar a reevaporação do condensado de alta-pressão p/ regenerar o vapor de baixa-pressão.
- Usar um condensador de descarga para recuperar a energia do vapor flash.
- Usar o vapor residual de baixa pressão em chillers (refrigeradores) de absorção.
- Minimizar as perdas na caldeira decorrentes dos ciclos de operações curtos.
- Instalar isolamentos removíveis para válvulas e conexões.
- Instalar desaeradores nos sistemas de vapor industrial.
- Revestir os recipientes abertos que são aquecidos.
- Substituir as válvulas redutoras de pressão por turbogeradores de contrapressão.
- Considerar a utilização de turbina a vapor para acionar equipamentos rotativos.
- Considerar a instalação de caldeiras de alta pressão com turbinas de contrapressão e gerador
- Instalar um sistema de controle automático das descargas de fundo (purga, blowdown).
- Aperfeiçoar a caldeira, com a instalação de queimadores energeticamente eficientes (Rocha et al., 2010).

3.7.2. Sistemas de Ar Comprimido

a) Oportunidades na geração de ar comprimido

- Redução de perdas devido à temperatura do ar aspirado pelo compressor
- Redução de perda de carga por sujeira no filtro de aspiração
- Redução de perdas no sistema de compressão
- Redução de perdas com a pressão de trabalho muito elevada
- Recuperação de calor de compressão

- Redução de perdas por manutenção preventiva inadequada
- Redução de perdas devida à melhoria no sistema de controles de compressores
- Redução de perdas usando reservatório e sistema de estabilização de pressão
- Redução de perdas pelo tratamento do ar comprimido
- Redução de perdas na drenagem do condensado

b) Oportunidades na distribuição de ar comprimido

- Redução de perdas devido à queda de pressão (perdas de carga na tubulação)
- Redução de perdas devido aos vazamentos na distribuição

c) Oportunidades no uso final do ar comprimido

- Redução de perdas pela eliminação de usos inapropriados do ar comprimido
- Substituição de ar comprimido nas aplicações de uso final de baixa pressão

3.7.3. Sistemas de Refrigeração

a) Oportunidades na geração de frio

- Aumento da temperatura de evaporação
- Diminuição da temperatura de condensação
- Aumento do subresfriamento
- Diminuição do superaquecimento
- Variação da pressão de condensação
- Seleção adequada do compressor
- Operação de compressores em carga parcial
- Controle de rotação de compressores parafuso
- Purga de gases não condensáveis
- Controle de rotação dos ventiladores dos condensadores
- Instalação de separadores de óleo
- Resfriamento do óleo de compressores parafuso
- Intertravamento entre o ventilador da torre, a bomba e o compressor
- Tratamento químico da água
- Eliminação de vazamento de água no sistema de condensação

- Controle de rotação do ventilador da torre de resfriamento
- Uso de termostato para controle do ventilador da torre

b) Oportunidades na distribuição do frio

- Isolamento das tubulações
- Eliminação de vazamentos de fluido refrigerante
- Redução da queda de pressão na linha de sucção
- Redução da queda de pressão na linha de descarga
- Troca do filtro secador

c) Oportunidades no uso final do frio

- Redução do ganho de calor através das estruturas das câmaras frigoríficas
- Redução do ganho de calor por infiltração de ar
- Redução do calor dissipado pelos ventiladores dos evaporadores
- Diminuição da carga de iluminação
- Uso de sistemas anti-condensação superficial
- Adequação da temperatura no ambiente refrigerado
- Redução das perdas devido à inexistência de termostato ou pressostato
- Adequação da forma de armazenagem de produtos nos espaços refrigerados
- Diminuição das fontes de calor nos espaços refrigerados ou próximas destes
- Otimização do degelo

3.7.4. Sistemas de Bombeamento

As bombas representam uma boa parcela da energia usada em força motriz na indústria. Várias MEE são aplicáveis neste uso final, tanto no equipamento em si quanto no sistema hidráulico acionado (Rocha et al., 2010).

a) Oportunidades para melhorar a eficiência no uso final da água

- Redução de perdas por vazamento
- Redução do desperdício de água

b) Oportunidades na distribuição da água

- Redução da altura manométrica
- Redução de perda de carga pelo aumento do diâmetro da tubulação
- Melhoria da rugosidade e redução na perda de carga

- Aumento da capacidade dos reservatórios
- Uso de reservatórios de jusante e abastecimento em marcha
- Uso de mais de um reservatório

c) Oportunidades no bombeamento da água

- Melhoria do rendimento da bomba
- Melhoria do rendimento do motor
- Redução da vazão recalçada
- Redução pela variação da velocidade (rotação da bomba)
- Associação adequada de bombas
- Eliminando os problemas de cavitação
- Evitando a recirculação

d) Oportunidades no sistema em geral

- Automação e controle

3.7.5. Sistemas Motrizes

a) Sugestões para melhoria da eficiência energética em sistemas motrizes

No tocante ao uso do motor elétrico em si, três MEE são normalmente consideradas:

- a) Uso de motor de alto rendimento;
- b) Adequação da potência do motor à carga;
- c) Uso de acionadores (conversores de frequência, regulador de tensão).

3.7.6. Medidas de eficiência nas Instalações

- a) Melhoria no sistema de iluminação

Tabela 15 - Medida agrupada de economia de energia em Sistemas motrizes. Fonte: Rocha et al., 2012.

Áreas para melhoria	Combustível economizado	
	(%)	(10 ³ tep/ano)
Melhoria no sistema de iluminação	8,0	13,4
TOTAL	8,0	13,4

3.8. Potencial de economia de energia das medidas transversais

As tecnologias ou medidas transversais estão nos equipamentos ou sistemas que convertem a energia comprada pela empresa, ou seja, a energia final em energia útil aplicada na realização das diferentes operações unitárias que formam os processos produtivos dos segmentos da indústria de alimentos, como ilustrado na Figura 14 (Rocha et al., 2010).

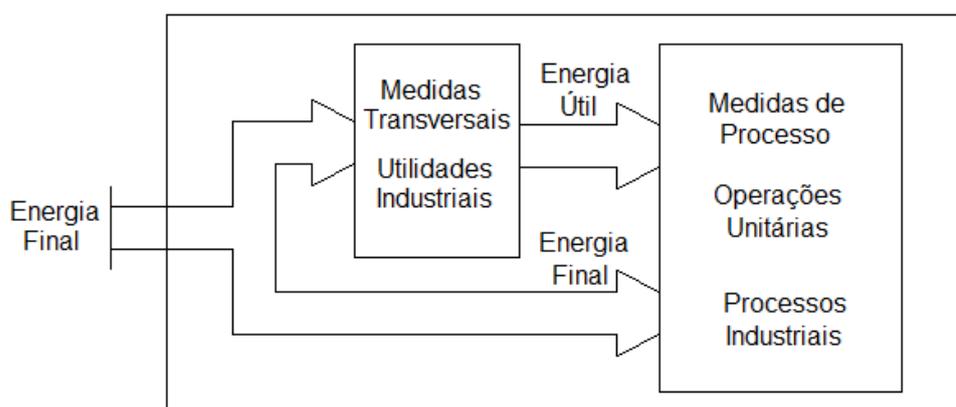


Figura 13 - Diferenciação de medidas transversais e de processo

A Tabela 16 apresenta o consumo de energia final dos segmentos selecionados, desagregado por usos finais, em valores percentuais e absolutos.

Tabela 16 - Energia consumida no setor de alimentos por usos finais (em 2011). Rocha et al., 2010; BEN, 2012.

Usos Finais	%	10 ³ tep/ano
Calor de Processo (Vapor)	51,8%	2.034,5
Força Motriz	13,8%	542,0
Refrigeração	13,1%	514,5
Calor de Processo (Água Quente)	9,2%	361,3
Aquecimento Direto	7,9%	310,3
Iluminação	4,2%	165,0
Total	100,0%	3.927,6

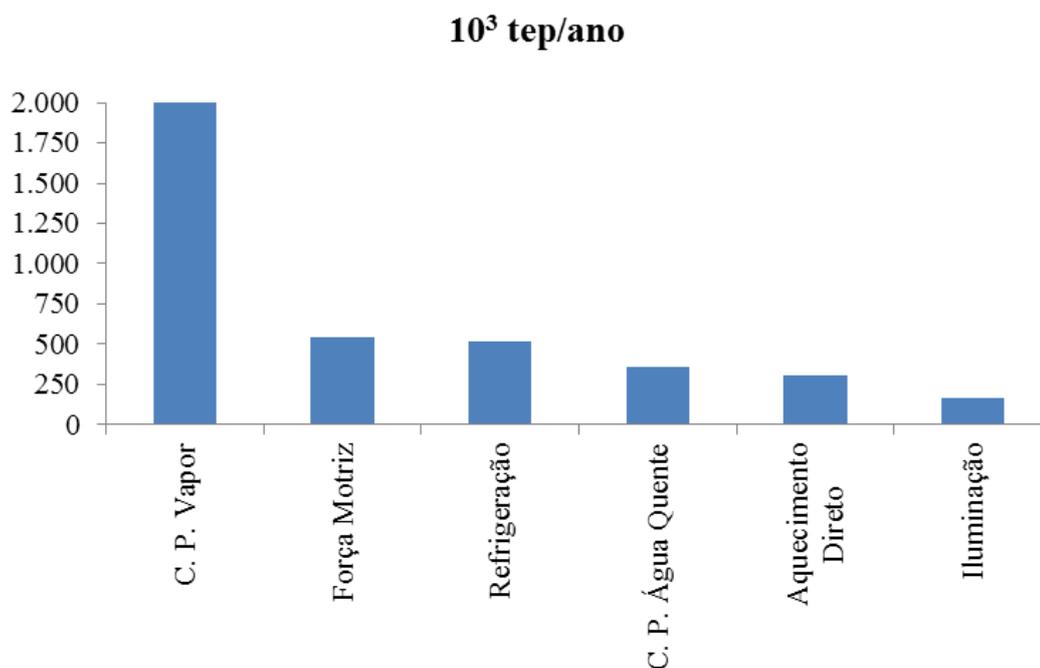


Figura 14 - Energia consumida no setor de alimentos por usos finais (em 2011)

Com os dados da Tabela 16 e considerando que o consumo de energia nos Sistemas de ar comprimido de 20% da Força Motriz; nos Sistemas de bombeamento de 15% e as economias nas Instalações industriais seja no uso final Iluminação, baseado no trabalho de Rocha et al (2010), obtêm-se os dados da Tabela 18.

Tabela 17 - Distribuição do potencial de economia de energia por medidas transversais por usos finais.

Fonte: Rocha et al., 2010.

Medidas Transversais por Usos Finais	Potencial de economia de energia				Consumo inicial
	Inferior	Superior	Inferior	Superior	
	(%)	(%)	10 ³ tep / ano	10 ³ tep / ano	10 ³ tep / ano
Calor de Processo (Vapor)	15,0%	20,0%	310,4	406,9	2034,5
Força Motriz	20,0%	25,0%	110,3	135,5	542,0
Refrigeração	5,0%	15,0%	26,2	77,2	514,7
Calor de Processo (Água Quente)	15,0%	20,0%	54,5	72,3	361,5
Aquecimento Direto	5,0%	10,0%	15,5	31,0	310,0
Iluminação	3,0%	8,0%	5,0	13,2	165,0
Total	12,0%	18,7%	469,5	736,1	3927,7

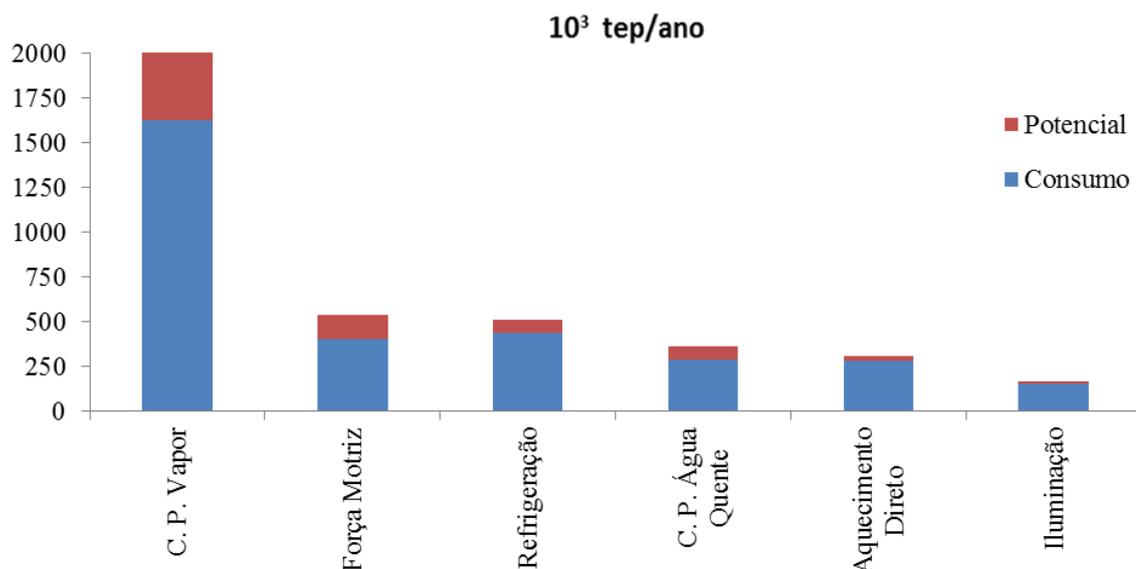


Figura 15 - Potencial superior de economia de energia de medidas transversais por usos finais

Fonte: Rocha et al., 2010

Com os dados da Tabela 17 e da Tabela 18 pode-se elaborar a Tabela 19.

Tabela 18 - Consumo e potencial de economia de Energia Térmica com medidas transversais por usos finais. Fonte: Rocha et al., 2010.

Energia Térmica (10 ³ tep/ano)	C.P. Vp	F. M.	Refrig.	C.P. AQ	A. D.	Ilumin.	Total
Consumo inicial	2.034,5	0,0	0,0	361,3	310,3	0,0	2.706,1
Potencial de economia	406,9	0,0	0,0	72,3	31,0	0,0	510,2
Consumo restante	1.627,6	0,0	0,0	289,0	279,3	0,0	2.195,9

Tabela 19 - Consumo e potencial de economia de Energia Elétrica com medidas transversais por usos finais. Fonte: Rocha et al., 2010.

