

OTIMIZAÇÃO GLOBAL COM BASE NA CONSTRUÇÃO DE METAMODELOS APLICADA AO PROJETO DE GRADES DE TURBOMÁQUINAS AXIAIS UTILIZANDO DINÂMICA DOS FLUIDOS COMPUTACIONAL - CFD.

Edna R. Da Silva, ednaunifei@yahoo.com.br¹
Ramiro G. Ramirez Camacho, rgramirez65@hotmail.com¹
Nelson Manzaneres Filho, nelson@unifei.edu.br¹

¹IEM-UNIFEI, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, Brasil

Resumo: Apresenta-se uma metodologia para otimização global com restrições de funções custosas utilizando modelos de superfícies de resposta para a aerodinâmica de grades representativas das turbomáquinas axiais com perfis da família NACA65. Para o cálculo de escoamento, é utilizado Fluent, software de CFD, que representa de forma local e global as variações do campo de escoamento. Tem-se verificado que pequenas variações geométricas nos ângulos de montagem, formato do perfil aerodinâmico e o espaçamento entre as pás, podem conduzir a alterações na eficiência da grade. Nesse sentido, pretende-se integrar a solução do escoamento através de CFD com programas de otimização com base na construção de metamodelos, com objetivo de obter ganhos consideráveis em tempo computacional. Para a integração com os programas de otimização é necessária à construção de “script” de comando para geração automática da malha, onde as variáveis de projeto que definem a geometria da grade, como ângulo de montagem, passo da grade e o arqueamento serão modificadas dentro limites pré-estabelecidos com base nos algoritmos de otimização, de forma atingir uma função objetivo pré-definida, como obter a máxima relação de C_l/C_d (sustentação/ arrasto). Esta metodologia de otimização global com base na construção de metamodelos em conjunto com o algoritmo de busca aleatória controlada (CRSA) é baseada na construção iterativa de superfícies de resposta com funções de base radial (multiquadrica) e a aplicação de critérios heurísticos para atualização do banco de dados durante o processo de otimização. Padrões cíclicos de busca são iterativamente usados para determinar os pontos candidatos que serão incluídos no banco de dados.

Palavras-chave: Grades axiais, otimização, CRSA, modelos substitutos, dinâmica dos fluidos computacional

1. INTRODUÇÃO

Problemas conflitantes em engenharia ou em qualquer outra área constituem um campo motivador de trabalho, onde se pode melhorar projetos já existentes ou construir novos projetos com maior eficiência e menor custo. Obter os campos de escoamento bi e tridimensional é um dos desafios para conseguir quantificar as perdas, e melhorar a eficiência das turbomáquinas. Tal análise demanda um alto custo computacional, principalmente quando as variáveis são determinadas através de geração de malhas computacionais e a solução do escoamento através das equações de Navier-Stokes. Sendo assim, a análise de grades axiais representativas das turbomáquinas representa uma ferramenta fundamental no projeto.

As técnicas de CFD (Dinâmica dos Fluidos Computacional) vêm sendo desenvolvidas ao longo das últimas décadas, como uma poderosa ferramenta de análise para o cálculo do campo de escoamento em geometrias arbitrárias, sobretudo na fase final de projeto das turbomáquinas. Estes avanços associados à evolução do hardware em termos de velocidade de processamento e armazenamento de memória contribuem na obtenção de projetos de turbomáquinas de alta eficiência. As técnicas numéricas vêm sendo usadas pela indústria aeronáutica desde a década de 60, iniciou-se pelo método dos painéis com interação com métodos integrais de camada limite de forma a introduzir os efeitos viscosos. Mais recentemente, nas últimas duas décadas, a indústria intensificou o desenvolvimento de métodos ou técnicas que permitem a solução direta das equações completas de Navier (1785-1836) e Stokes (1819-1903).

Outras ferramentas importantes são os softwares de otimização, que apresenta um papel fundamental no que se refere na redução do tempo no desenvolvimento do projeto inicial. Porém a maioria dos atuais métodos de otimização é deficiente para ser aplicado em funções computacionalmente caras. Algoritmos baseados em gradiente não podem ser utilizados em muitos casos, simplesmente porque as derivadas não estão disponíveis e aproximações por diferenças

finitas são demasiadamente caras para avaliar. Apesar de ser disponível utilizar técnicas de diferenciação automática, alguns casos necessitam do código fonte para a função objetivo, e eles não estão disponíveis. Outra limitação são as enormes quantidades consideráveis de variáveis envolvidas no problema, permitindo gerar funções descontínuas ou funções com inúmeros mínimos locais que é de difícil obtenção (multi-modalidade). Os métodos heurísticos como algoritmos evolucionários exigem também um grande número de avaliações da função para obter adequadamente boas soluções para o problema de otimização global. Porém a combinação dos métodos heurísticos de busca com uma estratégia de aceleração do processo de otimização constituem uma alternativa muito vantajosa em relação às técnicas de otimização. Para modelar o problema em estudo, tal estratégia é utilizada.

