

Otimização no Planejamento da Manutenção de Parques Eólicos Utilizando Algoritmo Genético

A. J. da S. Oliveira, CEMAR, C. B. M. Oliveira, UFMA, O. R. S. Mendez, UFMA, S. L. de Lima, UFMA A. S. Lopes

Resumo — O artigo propõe uma metodologia aplicada à otimização das atividades de manutenção em parques eólicos, justificado pela redução dos custos dessa atividade, que representam a maior parte das despesas anuais. Diante das várias técnicas de otimização computacional, escolheu-se os algoritmos genéticos, devido a seu uso com sucesso em problemas de otimização da área de engenharia. O cenário de simulação consiste em grupo de parques eólicos que passam por um ciclo de manutenções simultâneas ao longo de 365 dias. A equipe de operários é composta por dois membros, os quais possuem experiências de trabalho diferentes em quatro tipos de manutenção (elétrica, mecânica, inspeção visual e lubrificação), de forma que uns podem ser mais ou menos eficientes ao realizarem um tipo de manutenção. Objetivo final da simulação é encontrar a alocação de operários que realize todos os tipos de manutenção em todos os parques no menor tempo possível.

Palavras-chave: Alocação de operários, manutenção, parques eólicos, otimização, algoritmo genético.

I. INTRODUÇÃO

A preocupação com a crescente demanda por energia elétrica, com as mudanças climáticas e os esforços para a redução das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE), a partir da assinatura do Protocolo de Quioto, em 1997, levaram à busca por alternativas que pudessem suprir as necessidades econômicas e, ao mesmo tempo, gerar menos impactos ambientais. Entre as medidas, uma das mais populares foi o investimento crescente de vários países em fontes renováveis de energia, como a energia eólica. Nos últimos 20 anos a captação desse tipo de energia tem passado por um grande desenvolvimento tecnológico e hoje é economicamente viável e competitiva, além de não gerar emissão de gases estufas na atmosfera e de outras substâncias nocivas ao ambiente.

A operacionalização de um parque eólico é relativamente simples e o custo da produção dessa energia a médio e longo prazo é inferior ao de muitos meios convencionais de obtenção de energia [1]. Nesse contexto, os custos com manutenção representam a maior parte das despesas anuais a serem desembolsadas para operação de um parque eólico já instalado [2]. Estão incluídos nesse aspecto, despesas com equipamentos (reposição e prevenção) e com

mão de obra qualificada para executar a rotina de inspeções. Diante disso, conseguir tornar o processo de manutenção mais eficiente, reduzindo deslocamento de equipes de trabalho e diminuindo o tempo de execução de suas atividades, representaria além de um ganho de produtividade, uma diminuição considerável dos custos de operação dos parques eólicos e consequentemente contribuiria para melhorar o custo benefício da energia eólica, tornando-a ainda mais competitiva ante as fontes energéticas convencionais.

Diante das várias técnicas e ferramentas propostas para a otimização de processos, escolheu-se utilizar os algoritmos genéticos (AGs) de forma a obter uma solução adequada ao problema, devido a ser um método que vem sendo aplicado com bastante sucesso em problemas de otimização discreta. A grande aplicabilidade dos AGs é justificada devido à sua simplicidade, paralelismo e generalidade, além de serem facilmente hibridizados com outras técnicas e funcionarem com parâmetros contínuos ou discretos [3]. Em [4], são informadas algumas vantagens e desvantagens desta técnica das quais, pode-se citar: são robustos; não usam apenas informação local, logo, não ficam presos, necessariamente, a ótimos locais como determinados métodos de busca; seu desempenho não é afetado por descontinuidades na função ou em suas derivadas; não usam informações de derivadas na sua evolução nem necessitam de informação dos gradientes da superfície da função objetivo para efetuar a busca.