Energia Elétrica (10 ³ tep/ano)	C.P. Vp	F. M.	Refrig.	C.P. AQ	A. D.	Ilumin.	Total
Consumo inicial	0	542	514,5	0	0	165	1.221,5
Potencial de economia	0	135,5	77,2	0	0	13,2	225,9
Consumo restante	0	406,5	437,3	0	0	151,8	995,6

C.P. Vp (Calor de Processo vapor), F.M. (Força Motriz), Refrig. (Refrigeração), C.P.Aq (Calor de Processo água quente), A.D. (Aquecimento Direto), Ilumin. (Iluminação).

Com os dados da Tabela 19 e da Tabela 20 pode-se elaborar a Tabela 21.

Tabela 20 - Consumo e Potencial de economia de Energia Térmica e Elétrica com medidas transversais.

Fonte: Rocha et al., 2010.

Energia	Térmica	Elétrica	Total
	10 ³ tep/ano	10 ³ tep/ano	10 ³ tep/ano
Consumo restante	2195,9	995,6	3191,5
Potencial de economia	510,2	225,9	736,1
Consumo inicial	2706,1	1221,5	3927,6

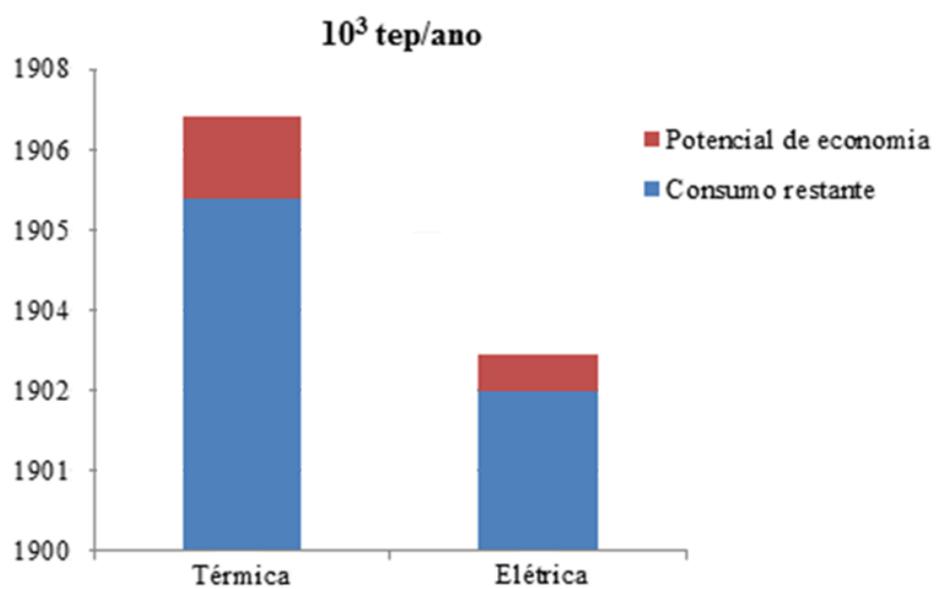


Figura 16 - Potencial de economia de energia de medidas transversais por usos finais energia térmica e energia elétrica

3.8.1. Potencial das medidas transversais em sistemas de vapor

Tabela 21 - Medida agrupada de economia de energia em Sistemas de Vapor. Fonte: Rocha et al., 2010.

Áreas para melhoria	Combustível economizado	
	(%)	(10 ³ tep/ano)
Sistema de distribuição de vapor	5,9%	120,0
Recuperação de calor	3,3%	66,2
Mudanças operacionais	2,8%	57,9
Vapor flash	2,6%	53,8
Projeto da instalação da caldeira	2,0%	41,4
Redução de Pressão	1,7%	34,5
Combustão	1,6%	33,1
Medida Agrupada	20,0%	406,9

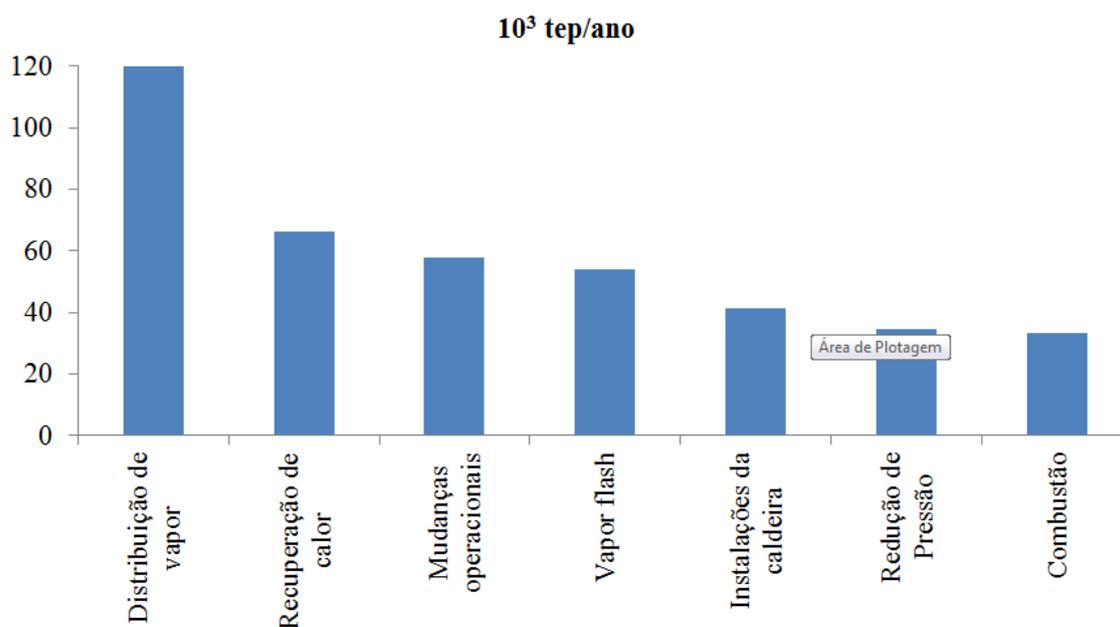


Figura 17 - Medidas desagregadas e potenciais de economia de energia em Sistemas de Vapor

Fonte: Rocha et al., 2010.

3.8.2. Potencial das medidas transversais em Sistemas de Ar Comprimido

Tabela 22 - Medida agrupada de economia de energia em Sistemas de ar comprimido. Fonte: Rocha et al., 2010.

Áreas para melhoria	Combustível economizado	
	(%)	(10 ³ tep/ano)
Geração de ar comprimido	10,0	11,0
Distribuição de ar comprimido	2,0	2,2
Uso final do ar comprimido	3,0	3,3
TOTAL	15,0	16,5

3.8.3. Potencial das medidas transversais em Sistemas de Refrigeração

Tabela 23 - Medida agrupada de economia de energia em Sistemas de refrigeração. Fonte: Rocha et al., 2010.

Áreas para melhoria	Combustível economizado	
	(%)	(10 ³ tep/ano)
Geração de frio	10,0	52,3
Distribuição de frio	3,0	15,7
Uso final de frio	2,0	10,5
TOTAL	15,0	78,5

3.8.4. Potencial das medidas transversais em Sistemas de Bombeamento

As bombas representam uma boa parcela da energia usada em força motriz na indústria. Várias MEE são aplicáveis neste uso final, tanto no equipamento em si quanto no sistema hidráulico acionado.

Tabela 24 - Medida agrupada de economia de energia em Sistemas de bombeamento. Fonte: Rocha et al., 2010.

Áreas para melhoria	Combustível economizado	
	(%)	(10 ³ tep/ano)
Uso final da água	3,0	2,5
Distribuição da água	2,0	1,7
Bombeamento da água	2,0	1,7
Automação e controle	8,0	6,6
TOTAL	15,0	12,4

3.8.5. Potencial das medidas transversais em Sistemas Motrizes

Tabela 25 - Medida agrupada e potencial de economia de energia em Sistemas Motrizes. Fonte: Rocha et al., 2010.

Áreas para melhoria	Combustível economizado	
	(%)	(10 ³ tep/ano)
Uso de acionadores (conversores de frequência)	15,0%	81,3
Adequação da potência do motor à carga	7,0%	37,9
Uso de motor de alto rendimento	3,0%	16,3
Medida Agrupada	25%	135,5

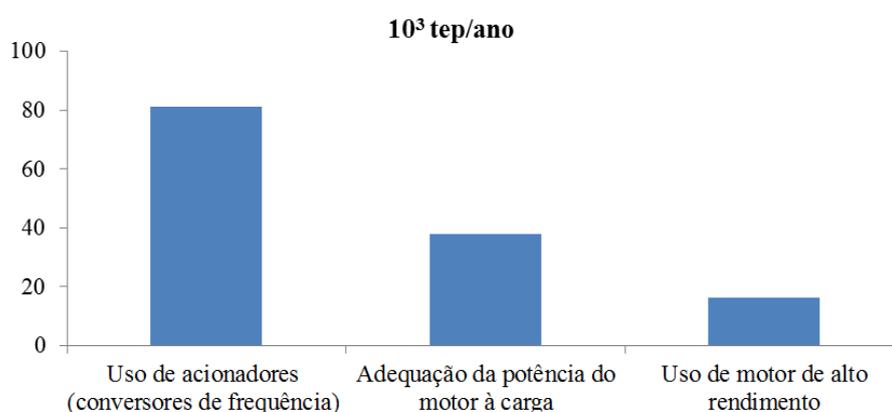


Figura 18 - Medida desagregadas e potenciais de economia de energia em Sistemas Motrizes

Fonte: Rocha et al., 2010

3.8.6. Potencial das medidas transversais nas instalações industriais

Tabela 26 - Medida agrupada de economia de energia em Sistemas motrizes. Fonte: Rocha et al., 2010.

Áreas para melhoria	Combustível economizado	
	(%)	(10 ³ tep/ano)
Melhoria no sistema de iluminação	8,0	13,4
TOTAL	8,0	13,4

4. METODOLOGIA

4.1. Introdução

A desagregação das medidas por tipos é útil para estudos de economia de energia, pois possibilita analisar medidas em áreas mais amplas: como na gestão de energia, nas tecnologias Inter-setoriais. Todavia contribuições de tecnologias específicas de processo também precisam ser consideradas como uma opção possível, particularmente quando seu potencial de economia de energia é alto. As oportunidades na gestão de energia e nas tecnologias inter-sectoriais também podem ser consideradas para o setor industrial em um prazo mais curto do que as medidas de mudança de processo e isso pode levar a uma adoção anterior de aumento da eficiência energética.

Neste trabalho serão analisadas apenas as medidas de economia de energia aplicadas especificamente aos processos industriais.

4.2. Tecnologias de processo

As tecnologias de processo estão nos equipamentos e procedimentos operacionais de execução das operações unitárias formam os processos produtivos dos segmentos da indústria de alimentos e são específicas para cada tipo de operação unitária realizada.

Tecnologias específicas de processo: diretos, que incluem processos de medidas de poupança de energia e mudanças de processo que também são dirigidas a economia de custos de produção de outros, mas que também tem um componente de poupança grande energia (Rocha et al., 2010).

4.3. Operações unitárias utilizadas na indústria de alimentos

A. Recepção e preparação de Materiais

- (A.1) Manuseio de materiais e armazenamento
- (A.2) Classificação / seleção, triagem, peneiramento, debulha etc.

B. Redução de tamanho, mistura e formação

- (B.1) Cortar, fatiar, picar, liquidificar, polpação e prensagem
- (B.2) Misturar / composição e homogeneização
- (B.3) Moagem / beneficiamento e trituração

(B.4) Formação / moldagem e extrusão

C. Técnicas de separação

(C.2) Deionização

(C.4) Centrifugação e sedimentação

(C.5) Filtração

(C.6) Separação por membrana

(C.10) Desodorização por arraste a vapor

D. Tecnologias de processamento de produtos

(D.7) Salga / cura e decapagem

(D.8) Defumação

(D.13) Revestimento/ pulverização / aglomeração / encapsulamento

E. Processamento por calor:

(E.1) Fusão / derretimento

(E.3) Cozimento e fervura

(E.4) Assamento (assar)

(E.5) Tostamento (tostar)

(E.8) Pasteurização, esterilização e UHT

F. Concentração por calor:

(F.1) Evaporação (líquido para líquido)

(F.2) Secagem (líquido para sólido)

(F.3) Desidratação / sublimação (sólido do sólido)

G. Processamento pela remoção de calor:

(G.1) Resfriamento, refrigeração e estabilização usando frio

(G.2) Congelamento

H. Operações de pós-processamento:

(H.1) Embalagem e enchimento

(H.2) Descarga de gás e armazenamento sob gás

U. Instalações e utilidades industriais

(U.1) Limpeza e desinfecção

(U.2) Iluminação das instalações industriais

4.4. Distribuição das operações unitárias por segmentos industriais

A Tabela 27 apresenta uma matriz com a distribuição das operações unitárias nos segmentos selecionados, indicando se existe ou não em cada segmento. Esta distribuição pode auxiliar na estimativa do potencial de economia de energia quando levantado ou estimado o consumo específico de energia de cada operação unitária e seu potencial de economia (Rocha et al., 2010).

Tabela 27 - Matriz de operações unitárias por segmento da indústria de alimentos selecionado no trabalho. Fonte: Rocha et al., 2012.