O processo de aceleração da otimização é construído utilizando CRSA (Ali et al., 1997 e 2004, Manzaneres-Filho et al., 2005) em conjunto com a construção de metamodelos, baseados em função de base radial, multiquádrica (Manzaneres-filho et al., 2009). Esta metodologia foi implementada em linguagem Fortran e denominada CORS (*constrained Optimization response surface*)

2. TÉCNICAS DE OTIMIZAÇÃO GLOBAL COM BASE EM MODELOS SUBSTITUTOS

A técnica de otimização global utilizada neste trabalho consiste em encontrar o mínimo global de uma função contínua do tipo “caixa preta” com restrições, $f: D \rightarrow \mathbb{R}$, onde $D = \{x \in \mathbb{R}^d: x_j^L \leq x_j \leq x_j^U, j = 1, \dots, d\}$; x_j^L e x_j^U são os limites inferiores e superiores para d coordenadas de x , respectivamente. Um ponto x^* é o mínimo global da função se $f(x^*) \leq f(x), \forall x \in D$. Então é importante encontrar um ponto $x' \in D$ tal que $f(x')$ esta próximo de $f(x^*)$ usando um numero relativamente pequeno de avaliações da função. Regis e Shoemaker (2005) desenvolveram uma estratégia iterativa, na qual, a cada iteração, o modelo de superfícies de resposta, ou metamodelo, é atualizado e exatamente um ponto é selecionado para avaliar a função cara. O ponto selecionado é o ponto que minimiza o atual metamodelo, sujeito às restrições laterais e restrições baseadas na distância dos pontos previamente avaliados. Este método foi construído para encontrar pontos onde se tem o menor valor da função objetivo e melhorar o modelo de superfície de resposta, buscando pontos em regiões de D , onde existe pouca informação. Existe um limite na distância do ponto de avaliação dos pontos previamente avaliados, dado por:

$$\Delta = \max_{x' \in D} \min_{1 \leq j \leq n} \|x' - x_j\| \quad (1)$$

O ponto que satisfaz a Eq. (1) é chamado de ponto de MAXMIN. O próximo ponto de avaliação deve ser de distancia de pelo menos $\beta\Delta$ dos pontos previamente avaliados, onde β é um padrão de busca aplicado em ciclos que emprega uma faixa de valores entre 0 e 1.

O algoritmo geral CORS é dado abaixo (Regis e Shoemaker, 2005):

1 Seleção dos pontos iniciais para avaliação da função cara, $S_1 = (x_1, \dots, x_k) \subseteq D$

2 Avaliar a função cara nos pontos iniciais

3 Iteração. Enquanto a condição de termino não for satisfeita,

3.1 Construir e atualizar o metamodelo, com os pontos do banco de dados $D_i = \{(x, f(x)): x \in S_i\}$.

3.2 Selecionar o ponto candidato (problema auxiliar). O ponto candidato para avaliar a função cara deve ser um ponto x que soluciona o seguinte problema de otimização com restrição:

Minimize $f^*(x)$

Sujeito a

$$\|x - x_j\| \geq \beta_i \Delta_i, \quad j=1, \dots, k+i-1$$

$$x \in D \quad (2)$$

onde

$$\Delta = \max_{x' \in D} \min_{1 \leq j \leq k+i-1} \|x' - x_j\| \quad (3)$$

3.3 Avaliação da função cara. Avaliar a função f no ponto candidato x_{k+i} e atualizar com o melhor valor da função encontrado até o momento.

3.4 Atualizar as informações. $S_{i+1} := S_i \cup \{x_{k+i}\}$; $D_{i+1} := D_i \cup \{(x_{k+i}, f(x_{k+i}))\}$

$i = i + 1$.

Fim.

Acima, k é o numero de pontos de avaliação iniciais e i é o contador da iteração. A construção do metamodelo e a ferramenta de otimização empregada não são fundamentais para resolver o problema auxiliar descrito na etapa 3.2 do algoritmo para convergência, mas são importantes para uma convergência rápida.