Em particular, nas diversas modalidades de engenharia, AGs têm sido amplamente aplicados: na alocação de canais para redes de comunicação de telefonia celular [5], no planejamento de sistemas de telecomunicações [6], no projeto de circuitos eletrônicos analógicos e digitais [7], na otimização da operação de sistemas elétricos de potência [8], na mecatrônica para a modelagem de sistemas físicos específicos [9], e entre outras diversas aplicações. AGs também tem sido aplicado em problemas semelhantes aos apresentados neste trabalho. Algumas dessas aplicações são: o escalonamento de equipes de manutenção preventiva para sistemas de motores [10], formação de grupos de trabalho levando em consideração a necessidade da tarefa e a habilidade de cada membro da equipe [11], a programação de

equipes de saúde pública [12] e alocação de equipes e escalonamento de tarefas para a obtenção de cronogramas eficientes.

II. FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

Dentro do contexto do problema proposto, tem-se um grupo de parques eólicos distribuídos em uma determinada região. Considera-se que os parques eólicos possuem a mesma quantidade de aerogeradores. Eles passam por um ciclo de manutenção que consiste em realizar quatro tipos de manutenções ao longo de 365 dias. Considera-se também que cada tipo de manutenção deve ser finalizado em no máximo 2190 horas. Os parques não necessariamente passam pelo mesmo tipo de manutenção ao mesmo tempo, ou seja, enquanto o Parque P1 submete-se a manutenção das partes elétricas, o Parque P2 realiza a manutenção de lubrificação, por exemplo. Entretanto, ao acabar um tipo de manutenção, inicia-se outro de modo que no fim dos 365 dias, deve-se ter finalizado os quatro tipos de manutenções em cada parque.

Há quatro equipes de manutenção e cada uma é composta por dois operários, que possuem habilidades de trabalho diferentes, de forma que uns podem ser mais eficientes ao realizarem manutenção das partes mecânicas, outros, mais eficientes ao realizarem manutenção das partes elétricas, outros, mais eficientes em manutenção de lubrificação e outros ainda, mais eficientes em inspeções visuais. Entretanto, todos os operários são capazes de desempenhar os quatro tipos de manutenção. Os operários são alocados nos parques eólicos. Após o termino de um tipo de manutenção, em um dos parques, pode ocorrer um rodízio entre os operários, deslocando-os entre os parques eólicos e desta maneira ocorre a formação de novas equipes. Caso ocorra de uma manutenção não ter sido finalizada em algum parque quando ocorrer o rodízio, a nova equipe que foi alocada para o parque, que encontram-se na condição de manutenção não finalizada, deve finalizá-la e sempre que um tipo de manutenção for finalizado em um dos parques pode ocorrer novamente o rodízio. Desta forma a manutenção nos parques eólicos é realizada até que se tenha finalizado todos os tipos de manutenção em todos os parques.

De acordo com a Figura 1, em um determinado momento, cada parque está passando por um tipo específico de manutenção simbolizado pelas letras M, I, L e E (M – Manutenção das partes mecânicas, I – Inspeções visuais, L – Manutenção de lubrificação e E – Manutenção das partes elétricas). A seta indica qual o tipo de manutenção que está sendo realizada no momento. Considerando o sentido de giro anti-horário, a rotação da circunferência em torno do centro dela mostra o quanto a manutenção que está sendo realizada já avançou, tomando como referência a seta. Os elementos $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_8$, representam os operários alocados nos parques eólicos e que realizam a manutenção especificada. Os parques estão separados por distâncias D_{AB} indicadas.

De forma a expressar a habilidade dos operários em realizar um tipo específico de manutenção foram atribuídas velocidades a cada um deles, conforme a Tabela I.

Convencionou-se que as velocidades são distribuídas com valores variando entre 0 a 2. Caso um operário tenha velocidade igual a 1 para um determinado tipo de manutenção ele a realizará em tempo normal, ou seja, ele não será capaz de reduzir o tempo de manutenção para menos de 2190 horas. Conforme a velocidade aumenta, o operário é capaz de realizar a manutenção em menos tempo. Para simplificar a relação entre velocidade dos operários e o tempo com que se realiza a manutenção e calcular as horas de trabalho de todos os operários, adotou-se uma equação que expressa o tempo necessário para uma equipe completar um tipo de manutenção em um parque eólico. Esta equação é inversamente proporcional à média das velocidades dos operários, já que quanto maior a velocidade de um operário, menor é o tempo para realizar um tipo de manutenção.