	Operação Unitária intensiva em consumo de energia	Carnes	Óleos vegetais	Rações	Leite e derivados	Arroz e derivados	Trigo e Derivados	Café e derivados
A.1	Manuseio de materiais e armazenamento	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
B.2	Misturar / composição e homogeneização	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
H.1	Embalagem e enchimento	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
U.1	Limpeza e desinfecção	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
A.2	Classificação / seleção, triagem, peneiramento, debulha	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
B.3	Moagem / beneficiamento e trituração	Sim	Sim	Sim		Sim	Sim	Sim
D.13	Revestimento/ pulverização / aglomeração / encapsulamento	Sim		Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
G.1	Resfriamento, refrigeração e estabilização usando frio	Sim	Sim	Sim	Sim		Sim	Sim
F.2	Secagem (líquido para sólido)		Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
B.4	Formação / moldagem e extrusão	Sim	Sim	Sim	Sim			
C.4	Centrifugação e sedimentação		Sim		Sim		Sim	Sim
C.5	Filtração		Sim		Sim			Sim
E.5	Tostamento (tostar)		Sim	Sim				Sim
F.1	Evaporação (líquido para líquido)		Sim		Sim			Sim
B.1	Cortar, fatiar, picar, liquidificar, polpação e prensagem	Sim		Sim	Sim			
C.6	Separação por membrana				Sim		Sim	Sim
E.3	Cozimento / fervura /parboilização	Sim		Sim		Sim		
E.8	Pasteurização, esterilização e UHT	Sim		Sim	Sim			
F.3	Desidratação / sublimação (sólido do sólido)	Sim		Sim			Sim	
G.2	Congelamento	Sim		Sim				Sim
H.2	Descarga de gás e armazenamento sob gás	Sim			Sim			Sim
A.3	Descascamento ou descamação					Sim		Sim
A.5	Lavagem	Sim			Sim			
C.1	Extração		Sim					Sim
C.2	Deionização		Sim		Sim			
C.9	Branqueamento		Sim			Sim		
D.1	Embebição ou maceração			Sim		Sim		
D.7	Salga / cura e decapagem	Sim			Sim			
D.8	Defumação	Sim			Sim			

Matriz de operações unitárias por segmento da indústria de alimentos selecionado no trabalho (continuação Tabela 27)

	Operação Unitária intensiva em consumo de energia	Carnes	Óleos vegetais	Rações	Leite e derivados	Arroz e derivados	Trigo e Derivados	Café e derivados
E.1	Fusão / derretimento		Sim		Sim			
E.4	Assamento (assar)			Sim			Sim	
A.4	Descongelamento	Sim						
C.7	Cristalização		Sim					
C.8	Remoção dos ácidos graxos livres por neutralização		Sim					
C.10	Desodorização por arraste a vapor		Sim					
C.11	Descoloração		Sim					
C.12	Destilação		Sim					
D.4	Fermentação				Sim			
D.5	Coagulação				Sim			
D.9	Endurecimento		Sim					
E.2	Branqueamento					Sim		
E.6	Fritura			Sim				
E.7	Revenimento			Sim				

Tabela 28 - Relação entre as operações unitárias e os usos finais de energia (adaptado de Rocha et al., 2012).

	Operação Unitária intensiva em consumo de energia	Usos finais de energia associado
A.1	Manuseio de materiais e armazenamento	Força Motriz
A.2	Classificação / seleção, triagem, peneiramento, debulha etc.	Força Motriz
A.4	Descongelamento	C. P. Água Quente
A.5	Lavagem / limpeza	C. P. Água Quente
B.1	Cortar, fatiar, picar, liquidificar, polpação e prensagem	Força Motriz
B.2	Misturar / composição e homogeneização	Força Motriz
B.3	Moagem / beneficiamento e trituração	Força Motriz
B.4	Formação / moldagem e extrusão	Força Motriz
C.10	Desodorização por arraste a vapor	C. P. Vapor
C.2	Deionização	Outros usos
C.4	Centrifugação e sedimentação	Força Motriz
C.5	Filtração	Força Motriz
C.6	Separação por membrana	Força Motriz
D.1	Embebição ou maceração	C. P. Água Quente
D.13	Revestimento/ pulverização / aglomeração / encapsulamento	Força Motriz
D.7	Salga / cura e decapagem	Força Motriz
D.8	Defumação	Aquecimento Direto
E.1	Fusão / derretimento	C. P. Vapor / Aquecimento Direto
E.2	Branqueamento / escaldar	C. P. Água Quente
E.3	Cozimento e fervura	C. P. Vapor
E.4	Assamento (assar)	Aquecimento Direto
E.5	Tostamento (tostar)	Aquecimento Direto

Relação entre as operações unitárias e os usos finais de energia (continuação Tabela 29)

	Operação Unitária intensiva em consumo de energia	Usos finais de energia associado
E.8	Pasteurização, esterilização e UHT	C. P. Vapor
F.1	Evaporação (líquido para líquido)	C. P. Vapor / Força Motriz
F.2	Secagem (líquido para sólido)	C. P. Vapor / Aquecimento Direto / Força Motriz
F.3	Desidratação / sublimação (sólido do sólido)	Força Motriz
G.1	Resfriamento, refrigeração e estabilização usando frio	Refrigeração
G.2	Congelamento	Refrigeração
H.1	Embalagem e enchimento	Força Motriz
H.2	Descarga de gás e armazenamento sob gás	Força Motriz
U.1	Limpeza e desinfecção	C. P. Água Quente / C. P. Vapor / Força Motriz
U.2	Utilidades industriais	Iluminação e outros usos

4.5. Oportunidades de economia de energia em tecnologias de processo

Para obter um estudo bem detalhado e com uma grande possibilidade de economia de energia, as tecnologias de processos, que estão ligadas a cada operação unitária, foram desagregadas e divididas em forma de letras.

A. Recepção e preparação de Materiais:

(A.1) Manuseio de materiais e armazenamento:

A principal fonte de consumo energia é como: Força Motriz, e as principais medidas de economia de energia identificadas são:

- Otimização de layout industrial
- Equipamento com mancais e/ou parte móveis e de baixo atrito
- Redução de atrito em transportadores de esteira, helicoidais, de canecas e outros
- Otimização de manutenção preventiva e lubrificação de máquinas e equipamentos

(A.2) Classificação / seleção, triagem, peneiramento, debulha etc.

A principal fonte de consumo energia é como: Força Motriz, e as principais medidas de economia de energia identificadas são:

- Otimização do projeto dos equipamentos
- Adequação do carregamento e volume de produção
- Otimização de manutenção preventiva e lubrificação de máquinas e equipamentos

B. Redução de tamanho, mistura e formação:

(B.1) Cortar, fatiar, picar, liquidificar, polpação e prensagem

A principal fonte de consumo energia é como: Força Motriz, e as principais medidas de economia de energia identificadas são:

- Otimização do projeto dos equipamentos
- Programa de afiação das laminas de corte
- Otimização de manutenção preventiva e lubrificação de máquinas e equipamentos

(B.2) Misturar / composição e homogeneização

A principal fonte de consumo energia é como: Força Motriz, e as principais medidas de economia de energia identificadas são:

- Otimização do projeto dos equipamentos
- Otimização de manutenção preventiva e lubrificação de máquinas e equipamentos

(B.3) Moagem / beneficiamento e trituração

A principal fonte de consumo energia é como: Força Motriz, e as principais medidas de economia de energia identificadas são:

- Otimização do projeto dos equipamentos
- Otimização de manutenção preventiva e lubrificação de máquinas e equipamentos

(B.4) Formação / moldagem e extrusão

A principal fonte de consumo energia é como: Força Motriz, e as principais medidas de economia de energia identificadas são:

- Otimização do projeto dos equipamentos
- Fornecimento de energia térmica para reduzir a necessidade de aquecimento por atrito
- Otimização de manutenção preventiva e lubrificação de máquinas e equipamentos

C. Técnicas de separação:

(C.4) Centrifugação e sedimentação

A principal fonte de consumo energia é como: Força Motriz, e as principais medidas de economia de energia identificadas são:

- Otimização do projeto dos equipamentos
- Otimização de manutenção preventiva e lubrificação de máquinas e equipamentos
- Utilização de hidro ciclones

(C.5) Filtração

A principal fonte de consumo energia é como: Força Motriz, e as principais medidas de economia de energia identificadas são:

- Otimização do projeto dos equipamentos
- Utilização de técnicas de filtração progressiva

(C.6) Separação por membrana

A principal fonte de consumo energia é como: Força Motriz, e as principais medidas de economia de energia identificadas são:

- Otimização do projeto dos equipamentos
- Otimização de sistema de bombeamento

(C.10) Desodorização por arraste a vapor

As principais fontes de consumo energia são como: Calor de Processo Vapor e Força Motriz e as principais medidas de economia de energia identificadas são:

- Recuperação de calor
- Otimização do projeto das torres de desodorização

D. Tecnologias de processamento de produtos:

(D.7) Salga / cura e decapagem

A principal fonte de consumo energia é como: Força Motriz, e as principais medidas de economia de energia identificadas são:

- Otimização do projeto dos equipamentos

(D.8) Defumação

A principal fonte de consumo energia é como: Aquecimento Direto, e as principais medidas de economia de energia identificadas são:

- Recuperação de calor

- Substituição por processo de defumação líquida

(D.13) Revestimento / pulverização / aglomeração / encapsulamento

A principal fonte de consumo energia é como: Força Motriz, as principais medidas de economia de energia identificadas são:

- Otimização do projeto dos equipamentos

E. Processamento por calor:

(E.1) Fusão / derretimento

As principais fontes de consumo energia são como: Calor de Processo Vapor e Aquecimento Direto, e as principais medidas de economia de energia identificadas são:

- Melhoria de isolamento térmico
- Recuperação de calor
- Análise pinch e integração de processos

(E.2) Branqueamento / escaldar

A principal fonte de consumo energia é como: Calor de Processo Água Quente e as principais medidas de economia de energia identificadas são:

- Utilização de calor residual de outros processos
- Melhoria de isolamento térmico
- Análise pinch e integração de processos

(E.3) Cozimento e fervura

A principal fonte de consumo energia é como: Calor de Processo Vapor, e as principais medidas de economia de energia identificadas são:

- Recuperação de calor
- Melhoria de isolamento térmico
- Substituição de cozedores em batelada por cozedores contínuos
- Análise pinch e integração de processos

(E.4) Assamento (assar)

A principal fonte de consumo energia é como: Aquecimento Direto, e as principais medidas de economia de energia identificadas são:

- Recuperação de calor
- Utilização de infravermelho produzido por material cerâmico aquecido
- Melhoria de isolamento térmico

(E.5) Tostamento (tostar)

A principal fonte de consumo energia é como: Aquecimento Direto, e as principais medidas de economia de energia identificadas são:

- Recuperação de calor
- Utilização de infravermelho produzido por material cerâmico aquecido

(E.8) Pasteurização, esterilização e UHT

As principais fontes de consumo energia são como: Calor de Processo Vapor e Força Motriz, e as principais medidas de economia de energia identificadas são:

- Recuperação de calor
- Melhoria de isolamento térmico
- Análise pinch e integração de processos

F. Concentração por calor:

(F.1) Evaporação (líquido para líquido)

A principal fonte de consumo energia é como: Calor de Processo Vapor, e as principais medidas de economia de energia identificadas são:

- Utilização de evaporadores de múltiplos estágios
- Recuperação de calor e recompressão do vapor
- Pré-concentração utilizando osmose reversa

(F.2) Secagem (líquido para sólido)

As principais fontes de consumo energia são como: Calor de Processo Vapor, Aquecimento Direto e Força Motriz, e as principais medidas de economia de energia identificadas são:

- Utilização de queima de gás para aquecimento direto do ar de secagem
- Recuperação de calor
- Otimização do processo de secagem

(F.3) Desidratação / sublimação (sólido do sólido)

As principais fontes de consumo energia são como Calor de Processo Vapor e Refrigeração, e as principais medidas de economia de energia identificadas são:

- Geração de vácuo com ejetores de vapor
- Produção de frio a partir de calor residual (sistema de refrigeração por absorção)

G. Processamento pela remoção de calor:

(G.1) Resfriamento, refrigeração e estabilização usando frio

As principais fontes de consumo energia são como: Refrigeração e Força Motriz, e as principais medidas de economia de energia identificadas são:

- Redução da carga térmica
- Redução das temperaturas de processamento do produto
- Produção de frio a partir de calor residual (sistema de refrigeração por absorção)

(G.2) Congelamento

As principais fontes de consumo energia são como: Refrigeração e Força Motriz, as principais medidas de economia de energia identificadas são:

- Redução da carga térmica
- Produção de frio a partir de calor residual (sistema de refrigeração por absorção)

H. Operações de pós-processamento:

(H.1) Embalagem e enchimento

A principal fonte de consumo energia é como Força Motriz e as principais medidas de economia de energia identificadas são:

- Otimização do projeto dos equipamentos
- Otimização de manutenção preventiva e lubrificação de máquinas e equipamentos

(H.2) Descarga de gás e armazenamento sob gás

A principal fonte de consumo energia é como Força Motriz e as principais medidas de economia de energia identificadas são:

- Otimização do projeto dos equipamentos
- Otimização de manutenção preventiva e lubrificação de máquinas e equipamentos

U. Instalações e utilidades industriais:

(U.1) Limpeza e desinfecção

A principal fonte de consumo energia é como Calor de Processo Água Quente e as principais medidas de economia de energia identificadas são:

- Recuperação de calor do vapor condensado para produzir água quente
- Uso de novas técnicas de esterilização

(U.2) Iluminação das instalações industriais

A principal fonte de consumo energia é como Iluminação e as principais medidas de economia de energia identificadas são:

- Adequação do sistema de iluminação
- Uso lâmpadas mais eficientes

4.6. Principais operações unitárias consumidores de energia

Os processos industriais da indústria de alimentos, podem ser desagregados em operações unitárias. As principais operações unitárias com maior consumo específico de energia térmica nos segmentos selecionados são:

- (U.1) Limpeza e desinfecção
- (F.1) Evaporação (líquido para líquido)
- (F.2) Secagem (líquido para sólido)
- (E.3) Cozimento e fervura
- (E.8) Pasteurização, esterilização e UHT

As principais operações unitárias com maior consumo específico de energia elétrica nos segmentos selecionados são:

- (G.1) Resfriamento, refrigeração e estabilização usando frio
- (G.2) Congelamento
- (B.3) Moagem / beneficiamento e trituração

- (B.4) Formação / moldagem e extrusão

Para estimar o potencial de economia de energia de uma operação unitária específica, além de identificar as medidas de tecnologias de processo é necessário conhecer o seu potencial de economia específico e a quantidade de produto processado na operação unitária. Pois no modelo adotado a metodologia utilizada é de desagregar o consumo em:

$$\mathbf{CEOU = CEE \cdot PF \text{ [MJ/ano]}} \quad (3.5)$$

Onde:

CEOU – Consumo de energia da operação unitária [MJ]

CEE – Consumo Específico [MJ/t]

PF – Produção Física [t/ano] (produto final)

Assim, no levantamento e análise das medidas com maior potencial de economia de energia no setor de alimentos e bebidas é necessário levar em conta, não somente as medidas com maior potencial de economia no consumo específico, mas as medidas que possam impactar operações unitárias de maior consumo absoluto, ou seja, as que são utilizadas para processar grande quantidade de matérias prima e/ou produzirem grande quantidade de produto final.

