

Algoritmo genético aplicado no planejamento da operação de um parque eólico

Robson Josué Molgare¹, Thiago Stock Paschoal¹, Carlos Eduardo Camargo Nogueira¹,
Evandro Volpato¹, Marcos Vinícius Schlichting¹, Solles Augusto Rovaris¹

¹Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, PPGEA – Programa de Pós Graduação em Energia na Agricultura – Nível Mestrado - Rua Universitária nº 2069, 85819-110, Cascavel – PR.

rjmolgare@gmail.com, thiago@swcascavel.com.br, cecn1@yahoo.com.br, evandro40@hotmail.com,
marvim_s@hotmail.com, sarovaris@gmail.com

Resumo: A energia eólica é a fonte renovável de geração de energia elétrica que mais vem crescendo a nível mundial. À medida que a participação dessa fonte em um sistema elétrico aumenta, torna-se necessário realizar o controle da potência fornecida à rede pelos aerogeradores, de forma a manter a qualidade da eletricidade entregue, seguindo as condições impostas pelo planejamento da operação. O trabalho apresenta uma metodologia para o planejamento de médio prazo da operação de um parque eólico, levando-se em consideração a minimização do custo da energia produzida. Para tanto são apresentados conceitos referentes as estratégias adotadas ao nível do planejamento da operação, aos algoritmos genéticos e as ferramentas computacionais utilizadas para implementação e simulação do controle, a saber Matlab e Global Optimization Toolbox. Por fim, discutem-se os resultados do controle proposto, através da simulação de cenários de produção eólica.

Palavras-chave: Parque Eólico, Planejamento da Operação, Algoritmos genéticos.

Genetic algorithm applied at the planning of the operation of a wind farm

Abstract: The Wind energy is the renewable source of electricity that has the highest growth worldwide. As the participation of this source in a power system increases, it becomes necessary to make the control of the power supplied to the network by turbines, in order to maintain the quality of electricity delivered, according to the conditions imposed by the planning of the operation. This work presents a methodology for medium-term planning of the operation of a wind farm, taking into account the minimization of the cost of energy produced. Therefore, concepts are presented regarding the strategies adopted at the level of planning of the operation, the genetic algorithms and computational tools used for implementation and simulation of control, namely the Global Optimization Toolbox and Matlab. Finally, the results of the proposed control are discussed by simulating scenarios of wind power.

Keywords: Wind Farm, Operation Planning, Genetic algorithms.

Introdução

A capacidade de geradores eólicos instalados no mundo vem crescendo rapidamente. Estima-se que até o ano de 2020, 12% do consumo mundial de eletricidade poderá ser suprido por fontes eólicas (Varão, 2008).

Geralmente o regime de uso de uma central eólica não pode ser dependente da carga¹, havendo geração em função apenas da disponibilidade de vento (Custódio, 2007), dificultando o despacho da potência. Entretanto, na medida em que a penetração de energia eólica em um sistema elétrico aumenta, torna-se necessário executar a regulação da potência de forma semelhante ao que é feito com as fontes convencionais, de modo que se possa reduzir ou aumentar a potência que é enviada à rede num curto espaço de tempo (Wizelius, 2007).

Assim, a regulação da potência deixa de ser feita apenas em função da disponibilidade de vento, levando-se em consideração também as previsões de demanda. Nesses casos os parques eólicos ficam sujeitos às decisões tomadas ao nível do planejamento da operação, pois tal política atribui metas de geração a cada usina conectada ao sistema elétrico, de forma que a mesma possa atender à demanda estabelecida com o mínimo custo operacional possível.

Nesse contexto, os Algoritmos Genéticos surgem como opção para a implementação do controle proposto, uma vez que a técnica é intensamente aplicada em problemas de otimização, realizando processos iterativos de busca da melhor solução para o problema.

O presente trabalho apresenta uma metodologia para o despacho da geração de eletricidade proveniente da matriz eólica utilizando algoritmos genéticos, buscando uma solução que otimize a operação, minimizando os custos de geração a partir de tal fonte.

Algoritmos Genéticos

Algoritmos Genéticos (AG's) são métodos computacionais heurísticos, baseados na teoria Darwiniana da evolução das espécies, que simulam o comportamento evolucionário buscando a otimização global de uma dada função objetivo (Linden, 2006). Possíveis soluções para o problema evoluem de acordo com operadores probabilísticos concebidos a partir de metáforas biológicas, de modo que há uma tendência de que os indivíduos apresentem soluções cada vez melhores.

¹ Carga e Demanda possuem sentidos análogos ao longo do texto

Dentre as vantagens da utilização dos AG's, destacam-se a facilidade de implementação computacional, a inexistência de restrições quanto ao tipo do problema e a possibilidade de se integrar o algoritmo com aplicativos externos que calculem a função objetivo (Varão, 2008).

Para identificar os elementos dos AG's utiliza-se a seguinte terminologia, conforme a Tabela 1.

Tabela 1. Terminologia dos algoritmos genéticos

Biologia	Algoritmos Genéticos
Cromossomo	Palavra binária, vetor
Gene	Gene ou bit
Alelo	Valor do Gene ou do bit
Lócus	Posição de um gene no vetor
Geração	Ciclo
Genótipo	Estrutura
Fenótipo	Estrutura submetida ao problema

Fonte: adaptado de (JUNIOR, 2008)(PACHECO, 2011)

A primeira etapa na aplicação de AG's a um problema é representar cada possível solução no espaço de busca como uma sequência de símbolos. A representação mais simples é constituída pelo alfabeto binário "0-1", entretanto, também admite-se a representação real.