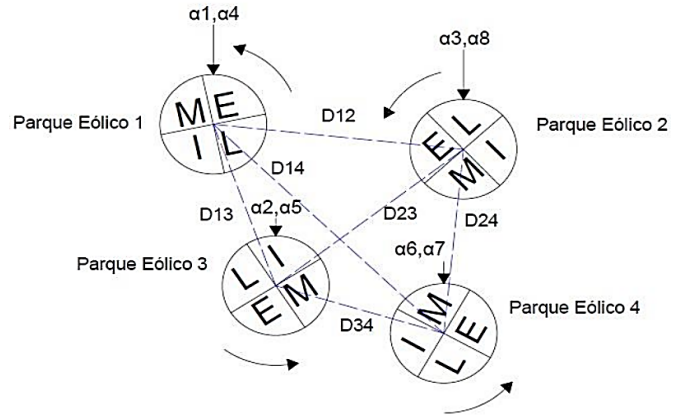


Figura 1. Diagrama esquemático do problema de otimização de manutenção de parques eólicos.

TABELA I. VELOCIDADE DE CADA OPERÁRIO PARA EXECUTAR UM TIPO DE MANUTENÇÃO.

Manut.	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7	V_8
Elétrica	1,0	1,4	1,1	1,3	1,1	1,2	1,5	1,2
Mecânica	1,4	1,0	1,4	1,0	1,3	1,2	1,0	1,1
Visual	1,2	1,1	1,2	1,1	1,5	1,1	1,0	1,3
Lubrificação	1,1	1,0	1,3	1,2	1,0	1,3	1,2	1,3

$$s_m = s_{om} + v_t \cdot t_t \quad (1)$$

$$v_t = \frac{V_{t1} + V_{t2} + \dots + V_{tn}}{n} \quad (2)$$

$$1h_m/h_t \leq V_t \leq 2h_m/h_t \quad (3)$$

Nas quais:

s_m , espaço de tempo para se realizar uma manutenção;
 s_{om} , espaço de tempo inicial de partida da manutenção;
 V_t , velocidade de trabalho dos operários;
 n , número de operários;

v_t , média das velocidades de trabalho dos operários;
 t_t , tempo real de trabalho dos operários para realizar a manutenção;
 h_m , quantidade de horas do espaço de tempo de manutenção;
 h_t , quantidade de horas trabalhadas pela equipe de operários;

III. AG APLICADO AO PROBLEMA

A seguir será descrita a implementação do Algoritmo Genético (AG), bem como a escolha dos operadores genéticos e demais parâmetros necessários.

A. Fluxograma de Resolução do Problema

As etapas do AG implementado são ilustradas pelo fluxograma da Figura 2.

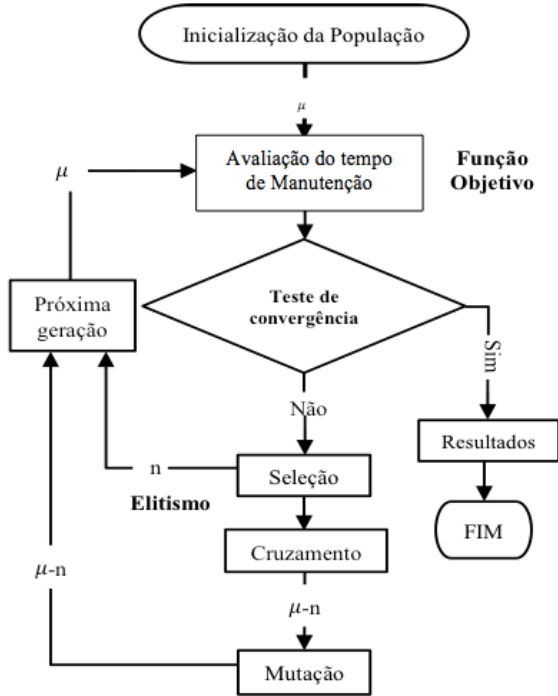


Figura.2. Fluxograma da técnica de solução proposta.

