



Grupo de Estudo de Geração Térmica - GGT

Análise Técnico-Econômica de uma Planta Heliotérmica Híbrida com o Uso de Algoritmos Genéticos

ALCIDES CODECEIRA NETO* (1); EDUARDO DE AGUIAR SODRÉ (1); JOSÉ BIONE DE MELO FILHO (2)
CHESF – UPE (1); CHESF - IFPE (2);

RESUMO

O aproveitamento da energia solar para a produção de energia elétrica pode ser efetuado por meio da transformação direta da radiação solar em energia elétrica, pelo processo fotovoltaico, ou pelo aproveitamento da energia solar térmica proveniente da tecnologia de concentração da radiação solar direta, produzindo vapor e integrando um ciclo termodinâmico convencional (Ciclo Rankine). Essa tecnologia é conhecida como *Concentrating Solar Power* (CSP).

Este Informe Técnico tem como objetivo apresentar uma análise técnico-econômica de uma planta heliotérmica híbrida utilizando Algoritmos Genéticos. A complementação da geração de energia será feita a partir da queima de biomassa.

PALAVRAS-CHAVE

Geração heliotérmica, Biomassa, Análise econômico-financeira

1.0 - INTRODUÇÃO

As tecnologias CSP produzem calor em temperaturas operacionais entre 250 °C e 1500 °C, utilizando espelhos para concentrar a irradiação direta normal proveniente do sol. O calor produzido poderá então ser aproveitado diretamente em processos térmicos, seja por meio de armazenamento térmico ou através da transformação da energia térmica em energia elétrica.

Uma das vantagens da tecnologia CSP é a possibilidade de armazenar o calor para posterior geração de eletricidade e/ou eletricidade e calor, este último quando se trata de um sistema de cogeração de energia elétrica. Tal vantagem permite a geração de energia na ausência de irradiação solar, como por exemplo, durante o período noturno.

Outras vantagens relevantes fazem referência aos objetivos ambientais decorrentes do uso dessa tecnologia, especialmente por ser considerada uma tecnologia limpa, com baixa emissão de dióxido de carbono. Ressalta-se ainda a possibilidade dessa tecnologia poder ser utilizada em combinação com um modelo híbrido, seja através do uso de uma fonte convencional de geração de energia elétrica, como o gás natural ou mesmo com o uso de uma biomassa (queima direta do bagaço de cana-de-açúcar em uma caldeira, ou de biogás). A possibilidade de integração da tecnologia CSP com uma planta térmica convencional permite que a energia gerada seja despachada diretamente na rede elétrica.

Por outro lado, a tecnologia CSP apresenta desvantagens, como aquelas de natureza econômica. Vale ressaltar que a tecnologia CSP ainda possui elevados custos de investimento e de geração de energia elétrica, quando comparados com aqueles de outras fontes convencionais de geração de energia, atualmente comercializadas no setor elétrico mundial.

(*) Rua Delmiro Gouveia, n° 333, Bloco B, Sala 213, San Martin, CEP 50761-901, Recife, PE, – Brasil
Tel: (+55 81) 3229-3547 – email: alcidesc@chesf.gov.br

Visando à inserção da tecnologia CSP na Matriz Elétrica Brasileira, a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL estabeleceu em setembro de 2015 a Chamada Pública N° 019/2015 – Projeto Estratégico: “Desenvolvimento de Tecnologia Nacional de Geração Heliotérmica de Energia Elétrica”. Segundo à ANEEL, as capacidades industriais na área de usinas térmicas existentes no Brasil oferecem condições satisfatórias para a integração da cadeia produtiva da tecnologia CSP, apesar dos fabricantes de componentes heliotérmicos e sua expertise estarem situados em centros de pesquisa localizados no exterior, faltando assim, domínio tecnológico para projetar, desenvolver, instalar e operar plantas CSP no país.

Quanto ao tamanho da usina heliotérmica, sistemas de geração de energia que utilizam a tecnologia CSP variam desde grandes usinas que operam em ciclo Rankine até unidades menores que alimentam pequenas demandas de energia. A região do semiárido nordestino apresenta-se como uma área favorável, seja pelos elevados níveis de radiação, baixa pluviometria, bem como pela proximidade com a Linha do Equador, ou seja, baixa latitude.

Este Informe Técnico tem como objetivo apresentar uma análise técnico-econômica de uma planta heliotérmica híbrida. A complementação da geração de energia elétrica será feita a partir da queima de biomassa. O estudo a ser desenvolvido considera um período de operação de 17 horas, sendo 12 horas para a operação com geração de energia elétrica proveniente do calor produzido pelo campo solar, e 5 horas complementados a partir do calor produzido com a queima de biomassa. Será apresentada uma análise técnico-econômica da geração de energia elétrica, buscando-se o custo minimizado dessa energia gerada. O uso de Algoritmos Genéticos constitui uma técnica computacional probabilística que visa à busca de um valor ótimo de interesse para o estudo.

2.0 - DEFINIÇÃO DE ALGORITMOS GENÉTICOS

Algoritmos Genéticos formam um subconjunto da computação evolucionária, e são baseados nos processos de organismos biológicos. Eles usam operações encontradas na genética natural no sentido de buscar a solução através de espaços de busca. Através da adaptação deste processo natural para resolver problemas científicos, os Algoritmos Genéticos são capazes de desenvolver soluções para problemas matemáticos.