5. ESTUDO DE CASO: Segmento de Carne Bovina

Para demonstrar a aplicabilidade da metodologia desenvolvida foi elaborado um estudo de caso para avaliar o potencial de economia de energia de segmento específico.

5.1. Subsegmento de carne bovina

O Brasil possui o maior rebanho comercial do mundo, com mais de 199 milhões de cabeças. É o segundo maior produtor mundial, com 10,3 milhões de t e assumiu a liderança mundial nas exportações com 2,5 milhões de t, (representa 38.35% das exportações mundiais). O mercado interno consome 6,9 milhões de t, com média de consumo por habitante de 26,8 kg.

A característica principal do rebanho é a sua forma de alimentação natural totalmente a pasto (*green cattle*): capim verde; alimentação de forma natural, este processo produtivo elimina qualquer possibilidade de doenças no rebanho, tipo BSE (doença da vaca louca). O Brasil possui condições ideais, solo, sol, chuva, muito pasto e custos baixos de produção e mais de 170 milhões de ha em pastagens para expandir sua produção. Esta área tem capacidade para receber 400 milhões de cabeças, dobro do rebanho atual. Nenhum outro país do mundo tem essa área disponível. Modernas técnicas na cadeia produtiva têm contribuindo para o desenvolvimento e aumento da produção, fundamentada na eficiência e qualidade do produto, (Rocha et al., 2012). Em 2011 foram abatidos 21,5 milhões de cabeças em todo o país, sendo que Mato Grosso, São Paulo, Mato Grosso do Sul, Goiás, Minas Gerais e Pará, lideram os abates, com 62,4% dos abates no país.

A cadeia produtiva da carne bovina, envolvendo a produção da pecuária e da Indústria movimentou, US\$ 167,5 bilhões em 2010. Já na indústria de alimentos o faturamento do setor de carnes representa cerca de 22% de foi responsável por 43% da exportações de alimentos. A Figura 20 apresenta uma visão completa da cadeia produtiva da carne bovina, envolve os segmentos desde antes das fazendas até o consumidor.

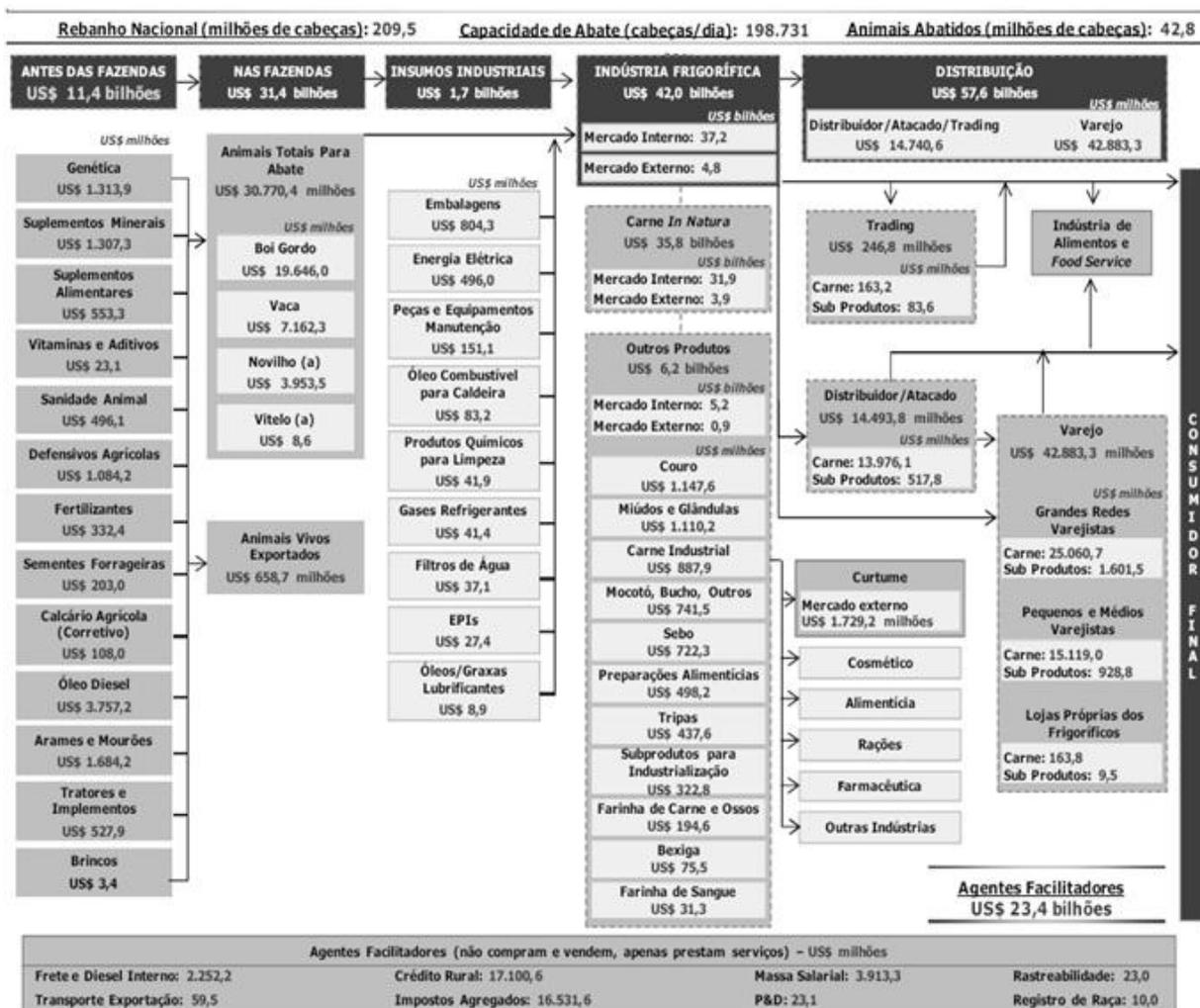


Figura 19 - Diagrama da cadeia produtiva da carne bovina completa.

Fonte: Rocha et al., 2012.

A Figura 22 mostra o fluxo de matéria-prima na cadeia produtiva de carne bovina para o ano de 2009, com dados de rebanho nacional (208 milhões de cabeças), de importações e exportações de animais vivos (5.262 e 404.853, respectivamente). Também fornece dados da área de pastagem (172 milhões de ha), da taxa de ocupação (1,2 cab/ha) e da taxa de desfrute (18,9%), ou seja, da relação entre o abate no ano (39,5 milhões de cabeças) e o rebanho (208 milhões de cabeças). A produção de carnes, que em 2009, foi de 9,1 milhões de toneladas.

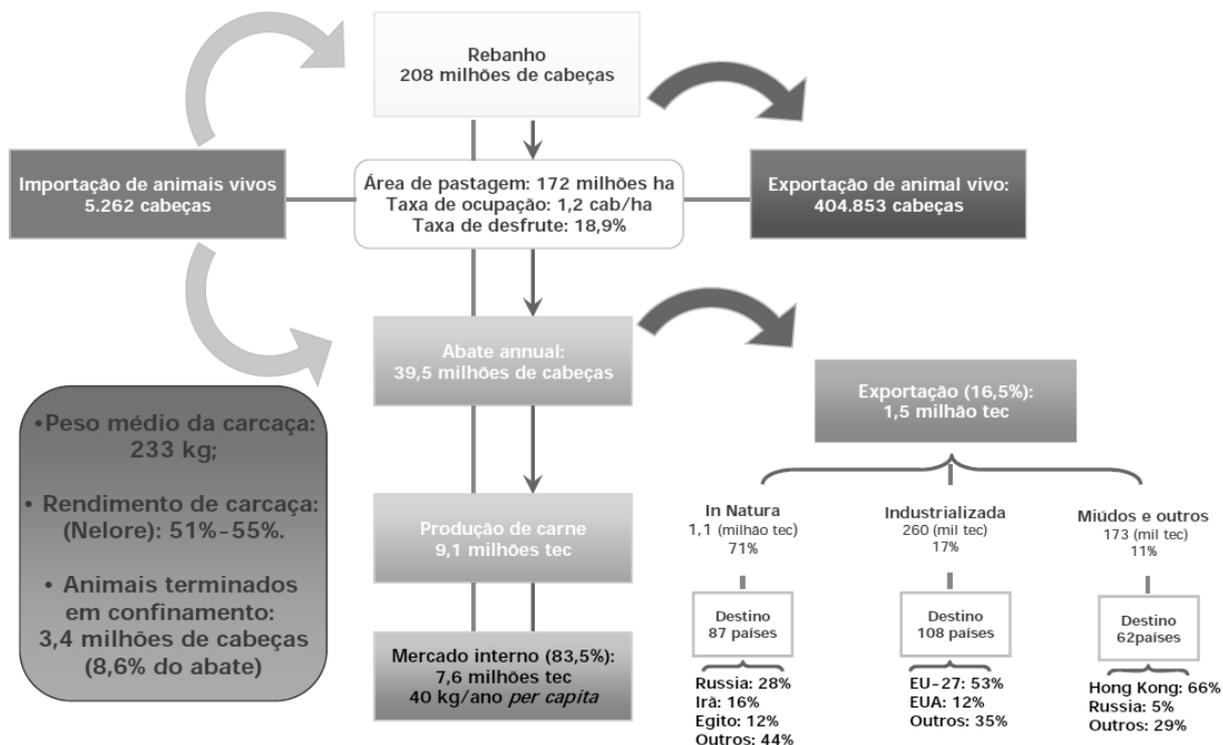


Figura 20 - Fluxo de matéria-prima na cadeia produtiva de carne bovina (2009)

Fonte: Rocha et al., 2012.

Em 2009, havia 80 frigoríficos no Brasil e os estados que o maior número de frigoríficos foi: Matogrosso com 19 unidades; Mato Grosso do Sul com 12; São Paulo e Goiás com 9, e os demais estados com menos de 6 unidades.

Além da redução do número de plantas, de 210 no final dos anos 70, para 80 estabelecimentos em 2009, nota-se a concentração dos mesmos em alguns estados, dentre eles: Mato Grosso, com o maior número de plantas, seguido do Mato Grosso do Sul, São Paulo, Goiás e Minas Gerais.

5.2. Etapas do processo de abate de bovinos

O abate de bovinos, assim como de outras espécies animais, é realizado para obtenção de carne e de seus derivados, destinados ao consumo humano. Esta operação, bem como os demais processamentos industriais da carne, são regulamentados por uma série de normas sanitárias destinadas a dar segurança alimentar aos consumidores destes produtos. Assim, os estabelecimentos do setor de carne e derivados em situação regular trabalham com inspeção e fiscalização contínuas dos órgãos responsáveis pela vigilância sanitária (municipal, estadual ou federal) (Pacheco, 2006).

Como consequência das operações de abate para obtenção de carne e derivados, originam-se vários subprodutos e/ou resíduos que devem sofrer processamentos específicos: couros, sangue, ossos, gorduras, aparas de carne, tripas, animais ou suas partes condenadas pela inspeção sanitária, etc.

Normalmente, a finalidade do processamento e/ou da destinação dos resíduos ou dos subprodutos do abate é função de características locais ou regionais, como a existência ou a situação de mercado para os vários produtos resultantes e de logística adequada entre as operações. Por exemplo, o sangue pode ser vendido para processamento, visando a separação e uso ou comercialização de seus componentes (plasma, albumina, fibrina, etc), mas também pode ser enviado para graxarias, para produção de farinha de sangue, usada normalmente na preparação de rações animais. De qualquer forma, processamentos e destinações adequadas devem ser dados a todos os subprodutos e resíduos do abate, em atendimento às leis e normas vigentes, sanitárias e ambientais (Pacheco, 2006).

Algumas destas operações podem ser realizadas pelos próprios abatedouros ou frigoríficos, mas também podem ser executadas por terceiros. Podem-se dividir as unidades de negócio do setor quanto à abrangência dos processos que realizam, da seguinte forma:

Recepção / Currais - O gado é transportado em caminhões até os abatedouros ou frigoríficos, onde é descarregado nos currais de recepção. Os animais são inspecionados, separados por lotes de acordo com a procedência e permanecem nos currais, em repouso e jejum, por 16 a 24 horas. Desta forma, recuperam-se do “stress” da jornada e diminuem o conteúdo estomacal e intestinal. O descanso propicia melhora da qualidade da carne, restabelecendo-se os níveis normais de adrenalina e de glicogênio presentes no sangue (Pacheco, 2006).

Condução e Lavagem dos Animais - Após o período de repouso, os animais são conduzidos para uma passagem cercada, um corredor dividido por estágios entre portões, o que permite sua condução em direção ao abate mantendo a separação por lotes. Esta passagem vai afinando-se, de forma que, na entrada da sala de abate, os animais andem em fila única (conhecido por “seringa”). Durante o percurso, os animais normalmente são lavados com jatos e/ou “sprays” de água clorada.

Atordoamento - Nesta operação o animal é deixado inconsciente. Chegando ao local do abate, os animais entram, um após o outro, em um “box” estreito com paredes móveis, para o atordoamento. O equipamento de atordoamento normalmente é a marreta pneumática, com pino retrátil, que é aplicada na parte superior da cabeça dos animais. O pino perfura o osso do crânio e destrói parte do cérebro do animal, deixando-o inconsciente. Outro método usa uma pistola, sem dispositivos penetrantes, que faz o atordoamento por concussão cerebral.

Sangria - O próximo passo é a secção de grandes vasos sanguíneos do pescoço com uma faca. O sangue escorre do animal suspenso, é coletado na calha e direcionado para armazenamento em tanques, gerando de 15 a 20 litros de sangue por animal. O sangue armazenado nos tanques pode ser processado por terceiros, ou no próprio abatedouro, para a obtenção de farinha de sangue, utilizada na alimentação de outros animais.

Esfola e Remoção da Cabeça - Após a sangria, os chifres são serrados e submetidos a uma fervura para a separação dos sabugos (suportes ósseos), e depois de secos podem ser convertidos em farinha ou vendidos. O couro recebe alguns cortes com facas em pontos específicos, para facilitar sua remoção, que então é feita com equipamento que utiliza duas correntes presas ao couro, e um rolete (cilindro horizontal motorizado), que traciona estas correntes e remove o couro dos animais.