B. Variável Solução e Codificação

No problema em questão a variável operários é utilizada como variável solução, pois o objetivo do algoritmo é encontrar a alocação de operários que torne o ciclo de manutenção mais rápido e eficiente. A codificação do AG foi realizada com números reais, por se adequar ao problema, tendo sido utilizada com sucesso em outros trabalhos como [6] e [14].

C. Inicialização da População

O tamanho da população foi escolhido dentro da ordem de grandeza do número de variáveis do problema. A estrutura de cada indivíduo é representada como a seguir:

$$Ind_{kl}^j = \left(\begin{bmatrix} X_{k1}^1, X_{k2}^1, \dots, X_{kn}^1, X_{k1}^2, X_{k2}^2, \dots, X_{kn}^2, \\ X_{k1}^m, X_{k2}^m, \dots, X_{kn}^m \end{bmatrix} \right) \quad (4)$$

$k = 1, 2, \dots, \mu$

Em que:

k é o índice que indica a numeração do indivíduo na população;

μ é o tamanho da população;

j , índice que indica a alocação de operários a qual o gene pertence;

n é o número de genes de uma alocação;

m , número total de genes;

X_k representa a variável solução;

O conjunto de indivíduos pode ser representado matricialmente da seguinte forma:

$$\begin{pmatrix} Ind_1 \\ Ind_2 \\ \vdots \\ Ind_\mu \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_{11}^1 & \dots & X_{1n}^1 & X_{11}^2 & \dots & X_{1n}^2 & \dots & X_{11}^m & \dots & X_{1n}^m \\ X_{21}^1 & \dots & X_{2n}^1 & X_{21}^2 & \dots & X_{2n}^2 & \dots & X_{21}^m & \dots & X_{2n}^m \\ \vdots & & \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ X_{\mu 1}^1 & \dots & \dots & X_{\mu 1}^2 & \dots & X_{\mu n}^2 & \dots & X_{\mu 1}^m & \dots & X_{\mu n}^m \end{pmatrix} \quad (5)$$

A variável solução é inicializada como a seguir:

$$X_k^{min} \leq rand(X_{kn}) \leq X_k^{max} \quad (6)$$

na qual $rand()$ retorna um valor aleatório.

D. Função Objetivo

A função objetivo em questão é proveniente da formulação do problema, que foi explicada anteriormente. Ela expressa a aptidão de cada indivíduo da população de forma a mensurar aqueles que produzem um melhor resultado final de acordo com as características do problema. As Equações (10) expressam a função objetivo:

$$s_{mji} = s_{omji} + v_{tji} \cdot t_{tji} \quad (7)$$

$$v_t = \frac{V_{t1} + V_{t2} + \dots + V_{tn}}{n} \quad (8)$$

$$1h_m/h_t \leq V_t \leq 2h_m/h_t \quad (9)$$

$$f_k = t_{tji} = \frac{s_{mji} - s_{omji}}{v_{tji}} \quad (10)$$

na qual,

i , número de alocações de operários para realizar uma determinada manutenção;

j , número do parque eólico em análise;

t_m , espaço de tempo para se realizar uma manutenção;
 t_{om} , espaço de tempo inicial de partida da manutenção;
 V_t , velocidade de trabalho dos operários;
 n , número de operários;
 v_t , média das velocidades de trabalho dos operários;
 t_t , tempo real de trabalho dos operários para realizar a manutenção;
 f_k , função objetivo, que também é a função aptidão.

E. Operadores Genéticos

Seleção

O operador seleção é o principal responsável pelas características de convergência do AG, pois determina a pressão evolutiva e a forma como os melhores indivíduos serão favorecidos [15]. A seleção foi feita pelo método do torneio, em grupos de dois indivíduos. Cada indivíduo (“competidor”) dentro do grupo foi avaliado pela sua aptidão f_k e classificado como um “pai”. A quantidade de indivíduos “pais” é igual a $\mu/2$ e seus “genes” darão origem a novos indivíduos.