2.1. Construção dos Metamodelos

Os metamodelos empregados neste trabalho são construídos com a função de base radial multiquádrica, com um parâmetro de forma c igual a 2.5. Assume que se tem n pontos distintos $x_1, \dots, x_n \in \mathcal{R}^d$ onde os valores da função $f(x_i)$ são conhecidos. A função que interpola o ponto x é descrita na seguinte forma.

$$s(\mathbf{x}) = \sum_{i=1}^n \lambda_i \phi(\|\mathbf{x} - \mathbf{x}_i\|), \quad \mathbf{x} \in \mathcal{R}^d \quad (4)$$

onde $r = \|\cdot\|$ é a norma Euclidiana em \mathcal{R}^d e \mathbf{x}_i são as coordenadas do ponto x ; λ_i ($i = 1, \dots, n$) são os coeficientes reais a serem determinados.

A função de base radial multiquádrica é dada por

$$\phi(r) = \sqrt{r^2 + c^2} \quad (5)$$

Onde c é o parâmetro de forma que influencia fortemente a interpolação.

A matriz de coeficientes da Eq. (4) é simétrica e positiva definida para a função multiquádrica dada na Eq. (5). Assim a matriz pode ser invertida e o sistema solucionado.

2.2. Ferramentas de Otimização – CRSA (Controlled Random Search Algorithm)

Algoritmos de busca aleatória controlada são técnicas de otimização estocástica baseadas num conjunto de população capaz de encontrar os mínimos globais de funções reais contínuas eficientemente. Além das restrições laterais usados na definição de S , poderiam ser impostos outros tipos de restrições em princípio por meio de um esquema de penalização da função de objetivo. Como os algoritmos evolutivos genéticos e diferenciais o CRSA é um algoritmo baseado na geração de uma população de pontos iniciais \mathbf{P} de N pontos gerados aleatoriamente sobre S , seguindo um processo de iteração convergindo para um mínimo global por meio de procedimentos puramente heurísticos. O tamanho de população N é mantido ao longo do processo de otimização. Ao contrário de outros algoritmos de otimização globais mencionados, o CRSA substitui um único ponto da população (seu pior ponto, \mathbf{h}) por um ponto melhor \mathbf{l} em cada iteração (i.e., um ponto de teste \mathbf{l} de forma que $f(\mathbf{l}) < f(\mathbf{h})$). Assim sua implementação é mais direta (Ali et al., 1997 e 2004, Manzanares-Filho et al., 2005).

3. ANÁLISE DE ESCOAMENTO EM GRADES LINEARES UTILIZANDO TÉCNICAS CFD

As técnicas de CFD (*Computational Fluid Dynamics*), apresentam como principal função obter a solução numérica das equações de transporte, com base numa geometria pré-definida. No caso em grades de turbomáquinas, é gerada uma malha computacional do tipo estruturada representando um canal periódico, onde será obtido o campo de escoamento para posteriormente serem analisados parâmetros globais como os coeficientes aerodinâmicos de arrasto e sustentação. Para a determinação destas variáveis, serão utilizados programas comerciais de geração de malha ANSYS ICEM e o FLUENT para a análise do escoamento.

Esta metodologia permite a obtenção de resultados das distribuições de pressões, ângulos de deflexão da grade e os coeficientes aerodinâmicos de sustentação e arrastos, os quais foram validados por Ramirez et al (1995) através da comparação com dados experimentais de Emery et al., 1957.

A maximização da relação C_l / C_d é um critério para definir uma grade ótima, entre tanto podem ser também utilizados outros critérios, como o coeficiente de perdas e o coeficiente de pressão mínimo $C_{p-\min}$, onde se considera $-1,6 < C_{p-\min} < -2,0$ o campo das grades ótimas (Speidel, 1953).

Anterior ao processo de otimização algumas etapas devem ser preparadas como, por exemplo, a definição de um domínio computacional e a geração da malha. O estudo compreenderá o domínio bidimensional. A malha é gerada por meio de um “*script*” (linhas de comando, escrito em linguagem Tcl/Tk, interpretados pelo software ICEM-CFD) tomando cuidado no refinamento da malha próxima da parede de forma a quantificar corretamente as tensões de atrito, e conseqüentemente o cálculo correto do arrasto. Neste trabalho optou-se por uma malha hexaédrica de 122688 elementos, como mostra a Fig. (1).