Evisceração- As carcaças dos animais são abertas manualmente com facas e com serra elétrica. A evisceração envolve a remoção das vísceras abdominais e pélvicas, além dos intestinos, bexiga e estômagos.

Corte da Carcaça - Após a retirada das vísceras, as carcaças são serradas longitudinalmente ao meio, seguindo o cordão espinal. Entre um e outro animal, as serras

recebem um “spray” de água para limpar os fragmentos de carne e ossos gerados. Então, as meias carcaças passam por um processo de limpeza, no qual pequenas aparas de gordura com alguma carne e outros apêndices (tecidos sem carne) são removidos com facas, e são lavadas com água pressurizada, para remoção de partículas ósseas.

Refrigeração - As meias carcaças são resfriadas para diminuir possível crescimento microbiano (conservação). Para reduzir a temperatura interna para menos de 7°C, elas são resfriadas em câmaras frias com temperaturas entre 0°C e 4°C. O tempo normal deste resfriamento, para carcaças bovinas, fica entre 24 e 48 horas.

Cortes e Desossa - Na operação de corte e desossa, as carcaças resfriadas são divididas em porções menores para comercialização ou posterior processamento para produtos derivados. A desossa é realizada manualmente, com auxílio de facas. As aparas resultantes desta operação são geralmente aproveitadas na produção de derivados de carne.

Estocagem / Expedição - As carcaças, os cortes e as vísceras comestíveis, após processadas e embaladas, são estocadas em frio, aguardando sua expedição.

5.3. Rendimento de produtos e subprodutos do abate de um bovino

A Tabela 29 apresenta alguns valores médios dos produtos que se obtém no abate de um bovino de cerca de 400 kg. Ressalta-se que estes valores devem variar, entre outros aspectos, em função da espécie de bovino, das condições e métodos de criação, da idade de abate e de procedimentos operacionais do abatedouro.

Tabela 29 - Produtos e subprodutos do abate de um bovino de 400 kg. Fonte: Rocha et al., 2012.

	Peso (kg)	Porcentagem do Peso Vivo
Peso vivo	400	100%
Carne desossada	155	39%
Material não-comestível para graxaria (ossos, gordura, cabeça, partes condenadas, etc.)	152	38%
Couro	36	9%
Vísceras comestíveis (língua, fígado, coração, rins, etc.)	19	5%
Sangue	12	3%
Outros (conteúdos estomacais e intestinais, perdas – sangue, carne, etc.)	26	7%

5.4. Operações unitárias e usos finais de energia do abate de um bovino

Na Tabela 30 temos as operações unitárias e os usos finais em cada processo do abate de bovino devidamente com as siglas adotadas.

Tabela 30 - Operações unitárias e usos finais de energia. Fonte: Rocha et al., 2012.

Código	Operação Unitária intensiva em consumo de energia	Usos finais de energia associado
A.1	Manuseio de materiais / armazenamento / expedição	Força Motriz
A.2	Classificação / seleção / triagem / peneiramento / debulha / aparamento	Força Motriz
B.1	Cortar / fatiar / picar / liquidificar / prensagem / atordoamento / sangria	Força Motriz
D.7	Salga / cura / decapagem	Força Motriz
E.2	Remoção e limpeza	Calor de Processo
E.3	Cozimento / fervura / umidificação	Força Motriz
F.2	Secagem (líquido para sólido)	Calor de Processo
G.1	Resfriamento, refrigeração / estabilização usando frio	Calor de Processo
H.1	Embalagem / enchimento	Refrigeração

5.5. Fluxograma com balanço de massa e energia da carne bovina

O fluxograma do processo de abate de bovinos, mostrado na Figura 21, apresenta as etapas do processo com as respectivas operações unitárias e balanço de massa e energia e foi elaborado a partir do trabalho de Larry (1996).

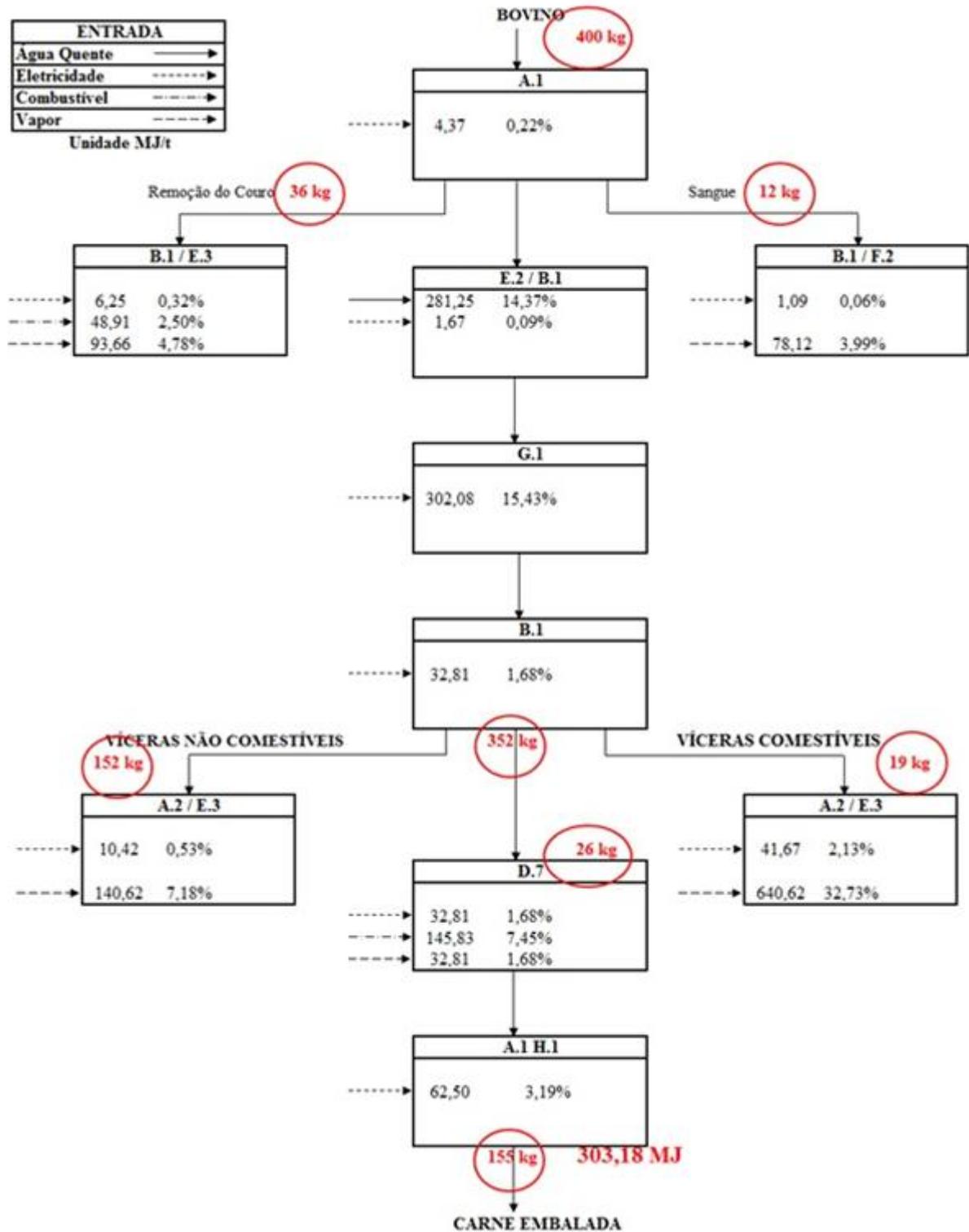


Figura 22 - Fluxograma do processo de abate de bovinos

O fluxograma da Figura 22 apresenta tanto o balanço de massa quanto de energia, desta forma, é possível entender todo o processo de abate bovino, assim como o consumo de energia utilizada em cada operação unitária. Pode-se perceber que a energia total gasta no processo é de 1957 MJ/t, portanto para se produzir 155 kg de carne é consumido 303,18 MJ de energia.

5.6. Distribuição de energia por usos finais do abate de bovinos

De acordo com a Figura 23, é possível visualizar que o maior consumo de energia na indústria de alimentos é com o calor de processo vapor com 50%; seguido da refrigeração com um pouco mais de 15%; e por último o calor de processo água quente com pouco mais de 14%.

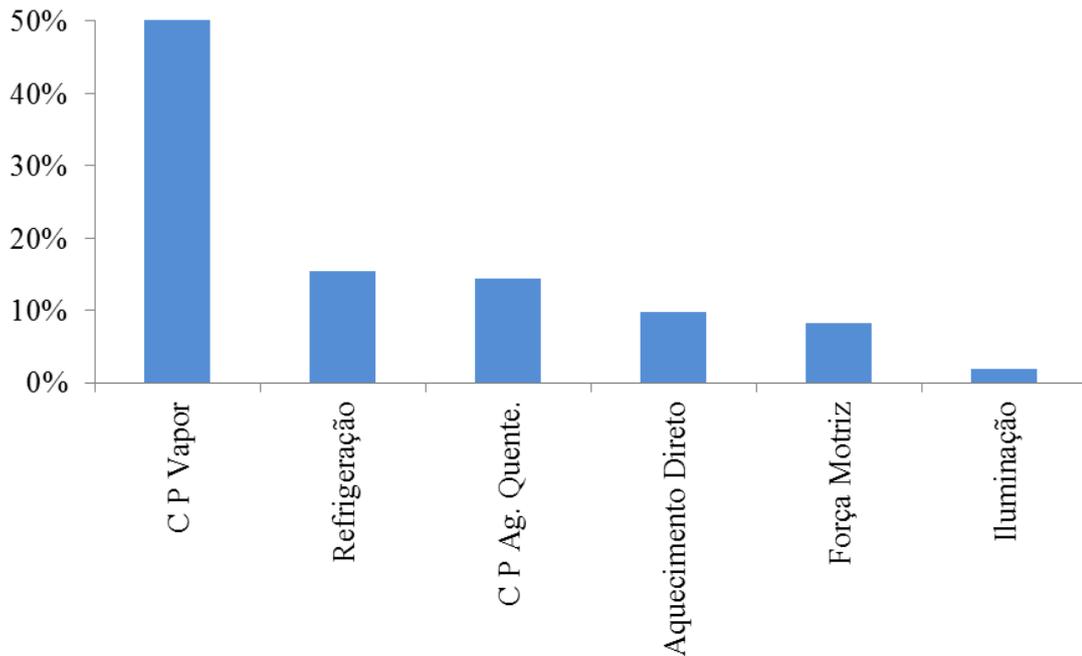


Figura 21 - Distribuição da energia consumida no setor de alimentos por usos finais em (%).

5.7. Distribuição de energia por usos finais e operação unitária no abate de bovinos

Os gráficos a serem apresentados se fundamentam no princípio tanto da análise feita para usos finais como também nas operações unitárias no abate de bovino.

Em se tratando da Figura 24, nota-se que o potencial de economia de energia foi elevado, chegando a 22,5% na operação unitária E.3 (Cozimento / fervura / umidificação), obtendo-se 30% na operação unitária F.2 (Secagem).

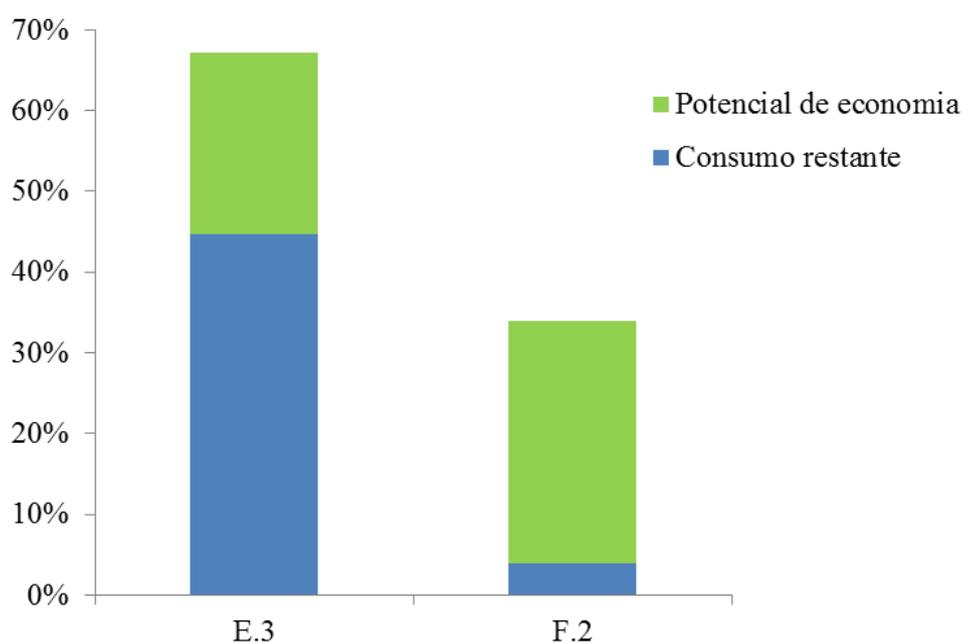


Figura 22 - Distribuição de C. P. Vapor e potencial de economia por operação unitária por medida de processo em (%).

Em análise a Figura 25, pode-se compreender que o potencial de economia de energia na operação unitária G.1 (Refrigeração) foi considerável, chegando a 25%.

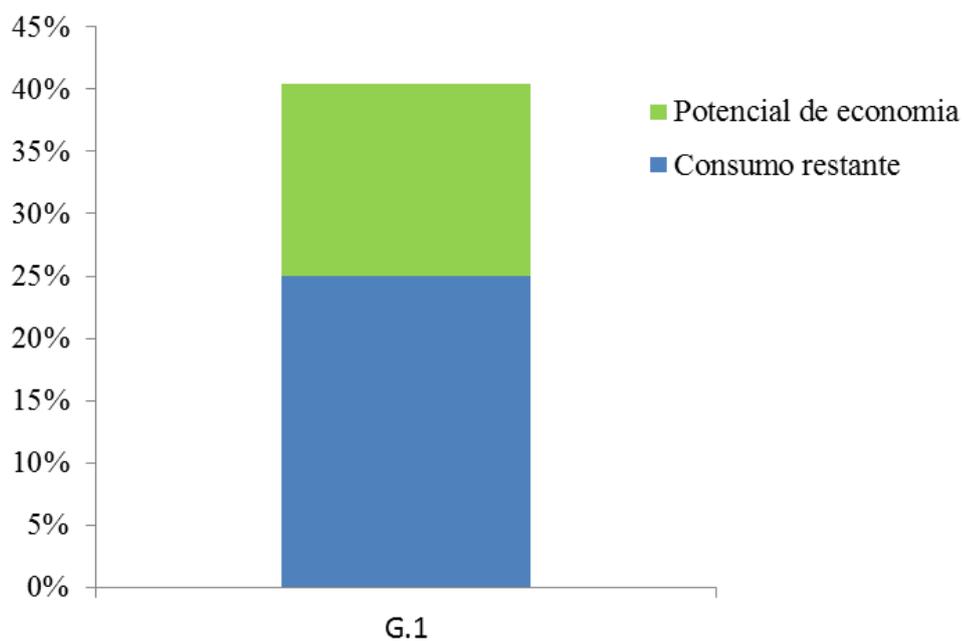


Figura 23 - Distribuição de Refrigeração e potencial de economia de energia por operação unitária por medida de processo em (%)

Considerando a Figura 26, percebe-se que o potencial de economia de energia na operação unitária E.2 (Remoção e limpeza) foi de 10%.