Elitismo

Os indivíduos classificados como mais aptos na operação de seleção, foram escolhidos para serem copiados na próxima geração. Isso garante que os melhores indivíduos permaneçam atuantes. O número de indivíduos obtidos pelo elitismo é igual um.

TABELA II. CARACTERÍSTICAS DO PROCESSO DE MANUTENÇÕES NOS PARQUES EÓLICOS.

Parques Eólicos	Tipo de Manut.	Operár.	Operários por Equipe	Tempo de Manuten.
4	4	8	2	2190 h

Cruzamento

Na operação de cruzamento, dois a dois os indivíduos da população de pais são escolhidos de forma aleatória para gerar um novo indivíduo. Dessa forma, 96% dos indivíduos da nova geração são obtidos.

Como se sabe o conjunto de indivíduos são representados por uma matriz e cada indivíduo é representado por uma linha da matriz. Além disso, cada indivíduo é composto por um conjunto de alocações de operários, que são trechos de uma linha da matriz. Assim, a reprodução ocorre de maneira semelhante à codificação binária de indivíduos. Aleatoriamente são escolhidos alguns pares de linhas para a reprodução e em cada linha é selecionado aleatoriamente um trecho de sua estrutura que agrupa uma alocação de operários. Dessa forma, cada linha tem permutado um trecho de sua estrutura com um outro trecho de uma outra linha. Resumidamente, uma alocação de operários que compõe um indivíduo é permutado com uma outra alocação de operários de outro indivíduo.

Mutação

A mutação ocorre alterando aleatoriamente a ordem de uma das alocações de operários que compõe um indivíduo da população, que também é escolhido aleatoriamente. Isso corresponde a permutar entre si, a ordem dos valores de um trecho de uma linha da matriz de indivíduos.

Escolheu-se realizar a mutação apenas dos melhores indivíduos. Isso foi feito com base na observação do comportamento do AG e mostrou ser uma boa escolha diante dos resultados. Assim, 3% dos indivíduos da nova população foram gerados por esse operador.

Critério de Parada

Utilizou-se dois tipos diferentes e simultâneos de critérios de parada. O primeiro utiliza o número de gerações; quando ele é atingido o processo é finalizado. E o segundo é baseado na estagnação do AG. Repetindo-se por certa quantidade de vezes (15% do número de gerações) a situação de gerações consecutivas muito semelhantes, à execução é interrompida.

IV. SIMULAÇÕES E RESULTADOS

A. Sistema Teste

O sistema teste consiste em um grupo de quatro parques eólicos, que passarão por atividades de manutenção de quatro tipos (elétrica, mecânica, inspeção visual e lubrificação) de forma simultânea e paralela em um intervalo de um ano. Cada tipo de manutenção deverá ser realizado em no máximo 2190 horas por uma equipe de dois operários. A Figura 1 ilustra o problema e a Tabela II resume as variáveis envolvidas. Aos operários, associam-se velocidades, que expressam o grau de eficiência com que desenvolvem certo tipo de manutenção. As velocidades atribuídas a cada operário são as mesmas expressas na Tabela I vista na formulação do problema.

O objetivo da simulação é promover a alocação de operários, de forma a realize o ciclo de manutenção descrito na formulação do problema, em um intervalo de um ano, no menor tempo possível e obedecer a restrição que obriga uma equipe a não se deslocar para outro parque eólico após ter terminado a manutenção neste, se uma outra equipe estiver prestes a terminar sua manutenção atual, desde que esta não demore mais que 7 dias para finalizar sua manutenção.

A Tabela III mostra o estado de conclusão do ciclo de manutenção, que o algoritmo deve assumir como estado inicial. Nela, por exemplo, é mostrado que o parque eólico 1 inicia a simulação com a atividade de manutenção mecânica não iniciada (0% concluída) e o parque eólico 2 com 50% da atividade de inspeção visual concluída.