(LINDEN, 2006) apresenta o AG básico como segue:

- a) Inicializar a população de cromossomos;
- b) Avaliar cada cromossomo na população;
- c) Selecionar os pais para gerar novos cromossomos;
- d) Aplicar os operadores de recombinação e mutação a estes pais de forma a
- e) Gerar os indivíduos da nova geração;
- f) Apagar os velhos membros da população;
- g) Avaliar todos os novos cromossomos e inseri-los na população;
- h) Se o tempo acabou, ou o melhor cromossomo satisfaz os requerimentos de desempenho, apresente-o, caso contrário volte ao passo c).

A execução de qualquer AG começa pela geração aleatória ou heurística de um conjunto de possíveis soluções que constituem uma população. Visando aumentar a diversidade da população, a cada iteração os cromossomos são submetidos a um processo evolucionário que envolve avaliação, seleção, recombinação sexual (crossover) e mutação. Os melhores indivíduos (melhor *fitness*) têm a tendência de subsistir, criando novas gerações.

Idealmente a execução do AG deveria encerrar assim que o mesmo encontrasse a melhor solução para o problema. Entretanto, como qualquer outra meta-heurística, trata-se de um processo de busca que não pode garantir o ótimo global.

Em consequência disso, normalmente utiliza-se como critério de parada:

- a) Número máximo de gerações, estipulado pelo operador;
- b) Tempo limite de processamento;
- c) Observância de estagnação populacional, ou seja, quando não se observa melhoria da população após várias gerações consecutivas.

Material e Métodos

A base das considerações econômicas sobre a energia eólica é o custo do aerogerador, entretanto, o custo unitário da produção de energia não é determinado apenas pelo custo da máquina, dependendo, entre outros, do valor do investimento, de seus custos operacionais e da quantidade de energia a ser gerada, que é o mais importante fator para o cálculo do custo por unidade de energia gerada (Ewea, 2011). A Figura 1 exemplifica a constituição dos custos unitários de energia de uma central eólica.

O custo da energia eólica produzida é fortemente influenciado pela velocidade média do vento no local, devido à relação da potência eólica com o cubo da velocidade do vento (Mathew, 2006). Para aerogeradores com potências dominantes no mercado, os custos específicos são tidos como uma função da energia anual gerada, da potência da máquina e dos custos por KW instalado, explicando-se o caráter decrescente dos custos ao longo do ano, conforme mostra a Figura 2.

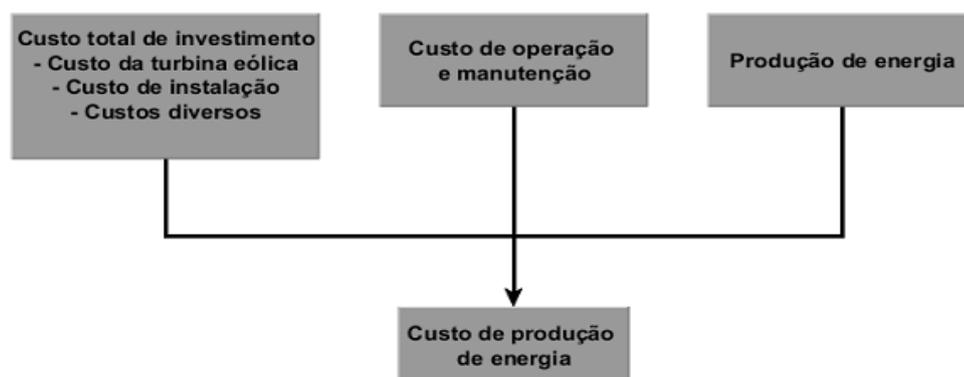


Figura 1. Estrutura de custos de uma central eólica.
Fonte: (FADIGAS, 2011)

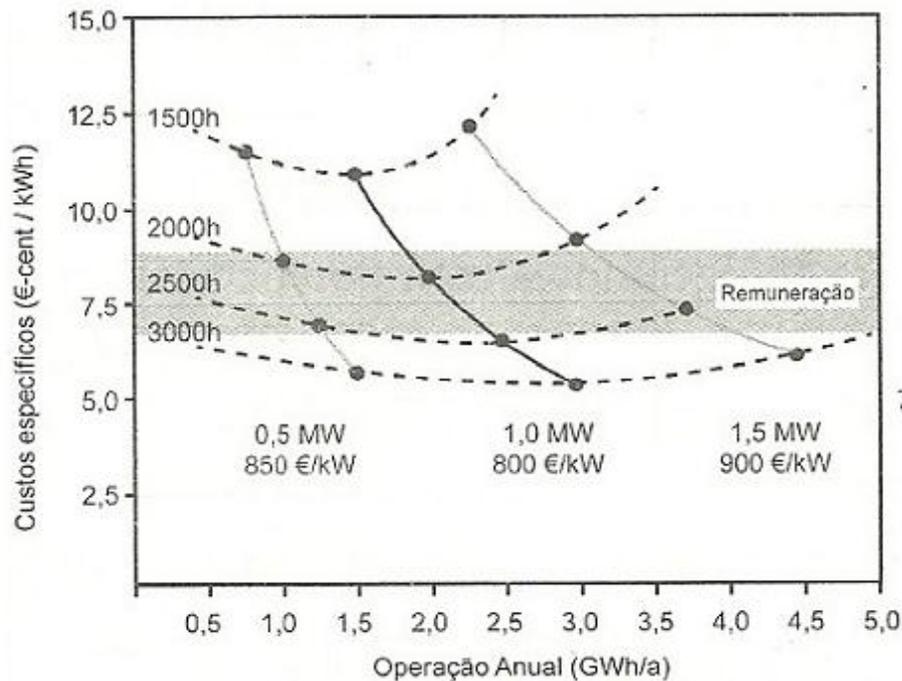


Figura 2. Custos unitários da energia eólica, praticados na Alemanha.
Fonte: (FADIGAS, 2011)

O planejamento dos sistemas elétricos segue uma ordenação em cascata, onde o planejamento de longo prazo traça metas para o médio prazo, e o mesmo se fazendo para o curto prazo. O planejamento de médio prazo atua de forma a estabelecer níveis de geração para cada parque gerador, de forma a atender a demanda com o menor custo possível.