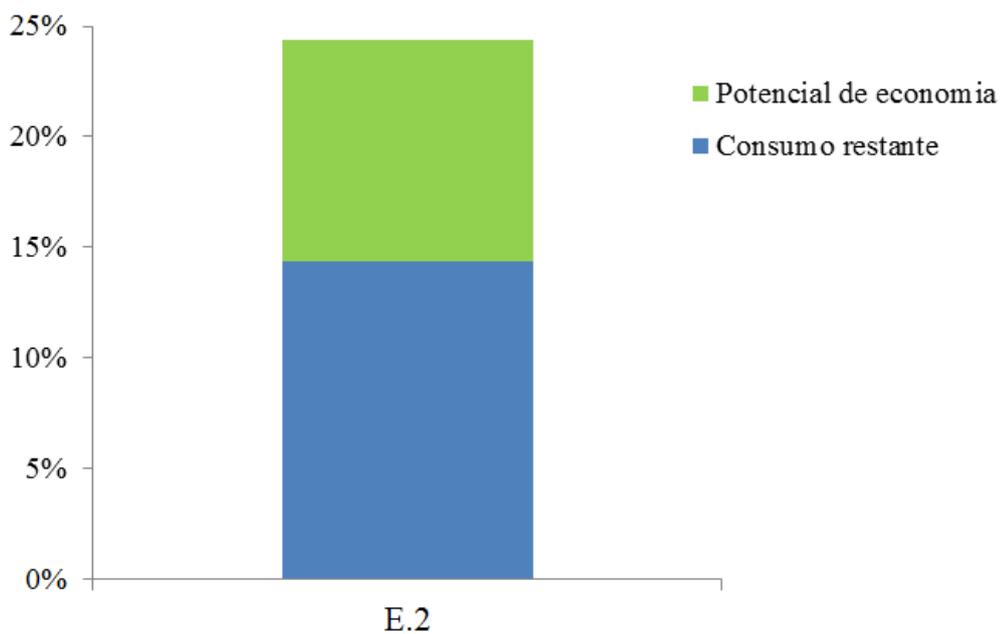


Figura 24 - Distribuição de C. P. Água Quente e potencial de economia de energia por operação unitária por medida de processo (%).

Na Figura 27 abaixo, pode-se observar que o potencial de economia de energia na operação unitária D.7 (Salga / cura / decapagem) foi de 10% e 22,5% para E.3 (Cozimento / fervura / umidificação).

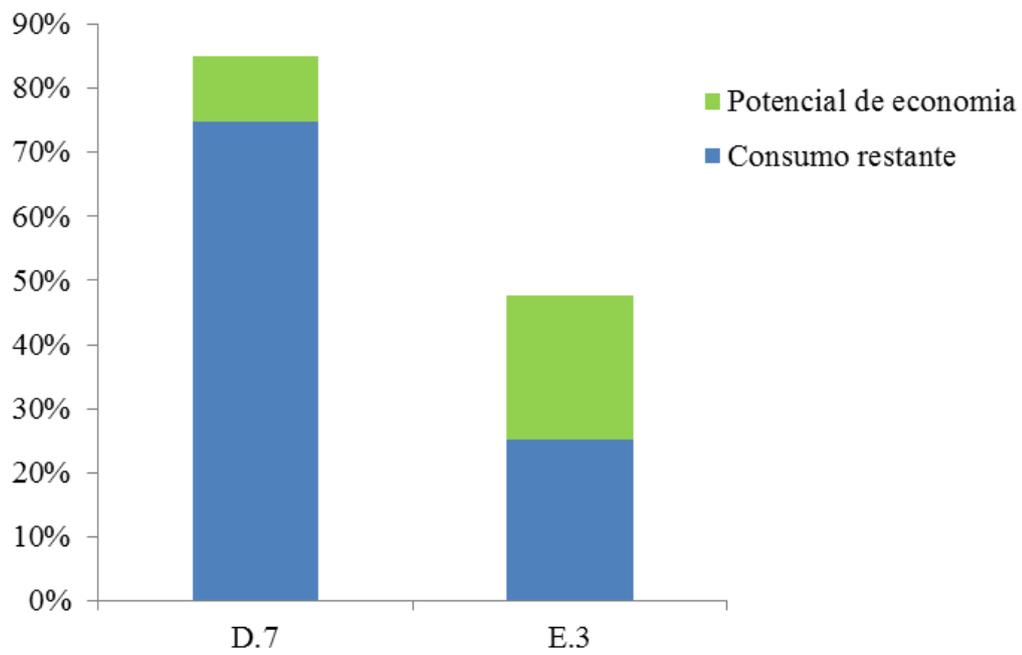


Figura 25 - Distribuição de Aquecimento Direto e potencial de economia de energia por operação unitária por medida de processo (%)

Na Figura 28, destaca-se que o potencial de economia de energia para o uso final, Força motriz teve uma redução de 10% em praticamente todas as operações unitárias.

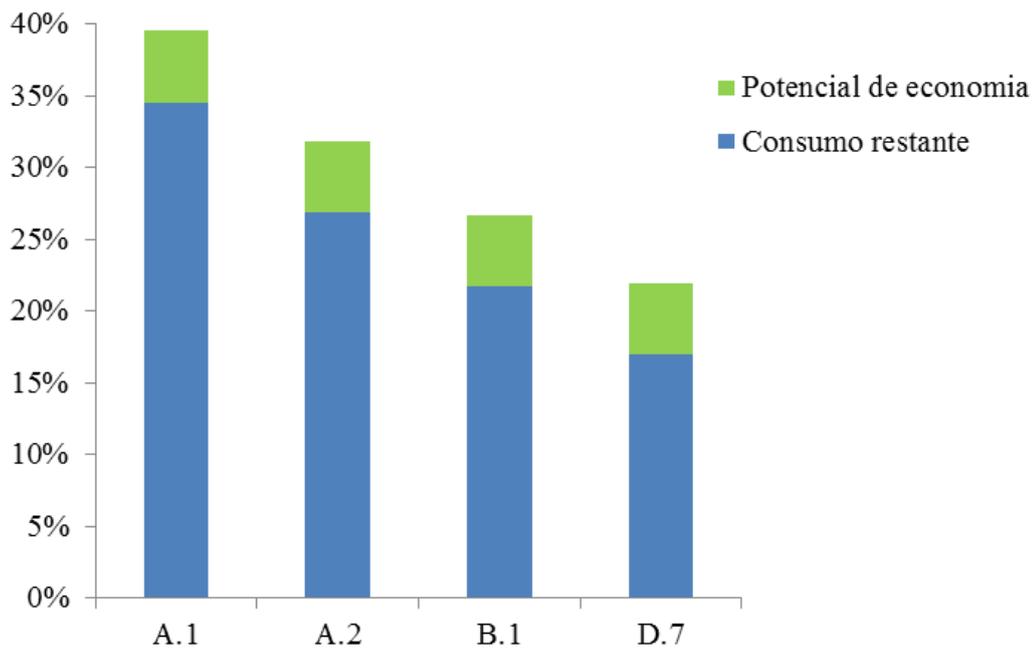


Figura 26 - Distribuição de uso final Força Motriz e potencial de economia de energia por medida de processo por operação unitária (%).

É notável na Figura 29 que o potencial de economia de energia para U.2 (Iluminação) foi de 10%.

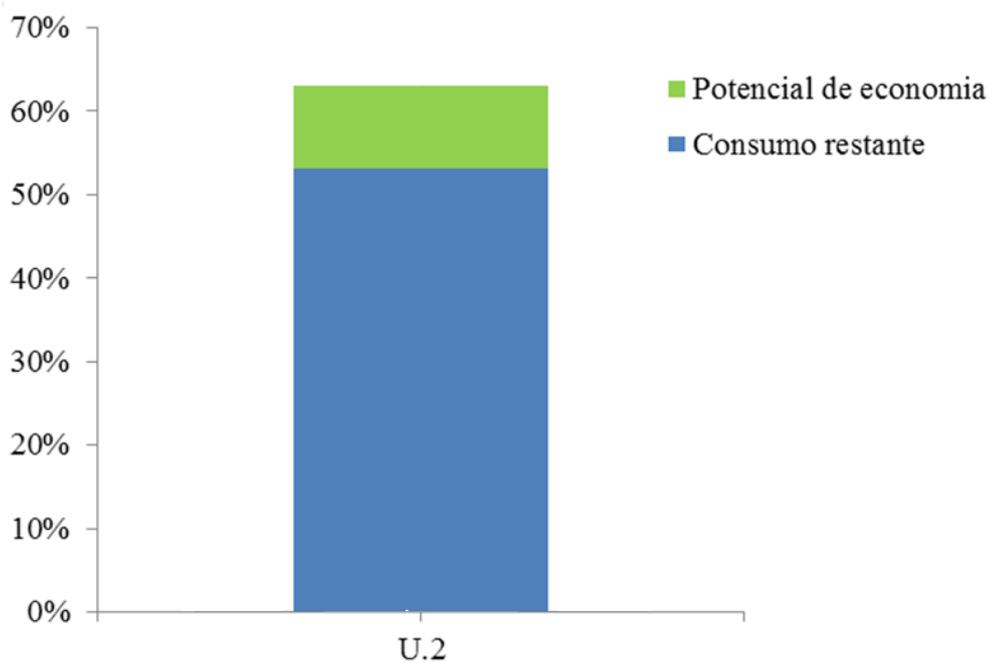


Figura 27 - Distribuição de Iluminação e potencial de economia por operação unitária por medida de processo em (%).

Considerando a Figura 30, é notável que o potencial de economia de energia para os usos finais de energia foi considerável em: calor de processo vapor com 15%; seguido de calor de processo água quente; e força motriz com 5%.

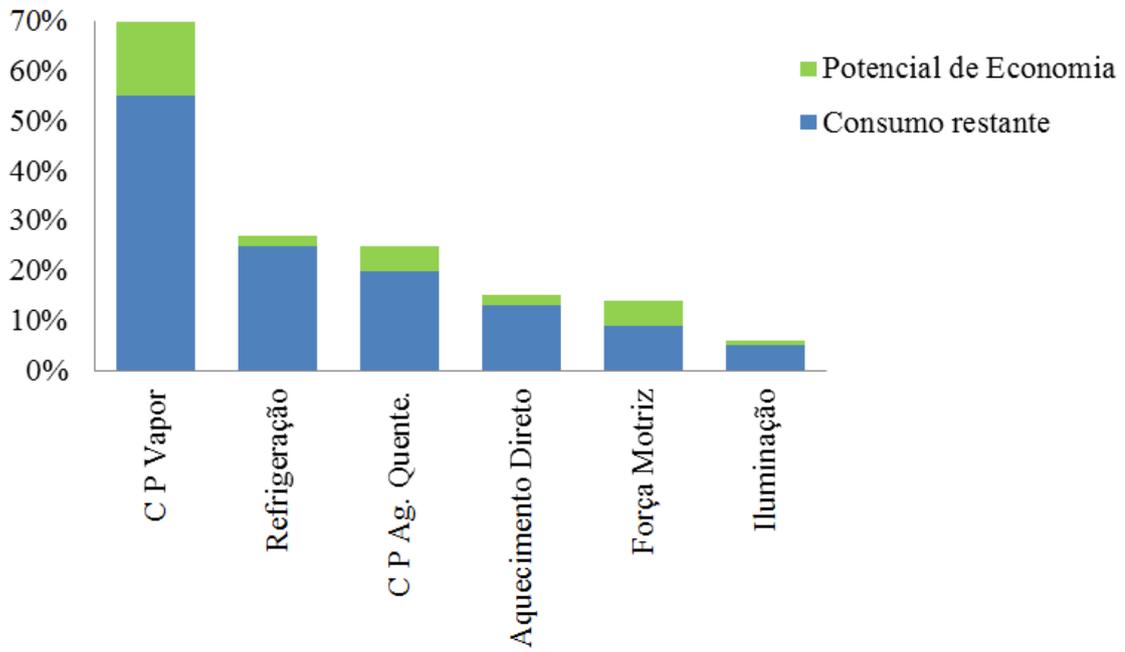


Figura 28 - Potencial de economia de energia para medidas de processo por usos finais (%)

Através da Figura 31, pode-se comparar o potencial de economia de energia para Térmica e Elétrica. Dessa forma, nota-se que o potencial de economia é muito maior em Térmica do que Elétrica. Na Térmica, o potencial de redução foi de 22%; e na Elétrica, foi de 8%.