Durante a geração da malha, é necessária bastante atenção, pois podem existir alguns problemas que comprometem o resultado final. Um dos problemas está relacionado à inclinação de células individuais que podem dificultar a conversão da solução o que acarreta em imprecisões na solução numérica. Apesar da geração de uma boa malha ser demorada, ela compensa com conversões rápidas de soluções mais confiáveis.

A condição de contorno na entrada da grade é dada pelas componentes de velocidade do escoamento relativo, e na saída a condição de pressão. O tipo de fluido é definido com base nas propriedades termodinâmicas, massa específica e viscosidade dinâmica. Devem-se especificar, desde o início, os valores iniciais de todas as variáveis do campo de

escoamento. Das hipóteses iniciais, as formas discretizadas das equações de transporte são resolvidas iterativamente e a solução deve convergir.

Após estas etapas, variáveis do campo de escoamento, como velocidade e pressão, são apresentadas e analisadas graficamente. As propriedades globais como: variação de pressão, ângulos de deflexão do escoamento na grade entre a entrada e a saída são quantificados através da integração ponderada pela média de massa. As forças de arrasto e sustentação na superfície do perfil são calculadas através da integração das tensões de atrito e pressões no perfil, isto após a convergência do escoamento.

O modelo de turbulência Spalart-Allmaras (SA), possibilita respostas mais reais. Este modelo é eficiente para modelos com baixos números de Reynolds, foi desenvolvido para aplicação aeroespacial e vêm ganhando espaço no universo das turbomáquinas. Este modelo mostrou importantes resultados para camada-limite sujeita aos gradientes de pressão adversos. No software FLUENT, o modelo Spalart-Allmaras foi implementado para ser usado com funções de parede para soluções quando a malha não é suficientemente refinada.

Para as condições de contorno de parede, a componente normal da velocidade na parede é zero, pois o fluido não pode passar através da parede. Além disso, devido à condição de não-escorregamento, a componente tangencial da velocidade também é igual à zero. Em algumas ocasiões, dependendo do modelo de turbulência, é importante levar em consideração a rugosidade da parede, pois ela influencia no desenvolvimento das camadas-limites turbulentas e camada sub-viscosa.

As condições de contorno periódicas são úteis quando a geometria apresenta repetições (periodicidade), isto é, as variáveis do campo de escoamento ao longo de uma face de uma fronteira estão numericamente vinculadas a uma segunda face de forma idêntica. As condições de contorno periódicas sempre ocorrem aos pares como no escoamento entre pás de turbomáquinas, ou em grade. Essas condições permitem trabalhar com um domínio computacional muito menor, reduzindo esforços computacionais. Para este trabalho foi considerada condições de contorno periódicas translacionais, aplicadas às duas faces paralelas.

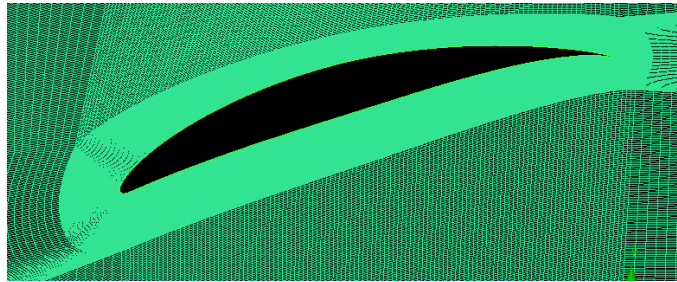


Figura 1. Malha gerada para o Perfil inicial NACA65 (15) 10

3.1. Parametrização da Geometria da Grade.

A grade é formada por perfis idênticos igualmente espaçados e de um passo t , com corda de comprimento l e ângulo de montagem β em relação ao eixo x . Foram consideradas as hipóteses de escoamento bidimensional, permanente, incompressível e potencial. Os parâmetros de escoamento são representados pelos ângulos β_1 e β_2 , na entrada e na saída da grade, pelas velocidades na entrada e na saída W_1 e W_2 e pelo ângulo de deflexão.

A Figura (2) representa a geometria de uma grade linear. São considerados o passo da grade (t) e o arqueamento (ARC) como variáveis de projeto.