Associada à tarefa de planejamento da operação está o escalonamento das máquinas e o pré-despacho da potência, uma vez que as ordens passadas pelo planejamento devem ser atendidas pelas usinas.

Considerou-se o problema do planejamento da operação de médio prazo, pois leva em consideração a minimização dos custos da energia gerada, justificando a utilização das curvas de custo específico mostradas na Figura 2.

Sendo assim, o problema central abordado foi:

“Dados:

- a) Um parque eólico;
- b) Um modelo de previsão de vento;
- c) Um modelo de previsão de demanda.

Determinar a energia que cada aerogerador deverá produzir em um determinado período de tempo, de forma a atender aos requisitos da operação de médio prazo, minimizando o custo específico da geração.”

Tomando por base as curvas de custo específico para aerogeradores de 500, 1000 e 1500 KW, o parque eólico foi tomado como sendo constituído por três aerogeradores, conforme ilustrado na Figura 3.

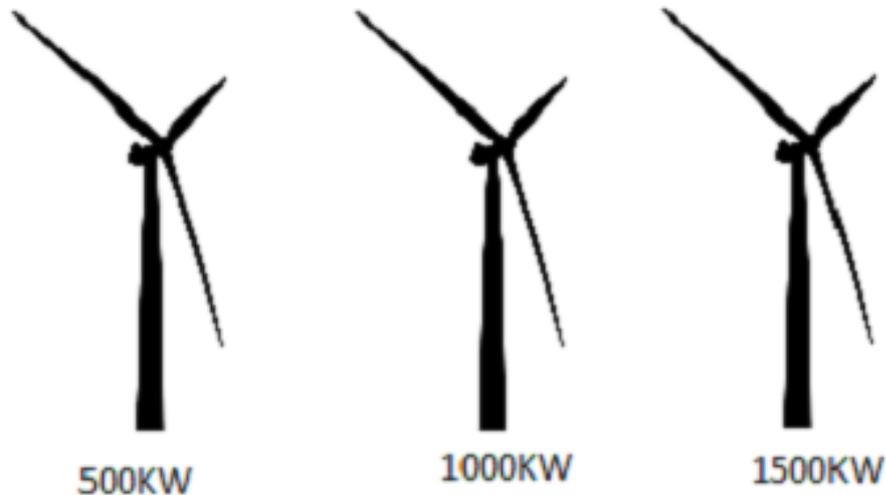


Figura 3. Parque eólico.

Fonte: do autor

Para estimar a energia produzida, foram tomadas as equações das curvas de potência para cada aerogerador componente do sistema. A energia disponibilizada pelo parque eólico, em GWh, forneceu o parâmetro de entrada para a obtenção do custo da energia. As curvas de potência modeladas ficaram como a ilustrada na Figura 4, que traz a curva do aerogerador de 500KW.

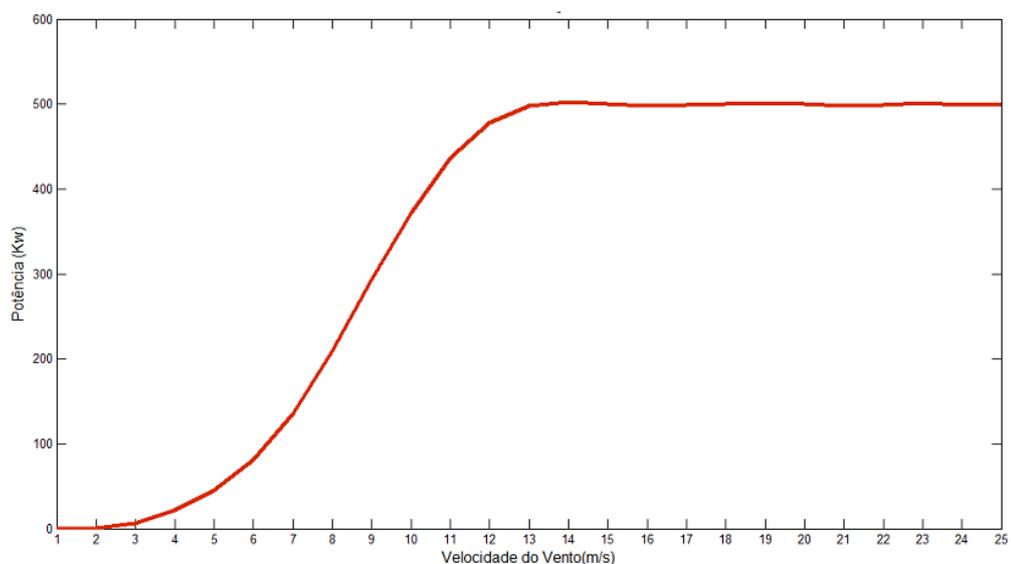


Figura 4. Curva de potência para o aerogerador de 500KW.