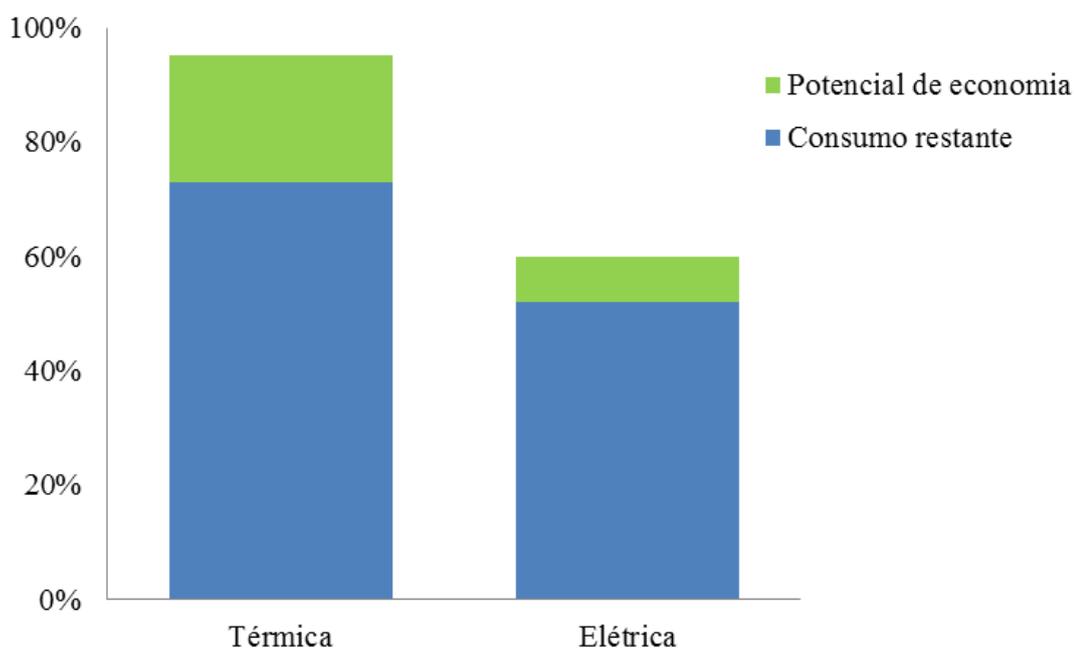


Figura 29 - Potencial de economia de Energia Térmica para medidas de processo por usos finais em (%).

Em relação à Figura 32, pode-se verificar que o potencial de economia de energia para Energia Térmica foi considerável em E.3 (Cozimento / fervura / umidificação) e D.7 (Salga / cura / decapagem); nas outras, a redução foi menor.

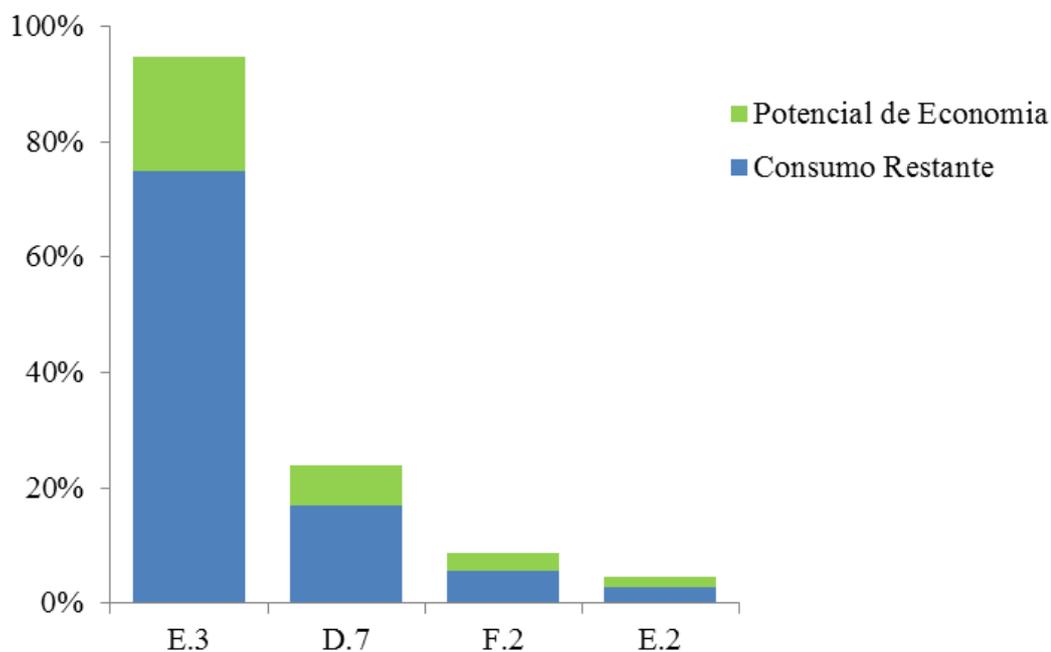


Figura 30 - Distribuição de Energia Térmica e potencial de economia de energia por operação unitária por medida de processo em (%)

Na Figura 33, tem-se o consumo energético em cada operação unitária do processo do abate de bovino. Pode-se notar que em E.3 (Cozimento / fervura / umidificação), o consumo com Calor de Processo Vapor é de 50%; e 10% com Aquecimento direto. D.7 (Salga / cura / decapagem), tem-se o consumo de 33% com Aquecimento Direto; em F.2 (Secagem) tem-se o consumo de 5% com Calor de Processo Vapor; e E.2 (Remoção e limpeza) tem-se o consumo de 1% com Calor de Processo Água quente.

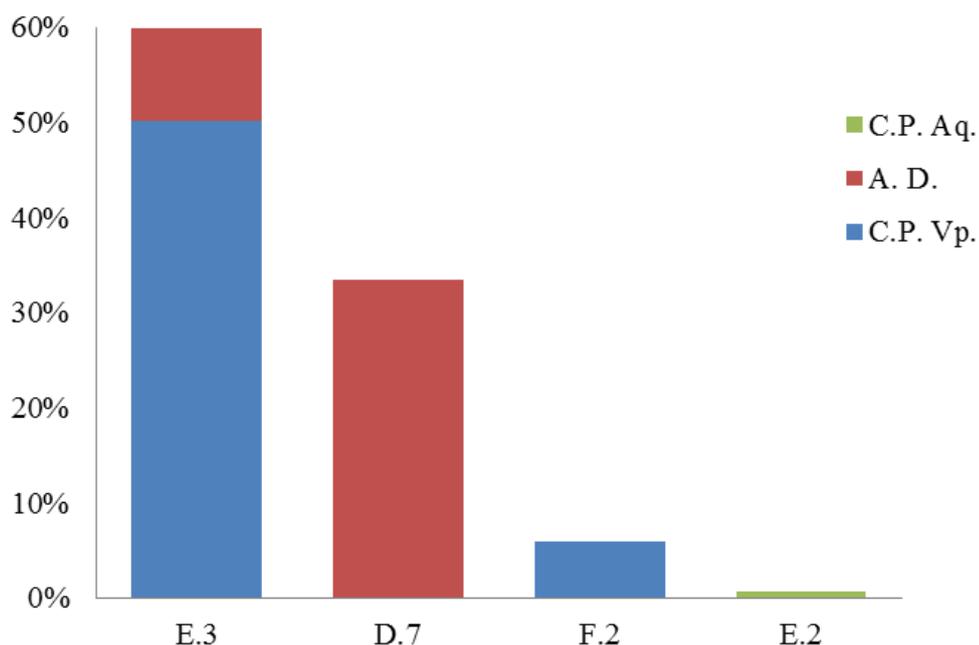


Figura 31 - Distribuição do potencial de economia de energia térmica por operação unitária e por medidas de processo em (%).

Na Figura 34, pode-se notar que o potencial de economia de energia para Energia Elétrica foi considerável em G.1 (Refrigeração) com 25%; e U.2 (Iluminação) com 10% e por fim D.7 (Salga / cura / decapagem) com 5%; e nas outras, a redução foi menor.

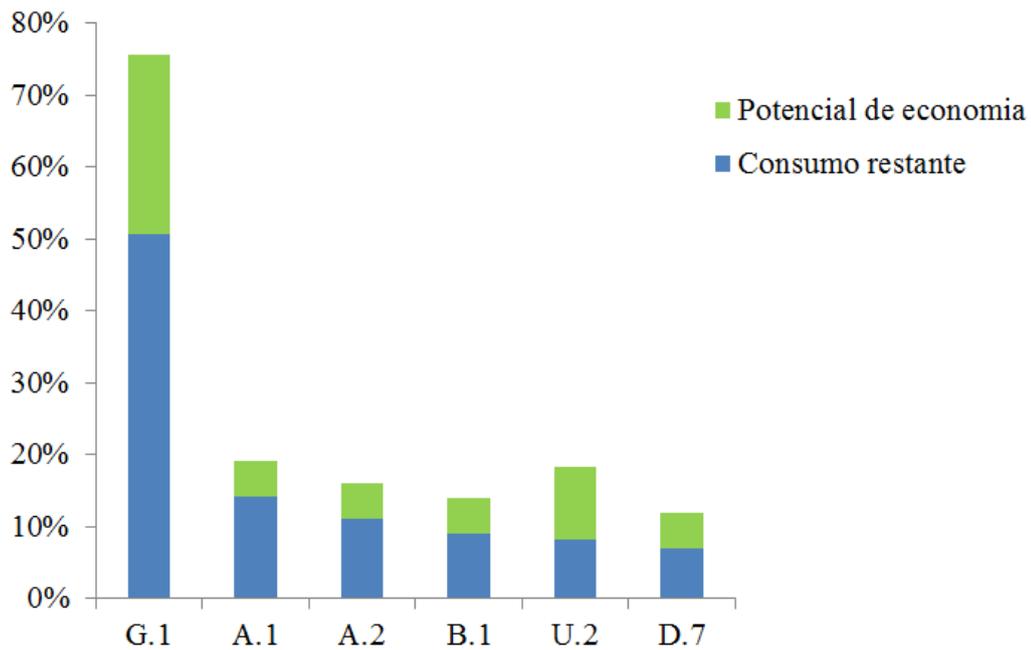


Figura 32 - Distribuição de Energia Elétrica e potencial de economia de energia por operação unitária por medida de processo em (%).

Na Figura 35, tem-se o consumo energético em cada operação unitária do processo do abate de bovino. Pode-se notar que com Iluminação, tem-se 85% do consumo com G.1 (Resfriamento, refrigeração / estabilização usando frio); em D.7 (Salga / cura / decapagem), o consumo com Iluminação é de 26%; e 2% com Força Motriz; em U.2 (Utilidades industriais) o consumo com Refrigeração é de 4%; e com A.1 (Manuseio de materiais / armazenamento / expedição), A.2 (Classificação / seleção / triagem / apartamento) e B.1 (Cortar / fatiar / picar / liquidificar / prensagem / atordoamento / sangria) o consumo total com Força Motriz é de 9%.

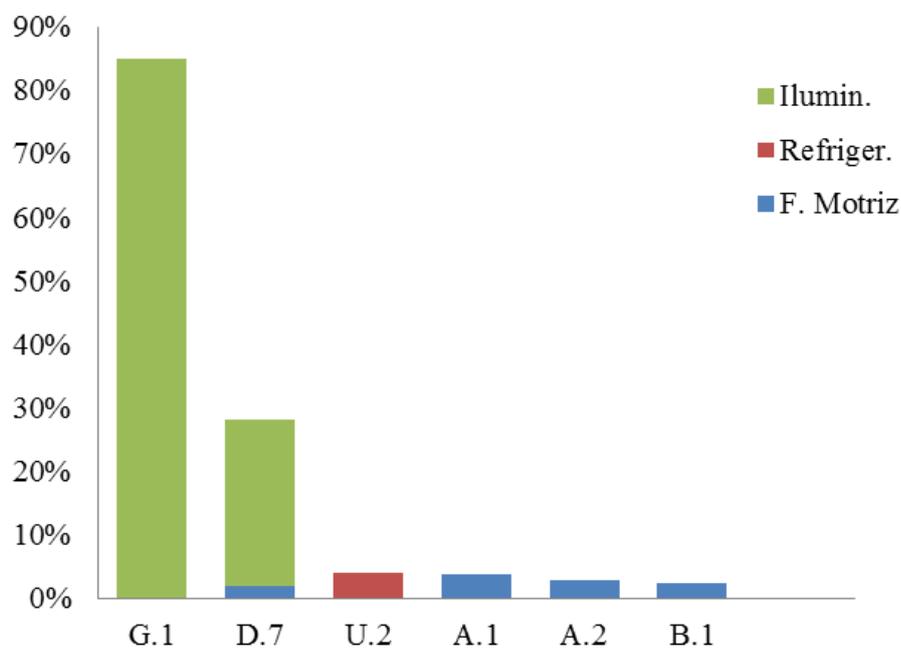


Figura 33 - Distribuição do potencial de economia de energia elétrica por operação unitária para medidas de processo em (%)

A Figura 36 descreve a comparação entre os dois tipos de potencial de economia de energia, Medidas Transversais e Medidas de Processo. Pode-se perceber que através das medidas transversais ocorre uma pequena redução no consumo de energia, e quando aplicamos as medidas de processo, as quais são os conjuntos das operações unitárias, obtemos uma redução bastante significativa.