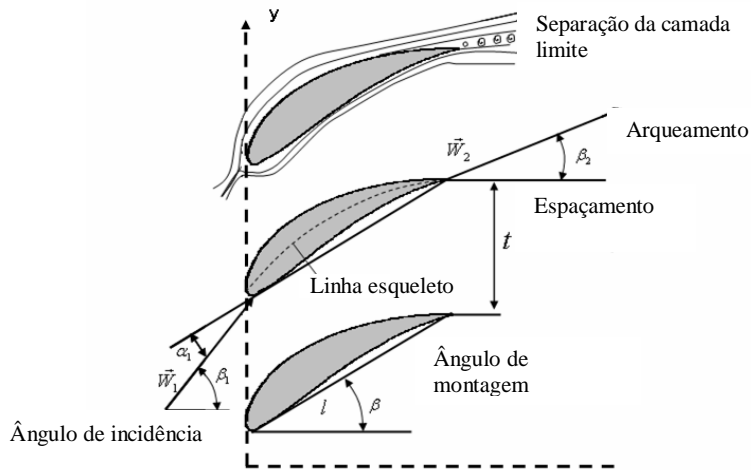


Figura 2. Grade Axial de uma Turbomáquina

Na Tabela (1), são reportados as variáveis, os parâmetros da grade e as propriedades do fluido que foram utilizados e posteriormente otimizados.

Tabela 1 – Dados Geométricos, Condições de Contorno e Propriedades do Fluido.

Parâmetros da Grade	
Espaçamento (t)	0.95 – 1.05
Arqueamento (ARC)	14% - 16%
Ângulo de Montagem (β)	30°
Corda (l)	1,00
Ângulo de Entrada do Escoamento (β_1)	15°
Ângulo de incidência (α_1)	15°
Propriedades do Fluido (ar)	
Massa Específica (ρ)	1,225 kg/m ³
Viscosidade (μ)	1,7894x10 ⁻⁵ kg/ms
Condições de Contorno de Entrada	
Componente de Velocidade em x	37.98 m/s
Componente de Velocidade em y	17.89 m/s

O Número de Reynolds foi considerado como $Re = 2,45 \times 10^5$. O Critério de Convergência para a solução das equações de transporte e turbulência - modelo Spalart-Allmaras é na ordem de $\epsilon = 1 \times 10^{-7}$.

Ramirez (2005) mostra os resultados obtidos através de técnicas de injeção de vazão e transpiração, usando o método dos painéis e o modelo numérico aplicando volumes finitos para aerofólios do perfil da série NACA 65 e foram validados de acordo com os resultados experimentais de Emery et al (1957). Deste estudo foram utilizados os dados que compõem o perfil NACA 65 mostrado na Fig. (3) para ser integrado com algoritmos de otimização.

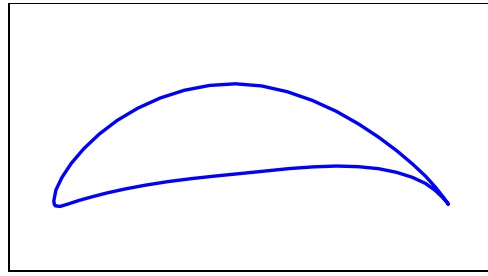


Figura 3. Perfil NACA65 (15) 10.

4. OTIMIZAÇÃO DO PERFIL NACA SERIE 65 – COMPARAÇÃO CRSA Vs. CORS

O CRSA foi adotado como um otimizador direto, uma população inicial de $5(n+1)$ indivíduos foi adotada, onde n é o número de variáveis de projeto (ARC, passo t). O critério de convergência foi de 1 % (diferença absoluta entre os valores da função nos piores e os melhores pontos da população ou um número máximo de avaliações igual a 100).

O CORS foi adotado como uma estratégia que acelera o processo de otimização, a mesma configuração como tamanho da população e critério de convergência foram adotados.

Os softwares Fortran versão 6.5, ICEM e Fluent da ANSYS foram integrados. A partir de comando de linha em DOS no Fortran, um “script” gerado no ICEM é executado e uma malha é gerada, após a geração da malha, um arquivo “journal.jou” criado no Fluent é executado e então o cálculo do escoamento é iniciado, após uma média de 250 iterações tem convergência na solução. A cada nova chamada da função objetivo de maximização da relação C_l / C_d pelo CRSA, uma nova geometria e malha é gerada e resultados do coeficiente de arrasto e do coeficiente de sustentação são obtidos até encontrar a solução ótima. Os resultados obtidos com CRSA são mostrados na Tab. (2). Os resultados obtidos com CORS são mostrados na Tab. (3).

Tabela 2. Resultados obtido do processo de otimização com CRSA

Ponto de Mínimo		Melhor Valor da Função Objetivo	
ARC	1.59359114170074	C_l	0.6675835
t	0.968968977034092	C_d	2.8100103E-02
		C_l/C_d	23.76

Utilizando CRSA, o total de chamadas da função objetivo foi de 27, gastando um tempo computacional de aproximadamente 4 hs. Em comparação com a técnica CORS, o número de chamadas a função objetivo foi de 7, aproximadamente 1h e 30 min, considerando o tempo gasto na otimização do metamodelo. Foi observado um fator de aceleração por volta de 3.9. A técnica de otimização com base em metamodelos reduziu em 75 % o tempo computacional gasto.