Fonte: do autor

As equações de potência obtidas, foram respectivamente:

a) 500KW

$$Y_{500}(x) = 5.1867 \cdot 10^{-9} x^{11} - 7.4019 \cdot 10^{-7} x^{10} - 4.5616 \cdot 10^{-5} x^9 - 0.0016 x^8 + 0.03423 x^7 - 0.4734 x^6 + 4.2139 x^5 - 23.7866 x^4 + 482.8364 x^3 - 1.6478 \cdot 102 x^2 + 1.6679 \cdot 102 x - 64.8505$$

b) 1000KW

$$Y_{1000}(x) = 1.5499 \cdot 10^{-8} x^{11} - 2.2534 \cdot 10^{-6} x^{10} + 1.4212 \cdot 10^{-4} x^9 - 0.0051 x^8 + 0.1139 x^7 - 1.653 x^6 + 15.631 x^5 - 94.95 x^4 + 3.583 \cdot 102 x^3 - 7.816 \cdot 102 x^2 + 8.6811 \cdot 102 x - 3.6415 \cdot 102$$

c) 1500KW

$$Y_{1500}(x) = 8.4447 \cdot 10^{-9} x^{11} - 1.2791 \cdot 10^{-6} x^{10} + 8.4322 \cdot 10^{-5} x^9 - 0.0032 x^8 + 0.0746 x^7 - 1.143 x^6 + 11.438 x^5 - 73.658 x^4 + 2.951 \cdot 102 x^3 - 6.808 \cdot 102 x^2 + 7.9338 \cdot 102 x - 3.4494 \cdot 102$$

Onde:

$Y(x)$ = potência, em KW;

x = velocidade do vento, em m/s.

As curvas de custo específico, exemplificadas pela curva do aerogerador de 500KW mostrada na Figura 5, foram modeladas tomando por base as informações da Figura 2, haja visto que as mesmas levam em consideração todos os parâmetros relativos à composição dos custos da energia gerada por uma central eólica.

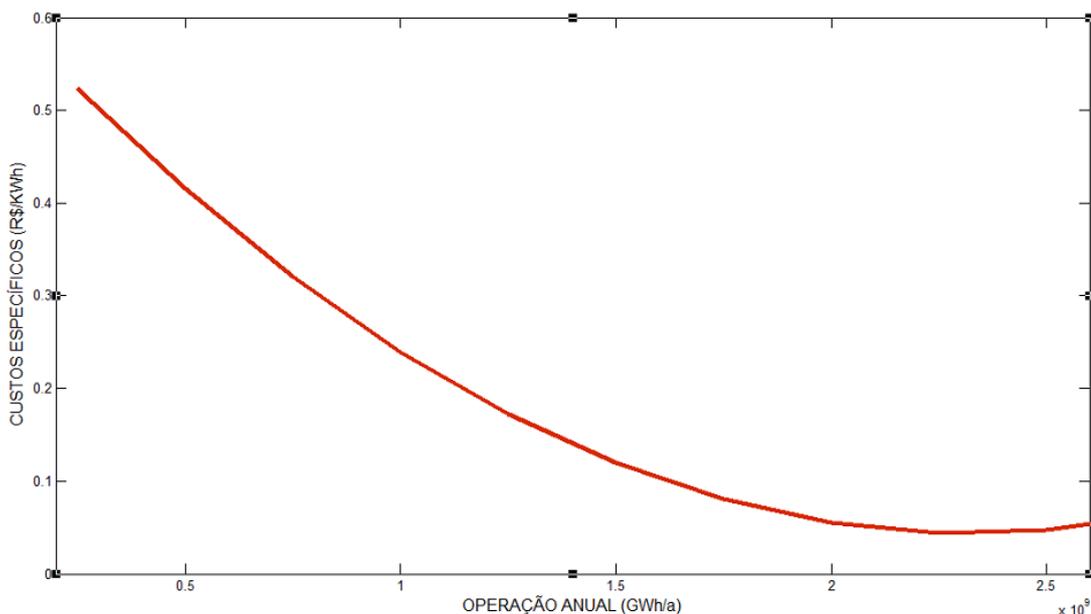


Figura 5. Curvas de custo específico para o aerogerador de 500KW.

Fonte: adaptado de (FADIGAS, 2011)

A partir das curvas tomaram-se as equações de custo específico para cada aerogerador.

a) 500KW

$$Y_{500}(x) = 1.1150.10^{-19}x^2 - 5.1853.10^{-10}x + 0.6465$$

b) 1000KW

$$Y_{1000}(x) = 2.8585.10^{-20}x^2 - 2.5211.10^{-10}x + 0.6208$$

c) 1500KW

$$Y_{1500}(x) = 1.4740.10^{-20}x^2 - 1.8982.10^{-10}x + 0.6939$$

Onde:

$y(x)$ = custo da energia gerada

x = energia gerada no período considerado, em GWh.

Cabe a função de custo específico apenas compor a função de avaliação, não fazendo parte desse trabalho qualquer análise econômica das soluções apresentadas.

Definidos o parque eólico com suas curvas de potência e de custos específicos, estabeleceu-se uma lógica de controle, que, para cada período de planejamento, baseado nos vetores de entrada estipulados e nos pontos iniciais, estabelece metas de geração de energia para o parque eólico, de acordo com os passos mostrados na Figura 6.

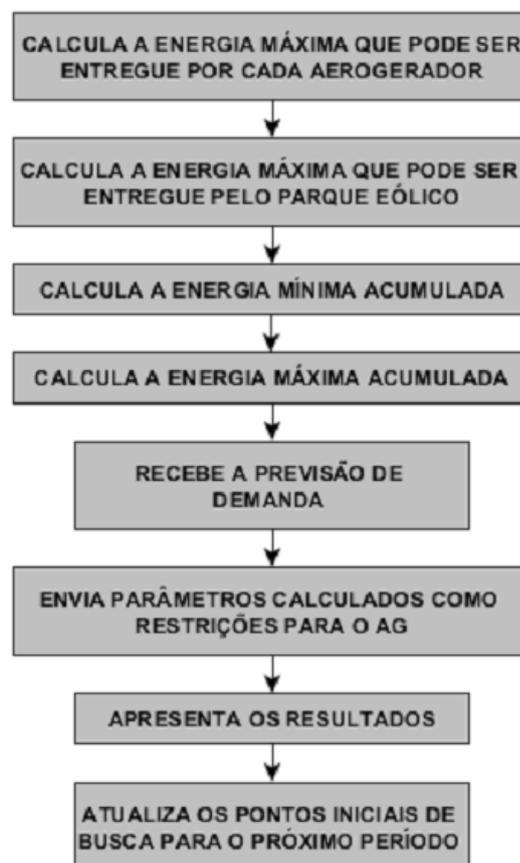


Figura 6. Etapas da rotina de planejamento.

