

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ  
INSTITUTO DE ENGENHARIA MECÂNICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Metodologia para Projeto Inverso de  
Aerofólios em Grades de Turbomáquinas Via  
Otimização por Busca Aleatória Controlada**

**Autor: Carlos Alberto Amaral Moino  
Orientador: Prof. Dr. Nelson Manzanares Filho  
Co-Orientador: Prof. Dr. Waldir de Oliveira**

Itajubá, julho de 2006

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ  
INSTITUTO DE ENGENHARIA MECÂNICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Metodologia para Projeto Inverso de  
Aerofólios em Grades de Turbomáquinas  
Via Otimização por Busca Aleatória Controlada**

**Autor: Carlos Alberto Amaral Moino**

**Orientador: Prof. Dr. Nelson Manzanares Filho**

**Co-Orientador: Prof. Dr. Waldir de Oliveira**

**Curso: Mestrado em Engenharia Mecânica**

**Área de Concentração: Dinâmica de Fluidos e Máquinas de Fluxo**

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

Itajubá, julho de 2006  
MG. – Brasil

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ  
INSTITUTO DE ENGENHARIA MECÂNICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Metodologia para Projeto Inverso de  
Aerofólios em Grades de Turbomáquinas  
Via Otimização por Busca Aleatória Controlada**

**Autor: Carlos Alberto Amaral Moino**

**Orientador: Prof. Dr. Nelson Manzanares Filho**

**Co-Orientador: Prof. Dr. Waldir de Oliveira**

Composição da Banca Examinadora:

**Prof. Dr. Ramiro Gustavo Ramirez Camacho - ITA**

**Prof. Dr. Denis Rinaldi Petrucci - IEM/UNIFEI**

**Prof. Dr. Genésio José Menon - IEM/UNIFEI**

**Prof. Dr. Waldir de Oliveira - IEM/UNIFEI**

**Prof. Dr. Nelson Manzanares Filho, Presidente - IEM/UNIFEI**

## **Dedicatória**

Dedico este trabalho a minha querida e bela esposa Cibele e a minha adorável filha Carolina, que são incansáveis apoiadoras e pacientes nos momentos difíceis de minhas jornadas.

Aos meus pais José e Jadyr, que me mostraram a importância do estudo e não mediram esforços para que eu pudesse me tornar engenheiro.

## Agradecimentos

Ao meu orientador, **Prof. Dr. Nelson Manzanares Filho**, pela competência em transmitir seu notório saber. Mais que um orientador, um amigo mostrando sempre a luz do conhecimento com ética e profissionalismo.

Ao grande amigo Prof. Manoel da Silva Valente, que nos encaminhou no início desta jornada e sempre esteve me apoiando.

Aos grandes amigos Marques e Aldo Ramos, pelo exemplo.

Aos caros companheiros Amaral, Santoro, João José, Chinen, Júlio, Renato, Galli, Canton, Tibério, Rosário e demais companheiros de turma.

Ao Prof. Waldir de Oliveira e aos professores Ariosto Bretanha Jorge, Celso Volpe, Eli Silva, Genésio José Menon, José Juliano de Lima Júnior, Marcelo José Pirani, Osvaldo José Venturini, Ricardo Dias Martins de Carvalho, Rogério José da Silva e Sebastião Varela, que refletiram a UNIFEI, mostrando seu brilho pelo trabalho sério e competente.

Ao Instituto de Engenharia Mecânica da UNIFEI por seus dedicados Professores e Funcionários, pela oportunidade de crescimento profissional que me concedeu.

Nas pessoas dos diretores Antonio de Salles Penteado e Áureo Emanuel Pasqualetto Figueiredo, agradeço a todos da “Família Ceciliana” pelo grande incentivo.

Ao amigo e grande “chefe” Fernando Luiz Windlin, pelo grande apoio na carreira de engenheiro. Suas ações éticas e competentes me nortearam em 18 anos de vida acadêmica e profissional.

*De tudo ficam três coisas:  
a certeza de que está sempre começando,  
a certeza de que era preciso continuar e  
a certeza de que seria interrompido antes de terminar.  
Fazer da interrupção um caminho novo.  
Fazer da queda um passo de dança,  
do medo uma escada e da procura... um encontro.”*

**Fernando Sabino**

## Resumo

**MOINO, C. A. Amaral (2006)**, *Metodologia para o Projeto Inverso de Aerofólios em Grades de Turbomáquinas via Otimização por Busca Aleatória Controlada*, Itajubá, 78p. Dissertação (Mestrado em Dinâmica de Fluidos e Máquinas de Fluxo) - Instituto de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Itajubá.

Nesta dissertação, é apresentado o desenvolvimento de uma metodologia de projeto inverso de aerofólios de grades lineares de turbomáquinas axiais, utilizando algoritmos de otimização baseados em busca aleatória controlada (algoritmos CRS).

A geometria do aerofólio é parametrizada com curvas polinomiais de Bezier. O cálculo do escoamento é feito através de um método de painéis baseado em distribuições constantes de vórtices e na condição de contorno de Dirichlet (velocidade nula no interior do aerofólio).

Uma nova versão dos algoritmos CRS é apresentada, utilizando reflexões baseadas na variabilidade da função objetivo (CRS-VBR). Essa versão procura utilizar informações sobre a variação da função objetivo em torno do melhor ponto da população atual, de modo a balancear automaticamente as buscas globais e locais, aumentando a eficiência geral da busca.

Três casos de teste de projeto inverso de aerofólios em grade linear são apresentados para avaliar a eficácia da metodologia. O algoritmo CRS-VBR proposto mostra-se superior a outras versões do CRS da literatura, tanto sob o aspecto de precisão quanto de taxa de convergência.

### *Palavras-chave*

Grades Lineares, Aerofólios, Projeto Inverso, Otimização, Busca Aleatória Controlada

## **Abstract**

**MOINO, C. A. Amaral (2006)**, *Methodology for Inverse Airfoil Design of Turbomachines Cascades Using Optimization by Controlled Random Search*, Itajubá, 78p, MSc Dissertation - Instituto de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Itajubá.

This dissertation presents the development of a methodology for inverse airfoil design of axial turbomachine cascades by applying optimization algorithms based on Controlled Random Search (CRS algorithms).

The airfoil geometry is parameterized with Bezier polynomial curves. The flow calculation is made by means of a panel method with constant vortex distributions and by applying the Dirichlet boundary condition (null velocities inside the airfoil).

A new version of the CRS algorithm is presented by using Variability Based Reflections (CRS-VBR). This version aims to use information about the objective function variation around the best point of the current population, in order to automatically balance local and global searches, improving in this way the general search efficiency.

Three test cases of inverse airfoil cascade design are presented for evaluating the methodology effectiveness. The proposed CRS-VBR algorithm has outperformed other referred CRS algorithms, both in terms of precision and convergence rate.

### ***Keywords***

Linear Cascades, Airfoils, Inverse Design, Optimization, Controlled Random Search