Tabela 3. Resultados obtido do processo de otimização com CORS

Ponto de Mínimo		Melhor Valor da Função Objetivo	
ARC	1.59960756301880	C_l	0.6678964
t	0.978267553448677	C_d	2.8132103E-02
		C_l/C_d	23.74

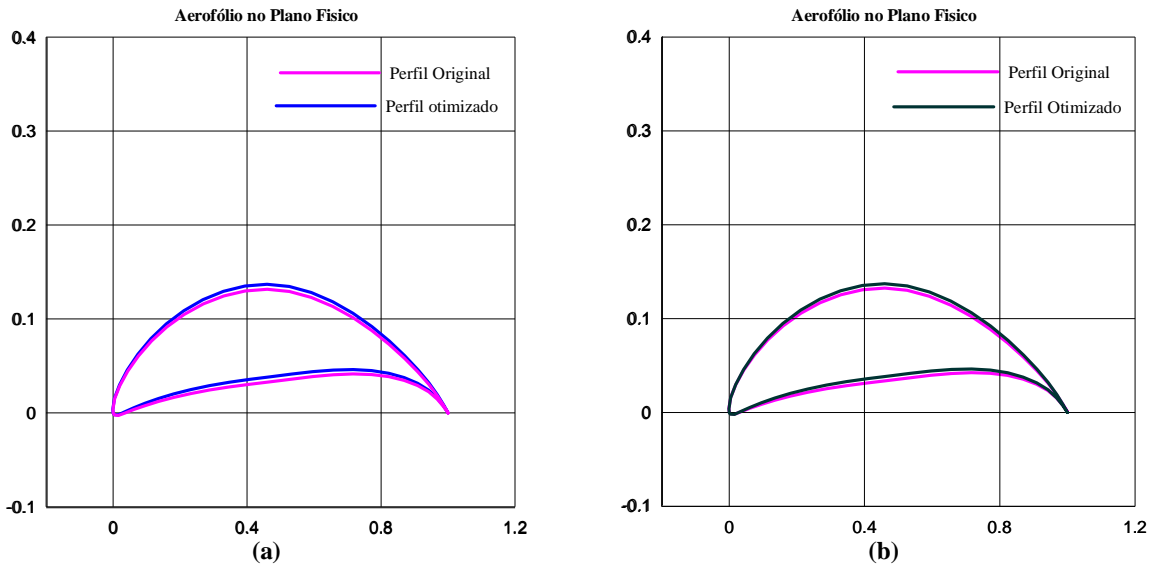


Figura 4. Comparação perfil original e perfil otimizado, (a) Perfil obtido com CRSA, (b) Perfil obtido com CORS

Na Figura (4) nota-se que não existem grandes diferenças no arqueamento nem no espaçamento devido ao fato de ambos serem muito similares e considerando que neste estudo, uma pequena perturbação foi feita nas variáveis de projeto, com o principal objetivo de fornecer uma análise comparativa dos métodos de otimização aplicados. A grade inicial tem um arqueamento de 15% e espaçamento de 1,00 e no caso da grade otimizada tem 15,95% de arqueamento com 0,97 de espaçamento.