Fonte: do autor

Visando tornar plausível a evolução dos custos no decorrer do tempo, tomou-se um ponto na curva de custos, fazendo deste o ponto a partir do qual o planejamento da operação é iniciado.

Considerou-se que o parque eólico já esteja em regime de funcionamento, e que se conhece a energia gerada, bem como o custo da energia acumulado até então.

Adotaram-se os seguintes valores iniciais:

a) 500KW → 0.5 GWh

b) 1000KW → 1 GWh

c) 1500KW → 1.5 GWh

A magnitude da produção de energia eólica prevista é diretamente influenciada pela previsão da velocidade média do vento para o período considerado, seja ele semanas ou meses. Isso se deve ao fato de que, por definição, o cálculo da energia gerada envolve as duas variáveis citadas; a velocidade média interfere na potência entregue, enquanto que o período define as horas de operação dos aerogeradores.

Tendo por base uma previsão de velocidade média de vento de oito m/s no período de um mês e as curvas de potência, a potência máxima que o parque eólico poderá fornecer, substituindo a velocidade do vento nas equações de potência, será:

$$P_{500}=209.2 \text{ KW}$$

$$P_{1000}= 344.5 \text{ KW}$$

$$P_{1500}= 389.3\text{KW}$$

Essa média de produção resulta numa energia gerada de 0,679 GWh/mês, que é o máximo de energia que se pode gerar, entretanto pode-se interferir na magnitude dessa energia, ajustando-a para valores inferiores de acordo com as necessidades da carga.

A energia fornecida pelo parque eólico tem que ser, em todos os intervalos, igual a carga prevista. Essa condição compõe a restrição fundamental que guia a busca pela melhor solução por parte do AG, ou seja:

$$E_{500} + E_{1000} + E_{1500} = D$$

Onde:

E_{500} = energia gerada pelo aerogerador de 500KW, em GWh;

E_{1000} = energia gerada pelo aerogerador de 1000KW, em GWh;

E_{1500} = energia gerada pelo aerogerador de 1500KW, em GWh;

D = demanda prevista.

A consideração de iniciar a execução do algoritmo levando em conta que o parque eólico já esteja em regime de funcionamento constitui uma restrição operativa ao AG, de

forma que não se pode buscar soluções em pontos que se situem abaixo desses pontos iniciais. Da mesma forma, outra consideração a ser feita é que não se pode prever o atendimento de uma demanda que seja maior do que a capacidade de geração no período. Dessa forma, não se pode buscar soluções em pontos da curva situados além dos limites de geração máxima impostos pelo parque eólico.

Assim, estabelecem-se as seguintes restrições individuais de busca:

$$E_{i500} \leq E_{500} \leq E_{S500}$$

$$E_{i1000} \leq E_{1000} \leq E_{S1000}$$

$$E_{i1500} \leq E_{1500} \leq E_{S1500}$$

Onde:

E_{500} = energia gerada pelo aerogerador de 500KW, em GWh;

E_{1000} = energia gerada pelo aerogerador de 1000KW, em GWh;

E_{1500} = energia gerada pelo aerogerador de 1500KW, em GWh;

Para cada aerogerador, têm-se:

E_i = parâmetro que restringe o limite inferior de busca. Corresponde a energia gerada anteriormente ao início da aplicação do controle;

E_s = parâmetro que restringe o limite superior de busca. Corresponde a máxima energia que pode ser entregue pelo aerogerador no período considerado.

A Figura 7 mostra graficamente a localização das restrições, bem como o universo de busca do AG nas curvas de custo.

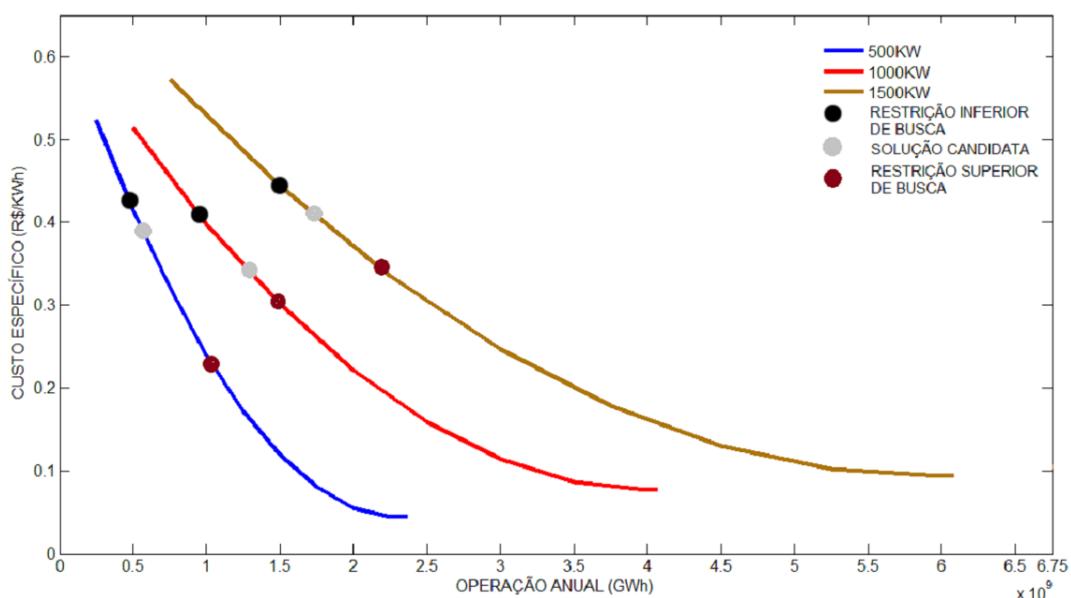


Figura 7. Restrições de busca apresentadas sob as curvas de custo.