TABELA III. ESTADO INICIAL DE CONCLUSÃO DAS MANUTENÇÕES NOS PARQUES EÓLICOS.

Manutenção	PE 1	PE 2	PE 3	PE 4
Elétrica	-	30,00%	-	-
Mecânica	0,00%	-	-	-
Visual	-	-	50,00%	-
Lubrificação	-	-	-	0,00%

Os parâmetros utilizados para configuração do AG são apresentados na Tabela IV.

TABELA IV. PARÂMETROS DO AG PARA A SIMULAÇÃO.

Parâmetros	
Iterações	1600
População	140
Número de Testes	50
Estagnação	300

B. Análise dos Resultados

O principal resultado da simulação do problema a partir do algoritmo genético é a Tabela V que mostra o planejamento de todo o ciclo de manutenções anual para os quatro parques eólicos, de forma que a mão-de-obra seja utilizada de forma eficiente, consumindo a menor quantidade de tempo possível para a realização dos quatro tipos de manutenção.

TABELA V. ALOCAÇÃO DE OPERÁRIOS POR PARQUE EÓLICO E POR TIPO DE MANUTENÇÃO.

	P. Eólico 1		P. Eólico 2		P. Eólico 3		P. Eólico 4	
Manut.	Mec.	Mec.	Elet.	Elet.	Lub.	Lub.	Vis.	Vis.
Operár.	1	3	8	5	4	6	2	7
Manut.	Mec.	Mec.	Elet.	Elet.	Lub.	Lub.	Lub.	Lub.
Operár.	1	3	8	5	4	6	2	7
Manut.	Mec.	Mec.	Mec.	Mec.	Lub.	Lub.	Lub.	Lub.
Operár.	3	1	2	5	6	4	8	7
Manut.	Vis.	Vis.	Mec.	Mec.	Lub.	Lub.	Lub.	Lub.
Operár.	5	8	1	3	2	7	4	6
Manut.	Vis.	Vis.	Mec.	Mec.	Elet.	Elet.	Lub.	Lub.
Operár.	5	8	1	3	2	7	4	6
Manut.	Vis.	Vis.	Vis.	Vis.	Elet.	Elet.	Elet.	Elet.
Operár.	5	3	1	4	8	7	2	6
Manut.	Lub.	Lub.	Vis.	Vis.	Elet.	Elet.	Elet.	Elet.
Operár.	3	6	4	8	7	2	1	5
Manut.	Lub.	Lub.	Vis.	Vis.	Mec.	Mec.	Elet.	Elet.
Operár.	4	8	5	6	1	3	7	2
Manut.	Lub.	Lub.	Lub.	Lub.	Mec.	Mec.	Mec.	Mec.
Operár.	8	6	7	2	5	3	1	4
Manut.	Elet.	Elet.	lubr	lubr	Vis.	Vis.	Mec.	Mec.
Operár.	7	2	3	4	5	8	1	6

A Tabela VI mostra a quantidade de horas que cada operário trabalhou no ciclo de manutenção anual, bem como a quantidade de horas que cada operário trabalhou por tipo de manutenção, o que é importante para mensurar o quão significativo é o trabalho de cada operário para cada tipo de manutenção e até mesmo para remunerar de forma diferenciada cada operário pelas horas trabalhadas no ciclo de manutenção.

TABELA VI. QUANTIDADE DE HORAS TRABALHADAS POR FUNCIONÁRIO POR TIPO DE MANUTENÇÃO.