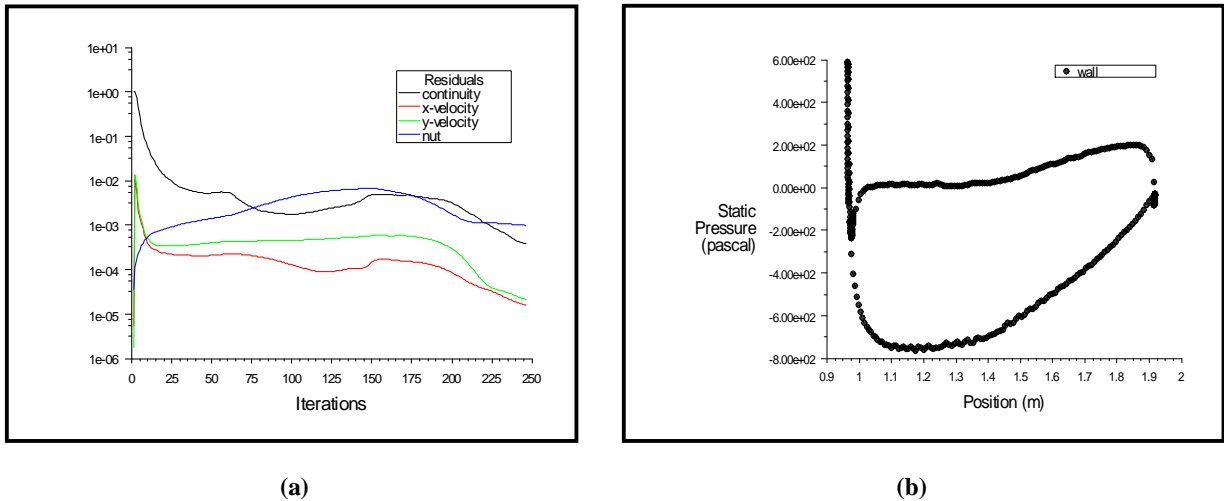


Figura 5. Resultados obtidos nos pontos da otimização, (a) histórico de convergência, (b) Distribuição da pressão.

Na Figura (5a) são mostrados os gráficos de convergência no FLUENT, na Fig. (5b) mostra a distribuição de pressão estática do aerofólio otimizado. Por outro lado, foi analisada esta distribuição, verificando-se que satisfaz o critério do C_{p-min} de -1,92 o qual se encontra entre $-1,6 < C_{p-min} < -2,0$, considerado como um valor ótimo de carregamento aerodinâmico na grade. Na Figura (6), mostra os contornos suaves de pressão estática e os contornos da viscosidade turbulenta.

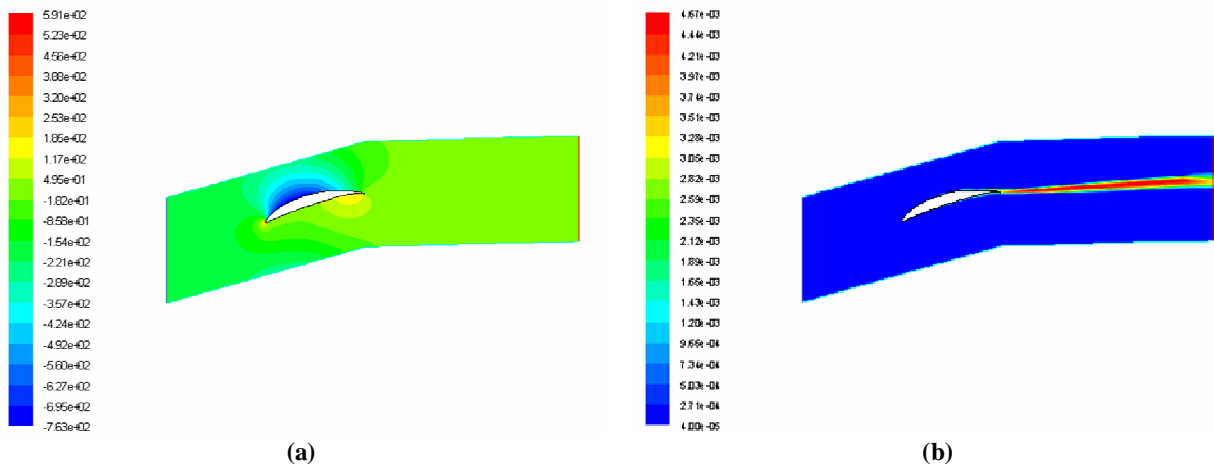


Figura 6. (a) Contornos de pressão estática, (b) Contornos da viscosidade turbulenta modificada (m^2/s).

5. CONCLUSÕES

O código CORS foi integrado com o algoritmo de busca aleatória controlada (CRSA) com objetivo de maximizar a relação sustentação/arrasto, onde foram definidas como variáveis de projeto o espaçamento (t) e o arqueamento (ARC) do perfil. Os metamodelos construídos foram baseados em aproximações de interpolação de funções de base radial.

Os resultados apresentados nas Tabs. (2 e 3) para a maximização da relação C_l / C_d , em função dos parâmetros geométricos da grade ARC e t atingiram bons resultados tanto para a otimização direta, quanto para a otimização que é acelerada por uma metodologia de otimização global com restrições baseada na construção de metamodelos. Na busca pela melhor solução o ângulo de montagem representa na grade o variável mais representativa, porém neste trabalho foi mantido fixo, variando apenas o arqueamento e o espaçamento da pá. Por outro lado esforços futuros serão empregados no sentido de melhorar o resultado obtido do processo de otimização validando com resultados experimentais. Por ora, foi conveniente mostrar que os métodos de otimização empregados são eficientes na busca do ótimo global e que a metodologia CORS é bastante representativa na redução do esforço computacional.

6. AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi desenvolvido com suporte financeiro da Agencia Brasileira CAPES.

7. REFERÊNCIAS

- Ali, M. M., Törn, A. e Viitanen, S., 1997, "A Numerical Comparison of Some Modified Controlled Random Search Algorithms", *Journal of Global Optimization*, Vol. 11, 377-385.
- Ali, M. M. e Törn, A., 2004, "Population set-based global optimization algorithms: some modifications and numerical studies", *Computers & Operations Research*, Vol. 31, 1703-1725.
- Albuquerque, R. B. F., Manzares-Filho, N. e Oliveira, W., 2006, "A Study of Controlled Random Search Algorithms with Application to Conceptual Design Optimization of Axial-Flow Hydraulic Turbines", Publicado em XXVII CILAMCE, Belém-PA-Brazil, paper CIL09-508.
- Emery, J.C. Herring, L.J., Erwin, J. R., Felix, R., 1957, "Systematic Two- Dimensional Cascade Tests of NACA 65-Series Compressor Blades at Low Speeds", NACA TN 1368
- Manzares-Filho, N., Moino, C. A. e Jorge, A. B., 2005, "An Improved Controlled Random Search Algorithm for Inverse Airfoil Cascade Design", 6th World Congress of Structural and Multidisciplinary Optimization (WCSMO-6), paper n. 4451, J. Herskovits, S. Matorche, A. Canelas (Eds.), ISSMO, Rio de Janeiro, Brazil, 2005 (ISBN: 85-285-0070-5).
- Manzares-Filho, N., Silva, E.R., Lima, A.M.G., Ramirez, R.G., 2009, "Blade Cascade Optimum Design Using a Stochastic Search Algorithm and a Metamodeling Approach". Publicado em WCSMO-8- 8th World Congress on Structural and Multidisciplinary Optimization, Lisboa, Portugal, WCSMO8_paper_ID-1256.
- Ramirez, R.G., Manzares-Filho N., 2005, "A Source Wake Model for Cascades of Axial Flow Turbomachines", *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, Vol. XXVII-No 3, 288-299.
- Regis, R.G. e Shoemaker, C.A., 2005, "Constrained global optimization using radial basis functions", *Journal of Global Optimization*, Vol. 31, 153-171.
- Speidel, L., 1953, "Berechnung der Strömungsverluste von Ungestaffelten Ebenen Schaufelgittern". Dissertação, T. H. Braunschweig; Ing. Archiv, Vol. 22.

GLOBAL OPTIMIZATION BASED ON THE CONSTRUCTION METAMODEL APPLIED TO THE DESIGN OF AXIAL TURBOMACHINERY CASCADES USING COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS - CFD

Edna R. Da Silva, ednaunifei@yahoo.com.br¹

Ramiro G. Ramirez Camacho, rgramirez65@hotmail.com¹

Nelson Manzanares Filho, nelson@unifei.edu.br¹

¹IEM-UNIFEI, Federal University of Itajubá, Itajubá, Brasil

Abstract: *It presents a methodology for global optimization with constraints of expensive functions using response surfaces models for aerodynamic cascade representing the turbomachine axial with profiles of family NACA65. For the calculation of flow, is used Fluent CFD software, which is on a local and global variations in the flow field. It has been verified that small geometric on the stagger angle, format airfoil and the spacing between the blades, can lead to changes in the efficiency of the blade. Accordingly, we intend to integrate the solution flow through CFD optimization programs based on the construction of metamodels, aiming to obtain considerable gains in computational time. Integration with the optimization programs is necessary to build "script" command to automatically generate the mesh, where the design variables that define the geometry of the blade cascade as stagger angle, pitch to chord and the camber be modified among pre-established limits based on optimization algorithms, in order to achieve an objective function pre-defined, how to obtain the maximum ratio of C_l / C_d (lift/drag). This methodology for global optimization based on the construction of metamodels together with the random search algorithm controlled (CRSA) is based on iterative construction of response surfaces with radial basis functions (multiquadric) and the application of heuristic criteria to update the database during the optimization process. Cyclical patterns of search are iteratively used to determine the candidate points to be included in the database.*

keywords: *blade cascade, optimization, CRSA, surrogate model, computational fluid dynamic.*