Fonte: do autor

Se a demanda a ser atendida e a produção máxima de cada aerogerador forem, respectivamente:

$$D = 0.25 \text{ GWh}$$

$$E_{M500} = 0.2 \text{ GWh}$$

$$E_{M1000} = 0.5 \text{ GWh}$$

$$E_{M1500} = 0.6 \text{ GWh}$$

Os limites superiores de busca serão definidos como:

$$E_{S500} = E_{i500} + E_{M500} = 0.7 \text{ GWh}$$

$$E_{S1000} = E_{i1000} + E_{M1000} = 1.5 \text{ GWh}$$

$$E_{S1500} = E_{i1500} + E_{M1500} = 2.1 \text{ GWh}$$

Espera-se determinar os níveis de geração de cada aerogerador, de modo que:

$$E_{500} + E_{1000} + E_{1500} = D$$

Para que o AG entenda corretamente a restrição, fez-se necessário acrescentar ao valor da demanda o somatório dos limites inferiores, da seguinte maneira:

$$D = D + \sum E_i$$

Assim as mesmas tornam-se aptas a direcionar a busca das soluções por parte do AG. Os valores de metas de geração de energia, que retornam como resultados do AG, são submetidos ao processo inverso, sendo descontados dos mesmos os valores iniciais.

Como características fundamentais do AG projetado, pode-se citar:

a) tamanho dos cromossomos: constituídos por três genes, cada um deles correspondendo a um aerogerador. Os valores contidos em cada posição correspondem às metas individuais de geração de energia.

b) função de avaliação: A função de avaliação submete os valores de cada gene à função de custo correspondente, compondo o *fitness* como a soma das avaliações individuais.

Para avaliar a eficácia do AG na resolução do problema, levou-se em consideração apenas um período de planejamento. Os dados considerados foram os seguintes:

$$v = 6.1 \text{ m / s}$$

$$D = 0.25 \text{ GWh}$$

$$E_M = 0.28 \text{ GWh}$$

Onde:

v = velocidade média do vento no período (m/s);

D = demanda a ser atendida no período;

E_M = energia máxima que pode ser gerada pelo parque eólico no período.

Os valores acima satisfazem a restrição de atendimento da carga por parte do parque eólico, ou seja:

$$D \leq E_M$$

As restrições de busca do AG são:

$$E_{500} + E_{1000} + E_{1500} = D$$

Estabeleceram-se os limites individuais de busca para cada aerogerador em sua respectiva função de custo, da seguinte forma:

$$0.5 \text{ GWh} \leq E_{500} \leq 0.5616 \text{ GWh}$$

$$1 \text{ GWh} \leq E_{1000} \leq 1.0994 \text{ GWh}$$

$$1.5 \text{ GWh} \leq E_{1500} \leq 1.6181 \text{ GWh}$$

Onde:

E_{500} = energia gerada pelo aerogerador de 500KW, em GWh;

E_{1000} = energia gerada pelo aerogerador de 1000KW, em GWh;

E_{1500} = energia gerada pelo aerogerador de 1500KW, em GWh;

A restrição de demanda fica sendo:

$$D = 0.25 + \sum E_i$$

$$D = 0.25 + (0.5 + 1 + 1.5) = 3.25 \text{ GWh}$$

Portanto:

$$E_{500} + E_{1000} + E_{1500} = 3.25 \text{ GWh}$$

Resultados e Discussão

Para avaliar a eficácia do controle proposto, configurou-se o AG da seguinte maneira:

- a) tamanho da população: 20 indivíduos;
- b) gerações: 50, servindo também como ponto de parada ;
- c) operador de seleção: roleta;
- d) operador de crossover: aritmético;
- e) operador de mutação: uniforme, com probabilidade de 0.01.

A população inicial, apresentada na Tabela 2, gerada de forma randômica com o auxílio do software Matlab, foi a seguinte:

Tabela 2. População inicial

Indivíduo	500KW	1000KW	1500KW	Indivíduo	500KW	1000KW	1500KW
1	0.5616	1.0994	1.5890	11	0.5599	1.0990	1.5909
2	0.5616	1.0994	1.5890	12	0.5531	1.0906	1.6062
3	0.5470	1.0848	1.6181	13	0.5470	1.0848	1.6181
4	0.5471	1.0847	1.6181	14	0.5549	1.0994	1.5956
5	0.5549	1.0994	1.5956	15	0.5604	1.0992	1.5902
6	0.5616	1.0991	1.5892	16	0.5474	1.0852	1.6172
7	0.5470	1.0848	1.6181	17	0.5575	1.0976	1.5948
8	0.5616	1.0944	1.5939	18	0.5471	1.0847	1.6181
9	0.5591	1.0994	1.5914	19	0.5616	1.0945	1.5938
10	0.5552	1.0994	1.5953	20	0.5616	1.0945	1.5938

Fonte: do autor

As avaliações para cada indivíduo da população inicial são mostradas na Tabela 3.