Manut.	Elétrica (h)	Mecân. (h)	Visual (h)	Lubríf. (h)	Total (h)
Op. 1	430,0	11.915,0	227,0	0,0	12.572,0
Op. 2	8.038,0	266,0	2.19,0	2.745,0	11.049,0
Op. 3	0,0	12.361,0	2.19,0	1.779,0	14.140,0
Op. 4	0,0	258,0	652,0	11.602,0	12.512,0
Op. 5	4.477,0	2.456,0	8.167,0	0,0	15.100,0
Op. 6	256,0	1.486,0	2.19,0	10.533,0	12.275,0
Op. 7	9.731,0	0,0	2.19,0	3.354,0	13.085,0
Op. 8	5.996,0	0,0	4.213,0	4.712,0	14.921,0
Total	28.928,0	28.742,0	13.259,0	34.725,0	105.654,0

A Tabela VII mostra o tempo de execução do ciclo de manutenção de ano para o melhor resultado do AG em comparação com o tempo máximo estipulado para realização desse ciclo. A partir desse resultado é possível verificar o quão significativo foi o ganho de tempo que a metodologia empregada promoveu ao planejamento da manutenção do problema em questão. O tempo de sobra chegou a cerca de 97 dias, o que chega a um pouco mais de 3 meses.

TABELA VII. TEMPO DO CICLO DE MANUTENÇÃO PARA O MELHOR RESULTADO DO AG PROPOSTO.

Método	Tempo de Execução da Manutenção (h)
Tempo Máximo de Manutenção	8760,00
AG	6.437,80

Na Tabela VIII são apresentados os resultados de desempenho do algoritmo genéticos. São reportados os tempos médio, máximo e mínimo entre os resultados das 50 execuções do algoritmo, além do desvio padrão e coeficiente de dispersão. Conclui-se a partir destes resultados, que o algoritmo apresentou soluções estatisticamente coerentes, com resultados finais bem próximos entre si.

TABELA VIII. RESULTADOS ESTATÍSTICOS DO AG.

Parâmetros	Tempo (h)
Máximo	6.588,10
Médio	6.526,60
Mínimo	6.437,80
Desvio Padrão	45.1812
Coeficiente de Dispersão	0.6923%

É mostrada por meio da Figuras 3, a convergência do AG para 1600 iterações, e novamente comprovasse a estabilidade dos valores e a robustez do algoritmo.

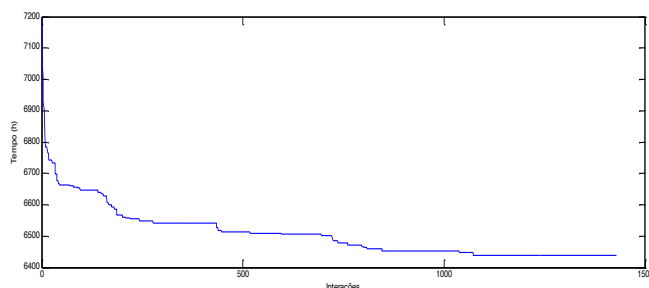


Figura 3. Convergência do AG para 1600 iterações.

V. CONCLUSÕES

Este trabalho apresenta uma alternativa para alocar operários em parques eólicos de forma a reduzir o tempo e consequentemente os custos para realizar os tipos de manutenções necessárias ao seu bom funcionamento. Diante dos resultados, percebe-se que a técnica algoritmo genético é uma metodologia eficiente e robusta para se obter a melhor alocação de operários para o problema em questão, conseguindo assim reduzir o tempo total gasto com as manutenções em todos os parques eólicos. A influência do gasto com deslocamento dos operários no momento em que ocorre a permutação destes, não foi considerada durante processo de solução do problema.

Visando melhorar a qualidade do programa, os principais pontos a serem estudados, pesquisados ou incluídos para futuras versões do programa são: o efeito do deslocamento no cálculo dos indivíduos; técnicas de programação para diminuir o tempo de processamento do programa; pesquisas envolvendo a relação entre a eficiência dos operários e a dinâmica do ciclo de manutenções, visando encontrar melhores maneiras de modelar o problema de alocação; estudos com relação ao tempo necessário para realizar cada tipo de manutenção, de forma a tonar a dinâmica do ciclo de manutenções mais próxima da realidade.