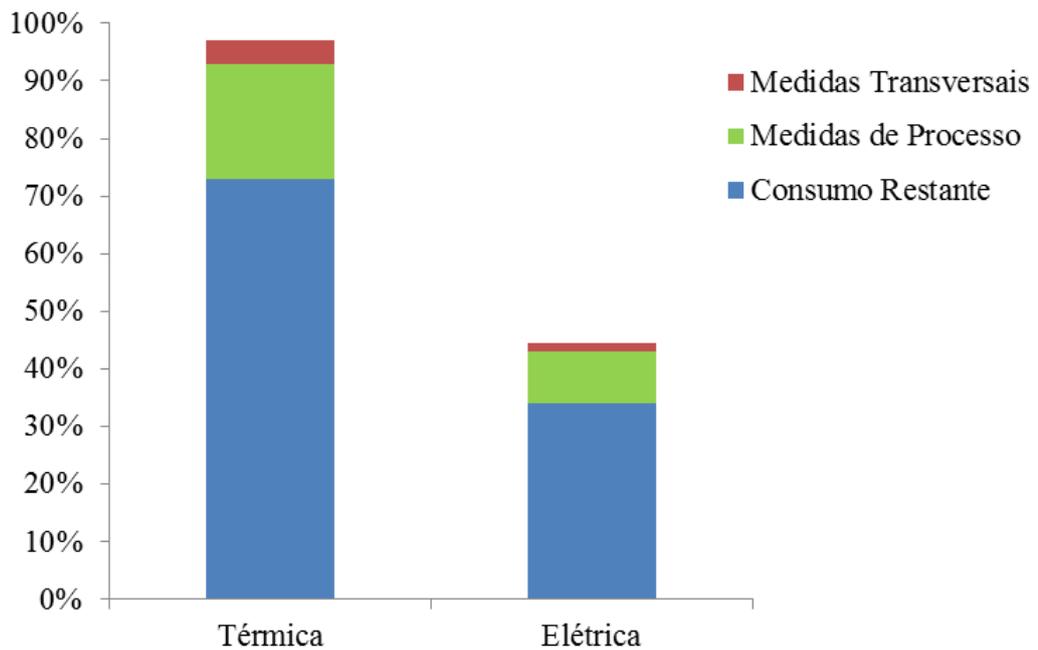
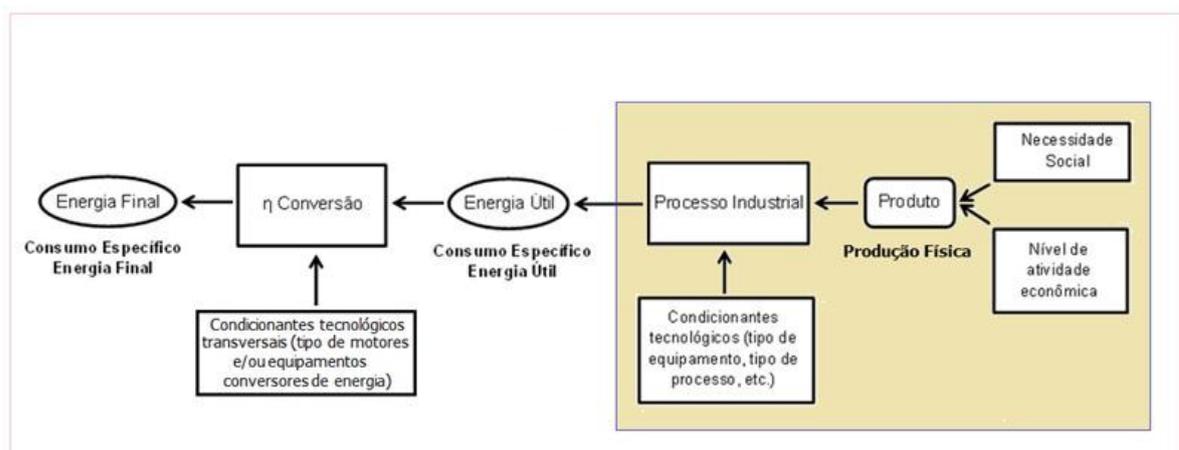


Figura 34 - Consumo e potenciais de economia de energia por tipo de medidas de processo e transversais em (%).

Os resultados obtidos para este trabalho tomaram como princípio a Figura 37 que tem como ideia principal partir da produção física até chegar ao consumo específico, ou seja, a ideia do estudo foi fazer o caminho inverso do método tradicional.



$$\text{Rendimento de conversão} = \frac{CE_{Energia\ Útil}}{CE_{Energia\ Final}}$$

Em que:

$CE_{Energia\ Útil}$ - Consumo Específico de Energia Útil

$CE_{Energia\ Final}$ - Consumo Específico de Energia Final

Figura 35 - Diagrama de Conversão da Energia Final em Energia Útil

Fonte: Adaptado de: MEESP, 2010

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Considerando a aplicação das medidas de processo anteriormente às medidas transversais, haverá uma redução do potencial de economia, pois as medidas de processo reduzem os consumos de energia útil, ou seja, com essa redução, a quantidade de energia final que deveria ser transformada em energia útil foi perdida, e por consequência disso, houve a redução do potencial de economia com as medidas transversais.

Levando em consideração os gráficos obtidos nos resultados, pode-se notar que as medidas de processo reduzem significativamente o consumo de energia, tendo por base uma análise bem detalhada tanto para os usos finais, como para todos os processos unitários, finalizando com o gráfico do potencial de economia de energia tanto térmica quanto elétrica.

Em se tratando da análise do uso final a redução mais expressiva foi obtida através do Calor de Processo Vapor com 15%, seguida do Calor de processo água quente e Força Motriz, ambas com 5%.

Nos processos unitários o potencial de redução mais significativo foi obtido na Refrigeração (G.1) com 25% seguido do Cozimento e fervura (E.3) com 20%.

O consumo energético das térmicas e elétrica juntos obtiveram uma redução de 29% do consumo inicial pelas medidas de processo e uma redução de 8% pelas medidas transversais.

7. CONCLUSÕES

Esse estudo se baseia em uma nova forma de desenvolver e apresentar uma análise das medidas de economia de energia distribuída nas operações unitárias que formam os processos industriais no segmento de abate de bovinos levando em conta as medidas de processos e medidas transversais. Na literatura, costuma-se ver esta análise considerando somente as medidas transversais.

A ideia precursora do estudo se deu a partir da produção física da indústria para chegar ao consumo específico com a possibilidade de ser tido como base para outros setores da indústria.

Da forma que a contextualização foi realizada, pode-se perceber que o potencial de economia de energia obtido é muito significativo quando feita pelas medidas de processos, já o mesmo potencial quando se utiliza as medidas transversais, a economia de energia não é tão relevante.

Em se tratando da referência bibliográfica, essa abordagem tomou como princípio o livro *Energy Analysis of 108 Industrial Processes* (Larry, 1996). Através dele, pode-se obter o conhecimento de todo o processo do abate de bovinos, e juntamente com a ajuda do trabalho CCPI Alimentos Caracterização do Setor, é possível elencar os dados mais precisos.

O consumo de energia no abate de bovinos é de 1956 MJ/t, e levando em consideração a pesquisa realizada, este valor foi desagregado tanto para uso final quanto para os processos unitários, e através deles podem-se obter um resultado favorável do potencial de economia de energia.

Como este estudo foi realizado tendo como referência especificamente o ano de 2011, considerando os dados consolidados do Balanço Energético Nacional, pode-se fazer uma previsão para o futuro utilizando os Métodos de Planejamento Energético. Os métodos que poderiam ser utilizados para fazer a análise desta forma seriam os Métodos bottom-up e o MAED sendo que através deles é possível desagregar ao máximo a estrutura do processo até obter-se o processo unitário.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABIA, Associação Brasileira das Indústrias de Alimentação, Anuário Estatístico, São Paulo, SP, 2007.
- ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica, Atlas de Energia Elétrica do Brasil, 3^a Edição, Brasília, DF, 2008
- ARAÚJO, J. L. R. H., Modelos de Energia para Planejamento, Tese preparada para o Concurso de Professor Titular, Área Interdisciplinar de Energia, Programa de Engenharia Nuclear e Planejamento Energético, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 1988.
- BAJAY, S. V., CARVALHO, E. B., JANNUZZI, G. M., CORREIA, P. B., WALTER, A. C. S., FERREIRA, A. L. & ALMEIDA, M., Planejamento Integrado de Recursos: Conceito, origem, difusão e vantagens em comparação com o planejamento tradicional da expansão do setor elétrico. In: Congresso Brasileiro de Energia, 7. Rio de Janeiro, RJ, 1996a. Anais, v. 3. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, p. 1714-24.
- BAJAY, S. V., ROCHA, C. R. Estudos sobre perspectivas para eficiência energética: setor industrial, IEI - International Energy Initiative, 2009
- BEN, Balanço Energético Nacional, 2012 elaborado pela EPE.
- BEU, Balanço de Energia Útil, 2005, Ministério de Minas e Energia - MME, Brasília, DF, 2005.
- CAIO, L. S. & BERMAN, C.(1999). Análise das metodologias de revisão de mercado de energia elétrica face ao novo perfil de planejamento no ambiente pós-privatização. III Congresso Brasileiro de Planejamento Energético.
- CAIO, L. S. Análise das Metodologias de Previsão de Mercado de Energia Elétrica: Relações Macroeconômicas e o Novo Perfil de Planejamento no Ambiente Pós- Privatização (Dissertação de Mestrado). São Paulo, PIPGE/USP, 1998.
- CARRA, J. L., Matriz Energética e de Emissões: Instrumentos de Análise das Políticas Públicas no Setor Energético, dissertação de mestrado, Programa Interunidades de Pós Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, agosto de 2003.
- CARVALHO, C.B, Avaliação Crítica do Planejamento Energético de Longo Prazo No Brasil, Com Ênfase no Tratamento das Incertezas E Descentralização do Processo, Tese de Doutorado, Comissão de Pós-Graduação Em Engenharia Mecânica Planejamento de Sistemas Energéticos Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, julho de 2005.
- CLINTON, A. (1992). An end-use approach to reliability investment analysis. Energy Economics 144, 248–254.

CSIRO & The Natural Edge Project. Energy transformed: sustainable energy solutions for climate change mitigation; 2007. p. 6.

DARROUGH, MASAKO N.; RUSSELL, THOMAS “A Positive Model of Earnings FORECAST: Top-Down versus Bottom-Up” *The Journal of Business*, 75 (1), 2002, pp.127-152.

DeLURGIO, S. A. *Forecasting principles and applications*. 1st Edition. Singapore: McGraw-Hill. 802p., 1998

EPRI – Electric Power Research Institute. *Assessment of Achievable Potential from Energy Efficiency and Demand Response Programs in the U.S. (2010–2030) – Technical Report*. Palo Alto, CA (Estados Unidos): EPRI, 2009.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética (Brasil). *Balanço Energético Nacional 2009: Ano base 2008 / Empresa de Pesquisa Energética*. Rio de Janeiro, RJ : EPE, 2009.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética (Brasil). *Balanço Energético Nacional 2012: Ano base 2011 / Empresa de Pesquisa Energética*. Rio de Janeiro, RJ : EPE, 2012.

GORDON, TERESA P., MORRIS JOHN S. E DANGERFIELD, BYRON J. “Top-Down or Bottom-Up: Which is the Best Approach to Forecasting?” *The Journal of Business Forecasting Methods & Systems*, 16 (3), 1997, pp.13-16.

HALLET, M. AND G. UNTIEDT (2001), *The potential and limitations of macroeconomic modelling for the evaluation of EU Structural Funds illustrated by the HERMIN model for East Germany*; *Informationen zur Raumentwicklung* No. 4/2001

JAIN, CHAMAM L. “HOW TO DETERMINE THE APPROACH TO FORECASTING” *The Journal of Business Forecasting Methods & Systems*, 14 (2), Summer 1995, página 2.

JANSSEN, A., VAN DEN BERGH, J. C. J. M., VAN BEUKERING, P. J. H. & HOEKSTRA, R. (2001, Novembro). *Changing industrial metabolism: Methods for analysis*. *Population and Environment* 23(2). Human Sciences Press, Inc.

JANNUZZI, Gilberto de martino; SWISHER, Joel N P. *Planejamento integrado de recursos energéticos: meio ambiente, conservação de energia e Fontes Renováveis*, 1997

KAHN, KENNETH B. “Revisiting Top-Down versus Bottom-Up Forecasting” *The Journal of Business Forecasting Methods & Systems*, 17 (2), Summer 1998, pp.14-19.

LAPIDE, LARRY “New Developments in Business Forecasting” *The Journal of Business Forecasting Methods & Systems*, 17 (2), Summer 1998, pp.28-29.

Larry L. B., Bernard B. H., Bruce A. H. “*Energy Analysis of 108 Industrial Processes*” *The Fairmont Press, Inc.*, 1996.

LIN, X. & POLENSKE, K. R. (1995). Input-output anatomy of china's energy use changes in the 1980s. *Economic Systems Research* 7, 67–83.

MARQUES, M., HADDAD, J. e MARTINS, A. Conservação de Energia: Eficiência energética de equipamentos e instalações. Itajubá: FUPAI, 2006.

MEEESP, 2011 Matriz Energética do Estado de São Paulo 2035 – Sumário Executivo, março de 2011.

MEETAMEHRA, A. (2002). Demand forecasting for electricity. Relatório Técnico, The Energy and Resources Institute. Mimeo.

MME/FDTE. Balanço de Energia Útil 2005. Brasília: MME, 2005.

OUR COMMON FUTURE. Report of the World Commission on Environment and Development. The Concept of Sustainable Development. Disponível em <http://www.un-documents.net/ocf-02.htm#I> acesso em 10 de setembro de 2012..

ROCHA, C. R., CCPI, Alimentos Caracterização do Setor, Novembro de 2012.

ROCHA, C. R., Oportunidades de eficiência energética para a indústria: relatório setorial: alimentos e bebidas. Brasília: CNI, 2010. 58 p. ISBN 978-85-7957-007-0.

PACHECO, J. W., YAMANAKA, H. T., Guia técnico ambiental de abates (bovino e suíno) São Paulo : CETESB, 2006, 98p. - (Série P + L)

PNEF, 2011 Plano Nacional de Eficiência Energética – Premissas e Diretrizes Básicas, outubro 2011.

RORMOSE, P. & OLSEN, T. (2005, Junho). Structural decomposition analysis of air emissions in denmark 1980-2002. 15th International Conference on Input-Output Techniques. Beijing, China.

ROSE, A. & C. Y. CHEN (1991, Abril). Sources of change in energy use in the u.s. economy, 1972-1982 : A structural decomposition analysis. *Resources and Energy* 13(1), 1–21.

SCHAEFFER, R.; Szklo, A.; Machado, G. Matriz energética brasileira - 2003-2023. Relatório técnico, PPE/COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, 2004.

TOLMASQUIM, M. T.; GUERREIRO, A.; GORINI, R. Matriz energética brasileira: uma prospectiva, 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br>, acessado em 29/07/13

TOLMASQUIM, Mauricio T. A Matriz Energética Brasileira na Virada do Milênio, 2000.

TRIGOSO, Federico Bernardino Morante. Demanda De Energia Elétrica E Desenvolvimento Socioeconômico: o caso das comunidades rurais eletrificadas com sistemas fotovoltaicos.

Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo (Tese de Doutorado), São Paulo 2004.

WACHSMANN, Ulrike. Mudanças no consumo de energia e nas emissões associadas de CO₂ no Brasil entre 1970 e 1996: Uma análise de decomposição estrutural. 2005. Dissertação (Doutorado em Planejamento Energético). Universidade Federal do Rio. Rio de Janeiro, 2005.

WALKER, K. B.; McCLELLAND, L. A. Management Forecasts and Statistical Prediction Model Forecasts in Corporate Budgeting. *Journal of Accounting Research*. v. 29, n. 2, p. 371-381, 1991.

YOSHIYUKI, S., TAKURO, F., TAKAO, M. & MINORU, M. (2003, Agosto). Development of residential energy end-use simulation model at city scale. Em Eighth International IBPSA Conference, Eindhoven, Netherlands.