Tabela 3. Custo para cada indivíduo da população inicial

Indivíduo	Custo	Indivíduo	Custo
1	1.1981	11	1.1985
2	1.1981	12	1.2006
3	1.2024	13	1.2025
4	1.2024	14	1.1998
5	1.1998	15	1.1984
6	1.1981	16	1.2023
7	1.2025	17	1.1992
8	1.1983	18	1.2024
9	1.1987	19	1.1983
10	1.1997	20	1.1983

Fonte: do autor

Percebe-se que o AG apresentou resultados próximos em todas as gerações, e, por mais que se alterem as novas gerações, a diversificação não é suficiente para que possibilite alcançar outras regiões em busca de um resultado melhor.

Discute-se a simulação da rotina de planejamento da operação levando-se em conta uma discretização mensal, para o período de 1 ano.

Tomou-se como entradas:

- a) Vetor de previsão de vento, em (m/s).

$$v = [6.1 \ 6.5 \ 6.2 \ 7 \ 6.9 \ 7.2 \ 7.5 \ 9 \ 7.4 \ 8 \ 6.6 \ 7]$$

- b) Vetor de previsão de demanda, em (GWh)

$$d = [0.25 \ 0.3 \ 0.26 \ 0.31 \ 0.3 \ 0.39 \ 0.25 \ 0.37 \ 0.35 \ 0.34 \ 0.32 \ 0.27]$$

Os pontos iniciais do planejamento foram tomados conforme mostrado na Tabela 4.

Tabela 4. Pontos iniciais para simulação do planejamento

Aerogerador	Ponto inicial
500 KW	0,5 GWh
1000 KW	1 GWh
1500 KW	1,5 GWh

Fonte: do autor

O algoritmo foi executado tantas vezes quanto forem os intervalos de planejamento, apresentando as metas de geração de energia (MWh) que minimizam os custos a cada período considerado, conforme mostra a Tabela 5.

Tabela 5. Metas de geração atribuídas ao parque eólico em cada período considerado

Mês	500KW	1000KW	1500KW	ENERGIA	Custo
1	0.06158	0.09944	0.08896	0.25	1.1981
2	0.07389	0.12174	0.10436	0.3	1.1323
3	0.06503	0.09987	0.09508	0.26	1.0772
4	0.09564	0.15612	0.05823	0.31	1.0087
5	0.09324	0.14862	0.05812	0.3	0.9458
6	0.10746	0.17042	0.11211	0.39	0.8716
7	0.12284	0.06919	0.05795	0.25	0.8192
8	0.21041	0.10061	0.05896	0.37	0.7457
9	0.11759	0.18412	0.04828	0.35	0.6903

10	0.15059	0.09470	0.09470	0.34	0.6396
11	0.08028	0.09594	0.14377	0.32	0.5983
12	0.09785	0.08607	0.08607	0.27	0.5652

Fonte: do autor

Observa-se que o custo específico, que também é o *fitness*, apresenta um decréscimo no decorrer do tempo, devido ao fato de as curvas de custo específico, utilizadas como função de minimização, terem a característica de que quanto maior a energia acumulada no período, menor o custo associado à energia produzida.

A Figura 8 traz de forma gráfica as metas de geração mostradas na Tabela 5. Nota-se que para os aerogeradores maiores, que possuem custos mais altos, atribui-se inicialmente maior parcela no atendimento à demanda. Entretanto, a partir do quarto período de planejamento essa situação se altera, passando o AG a alocar as maiores cargas aos aerogeradores que mais contribuirão para a minimização do custo global, resultando na curva da Figura 9.

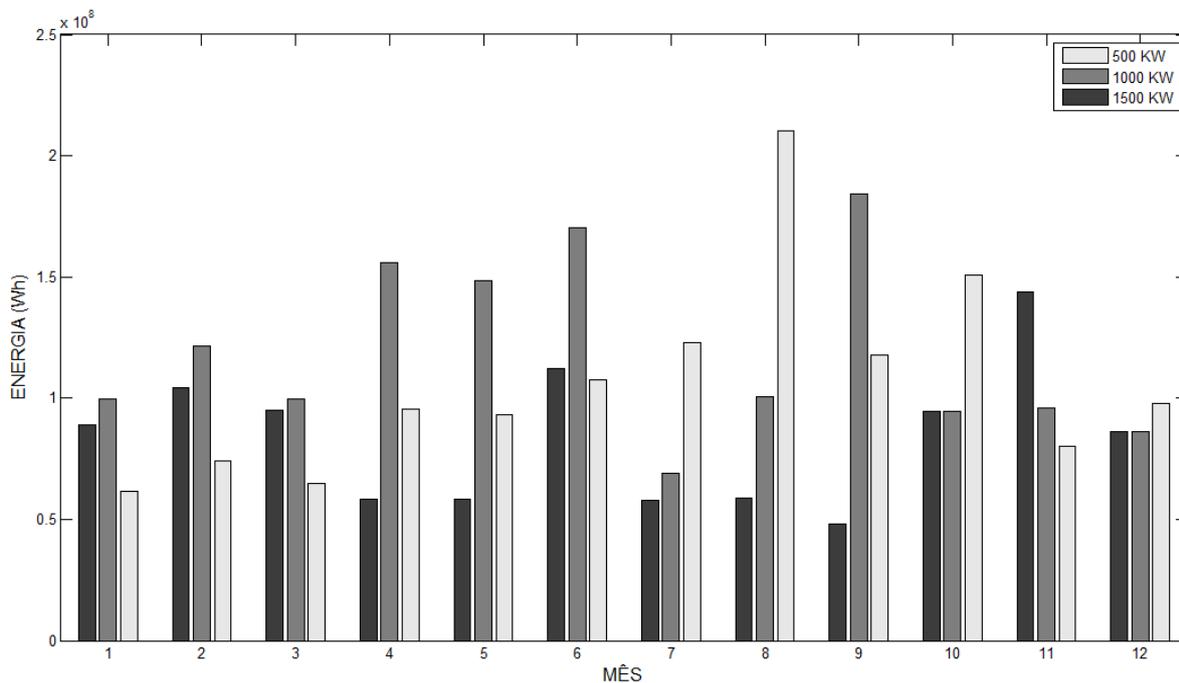


Figura 8. Metas de geração individualizadas.