VI REFERÊNCIAS

- [1] BEG - BRASIL ECONOMIA E GOVERNO (2012). Por que hidrelétricas (com reservatório) são a melhor opção para o Brasil? [Internet]. Disponível em: <http://www.brasil-economia-governo.org.br/2012/07/10/por-que-hidreletricas-comreservatorio-sao-a-melhor-opcao-para-o-brasil/>. Site associado ao Instituto Fernand Braudel de Economia Mundial. [Acessado em 02 de Outubro de 2015].
- [2] DUTRA, R. M.; TOLMASQUIM M. T. (2002) Estudo de Viabilidade Econômica de Projetos Eólicos com Base no Novo Contexto do Setor Elétrico. [Internet]. Disponível em: www.sbpe.org.br/socios/download.php?id=164. Revista Brasileira de Energia, vol. 9, n. 1. [Acessado em 03 de Outubro de 2015].
- [3] LEITE, P. T. & CARNEIRO, A. A. F. M. & CARVALHO, A. C. P. F. L. (2006). Aplicação de algoritmos genéticos na determinação da operação ótima de sistemas hidrotérmicos de potência. Sba Controle & Automação vol.17 no.1 Campinas.
- [4] ZINE, E. O. C., (2009). Algoritmo Genético Especializado na Resolução de Problemas com Variáveis Contínuas e Altamente Restritos. Dissertação (Mestrado) - PPGEE/UNESP, 2009.
- [5] CRISAN, C. & MÜHLENBEIN H. (1998). The frequency assignment problem: a look at the performance of evolutionary search. Artificial

- Evolution 3rd European Conference – Lecture Notes in Computer Science, v. 1363, p. 263-273.
- [6] BRITAIN, D., J.S. Williams & C. McMahon (1997). A genetic algorithm approach to planning the telecommunications access network. Proceedings of the 7th International Conference on Genetic Algorithms, East Lansing, USA, p. 623-628.
- [7] HORROCKS, D.H. & M.C. Spittle (1993). Component value selection for active filters using genetic algorithms. In Proceedings of the 1st On-line Workshop on Soft Computing, Nagoya, Japan, [sp].
- [8] AMENDOLA, A. F., (2007). Meta-heurísticas de otimização aplicadas a coordenação hidrotérmica. Dissertação (Mestrado) - COPPE/UF RJ, 2007.
- [9] TZES, A. & PENG, P-Y. & GUTY, J. (1998). Genetic-based fuzzy clustering for DC-motor friction identification and compensation. IEEE Transactions on Control Systems Technology, v. 6, n. 4, p. 462-472.
- [10] FERREIRA, R. J. P. & LIMA FILHO, J. M. S. S. & FREJ, E. A. (2013). Algoritmo Genético Multiobjetivo para o Sequenciamento Integrado de Atividades de Produção e Manutenção. In: XXXIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2013, Salvador: UFBA, 2013.
- [11] SOUZA, J. T. & FERREIRA, F. S. & SILVA, F. S. V. (2010). Formação de Grupos de Trabalho com Algoritmo Genético. In: III Congresso Tecnológico da InfoBrasil, Fortaleza: SEBRAE, 2010.
- [12] BORBA, N. A. S., (2010). Uma Solução do Problema de Programação de Equipes de Saúde Pública Via Metaheurísticas. Dissertação (Mestrado) - CMMC/CEFET-MG, 2010.
- [13] BORBA, N. A. S., (2011). Uma Abordagem Otimizada para o Problema de Alocação de Equipes e Escalonamento de Tarefas para a Obtenção de Cronogramas Eficientes. Dissertação (Mestrado) - CMCC/UECCE, 2011.
- [14] LEITE, P. (1999). “Um Algoritmo Genético para o Planejamento de Sistemas Hidrelétricos”, dissertação de mestrado, USP.
- [15] BÄCK, T., (1994). “Selective Pressure in Evolutionary Algorithms: A Characterization of Selection Mechanisms”, Proc. 1st. IEEE Conf. on Evolutionary Computation, pp. 57-62, IEEE Press.
- [16] DE OLIVEIRA, K. C. R., (2013). Otimização do Problema de Alocação De Operários em Parques Eólicos Utilizando Algoritmo Genético (Graduação UFRN, 2013).