Fonte: do autor

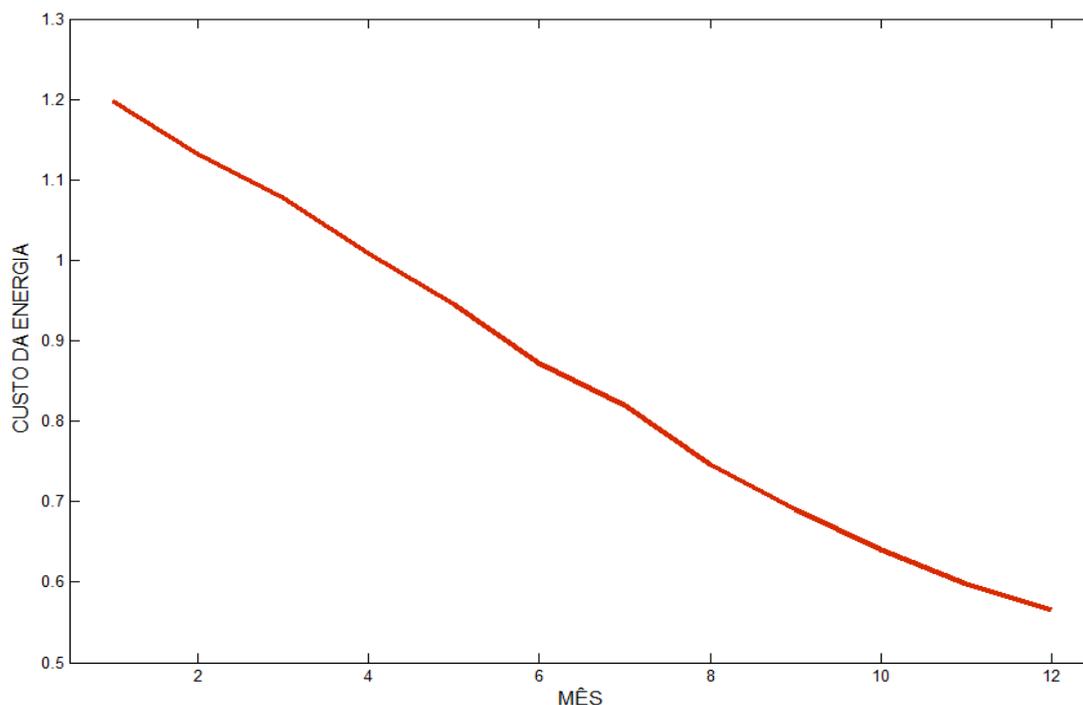


Figura 9. Curva característica de minimização do custo global da energia.

Fonte: do autor

Conclusão

O gerenciamento de parques eólicos ao nível do planejamento da operação pode ainda não ser uma realidade, haja visto que a participação dessa matriz no mercado nacional de eletricidade ainda é baixa.

Constituiu-se um grande desafio nesse trabalho a busca pelas informações e a modelagem de uma função que levasse em conta os custos da geração de energia eólica, uma vez que tal parâmetro, pelo caráter gratuito do recurso, por vezes é ignorado pela literatura especializada.

No que se refere à aplicação do AG na determinação das metas de geração, conclui-se que a técnica apresenta resultados coerentes. A codificação em ponto flutuante torna os operadores genéticos mais ágeis e facilita a interpretação dos resultados. A imposição de restrições ao problema é um recurso útil, pois permite direcionar a busca do algoritmo genético a uma região que já se sabe conter a solução.

Por fim, conclui-se que os algoritmos genéticos atendem a finalidade proposta, no sentido de avaliar sua aplicação no gerenciamento de um parque eólico, culminando numa estratégia que resolva o planejamento da operação de médio prazo de forma satisfatória.

Referências

CUSTÓDIO, R. S. Energia eólica para produção de energia elétrica. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2007.

EWEA. Wind Energy – The Facts. Costs & Prices. Disponível em <[http://www.ewea.org/fileadmin/ewea_documents/documents/00_POLICY_document/Economics_of_Wind_Energy_March_2009 .pdf](http://www.ewea.org/fileadmin/ewea_documents/documents/00_POLICY_document/Economics_of_Wind_Energy_March_2009.pdf) > acesso em: 21 ago. 2011.

FADIGAS, E. F. A. Energia Eólica. Barueri: Manole, 2011.

JUNIOR, L. C. S. Sequenciamento ótimo da recomposição de sistemas elétricos utilizando algoritmos genéticos. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2005.

LINDEN, R. Algoritmos genéticos: uma importante ferramenta da inteligência computacional. Rio de Janeiro: Brasport, 2006.

MATHEW, S. Wind Energy: Fundamentals, Resource Analysis and Economics. Berlin: Springer, 2006.

PACHECO, M. A. C. Algoritmos genéticos: princípios e aplicações. Disponível em <<http://www.ica.ele.puc-rio.br/Downloads/38/CE-Apostila-Comp-Evol.pdf>> acesso em 21 mai. 2011.

VARÃO, L. R. Avaliação de desempenho de um sistema de geração eólica integrada a um sistema de potência utilizando algoritmos genéticos. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

WIZELIUS, T. Developing Wind Power Projects. Theory & Practice. Londres: EarthSan, 2007.

Recebido para publicação em: 10/11/2013

Aceito para publicação em: 25/03/2014