Essa técnica permite que uma população composta de muitos indivíduos possa “evoluir” através do uso de regras de seleção especificadas, para um estado que maximiza ou minimiza a função custo. Este método foi desenvolvido por John Holland em 1975, e tornou-se popular por um de seus estudantes, David Goldberg [1]. Atualmente as técnicas de Algoritmos Genéticos têm sido empregadas largamente para otimização de sistemas equações que representam problemas práticos. Algumas vantagens do uso de Algoritmos Genéticos estão descritas a seguir:

- Otimizam sistemas matemáticos com o uso de parâmetros discretos ou contínuos;
- Não requerem o uso de derivadas, como nas técnicas convencionais;
- São adequadas para a computação paralela;
- São facilmente implementáveis.

A interpretação dos resultados dá-se através da análise dos valores atribuídos à função custo à medida em que o modelo computacional vai sendo processado. Os indicadores mais significativos na solução do problema constituem a função custo do conjunto de parâmetros, os quais são os melhores (ou piores) indicadores em cada geração de indivíduos e a média da função custo de toda a população considerada. Nos Algoritmos Genéticos uma geração é definida como o período de tempo entre diferentes aplicações dos operadores genéticos. Já uma população é definida como os vários conjuntos de diferentes parâmetros considerados na aplicação do algoritmo [2].

Tendo em vista que os Algoritmos Genéticos são baseados em processos randômicos, não há qualquer possibilidade de se prever a eficiência deles em um dado problema. Eles consideram muitos pontos em um espaço de procura, simultaneamente, e portanto, possuem uma chance reduzida de convergência para um ótimo local. Nas técnicas de procura convencionais um ponto singular é considerado com base em alguma regra de decisão. Estes métodos podem ser perigosos em um espaço de procura com muitos máximos ou mínimos, tendo em vista que eles podem convergir para um ótimo local. Contudo, Algoritmos Genéticos geram populações inteiras de pontos, testam cada ponto independentemente e, então, combinam qualidades dos pontos existentes de forma a produzir uma nova população “melhorada” composta de novos pontos. Este método conduz a uma procura global maior no domínio considerado.

Há dois tipos de Algoritmos Genéticos: o Algoritmo Genético binário e o Algoritmo Genético de ponto flutuante, também conhecido como Algoritmo Genético Contínuo ou Algoritmo Genético Real. Ambos algoritmos possuem o mesmo caminho para recombinação genética e seleção natural. Os Algoritmos Genéticos binários representam parâmetros por meio de um vetor binário codificado de zeros (0) e uns (1), e trabalham com esses vetores binários para resolver o problema de otimização. Já os Algoritmos Genéticos contínuos trabalham com números reais para resolver o problema de otimização. Diversas comparações entre os Algoritmos Genéticos binários e os Algoritmos Genéticos contínuos têm mostrado melhor performance para os últimos, de acordo com Michalewicz, 1996 [3].

Contudo, a obtenção da performance do modelo usando-se estes dois tipos de Algoritmos Genéticos depende muito do problema e dos detalhes do algoritmo a ser usado.

Os procedimentos básicos que descrevem um Algoritmo Genético estão descritos a seguir:

1. Definição dos parâmetros, do custo e da função custo;
2. Criação da população original;
3. Avaliação da função custo para a população inteira;
4. Seleção dos indivíduos para reprodução;
5. Reprodução;
6. Mutação;
7. Avaliação da função custo dos novos indivíduos;
8. Elitismo
9. Se a convergência for alcançada, parar; senão retornar para o passo 3.

2.1 Definição dos Parâmetros da Função Custo

Um indivíduo é definido como um vetor de parâmetros a ser otimizado, os quais inicializam o processo. Se o indivíduo tem N_{par} parâmetros dados por $p_1, p_2, p_3, \dots, p_{N_{par}}$, então os indivíduos são escritos como um vetor com $1 \times N_{par}$ elementos. Os parâmetros $p_1, p_2, p_3, \dots, p_{N_{par}}$ são conhecidos como cromossomos de um dado indivíduo. Cada indivíduo possui um custo, o qual é determinado pela avaliação da função custo $F = f(p_1, p_2, p_3, \dots, p_{N_{par}})$.

2.2 População Inicial

Uma matriz representa a população inicial de N_{ipop} indivíduos, com cada linha da matriz representando um indivíduo em particular, o qual possui N_{par} cromossomos. Esta matriz da população inicial com $N_{ipop} \times N_{par}$ cromossomos é formada aleatoriamente. Cada cromossomo em um dado indivíduo é calculado de acordo com a seguinte equação:

$$Cromossomo(i, j) = l_{inf} + (l_{sup} - l_{inf}) * random(0, 1) \quad (1)$$

onde: $1 \leq i \leq N_{ipop}$; $1 \leq j \leq N_{par}$; $random(0, 1)$ é uma função randômica que gera números randômicos entre 0 e 1; l_{inf} é o limite inferior do intervalo de validação do cromossomo; l_{sup} é o limite superior do intervalo de validação do cromossomo.

Uma maior população inicial de indivíduos permite que o algoritmo avalie melhor a função custo. O tamanho da população inicial e o número de gerações que o algoritmo precisa para convergir são dados importantes na condução da técnica de Algoritmos Genéticos.

2.3 Seleção

O objetivo do operador seleção consiste em escolher os indivíduos da referida população que criará novos indivíduos para a próxima geração, e quantos novos indivíduos serão criados. Neste estudo foi empregado o método de seleção da "roleta". Com a criação da população inicial de indivíduos e a avaliação de cada um desses indivíduos através da função custo, os N_{ipop} indivíduos e seus custos associados são ranqueados do menor custo para o maior custo. Para as populações de indivíduos seguintes, as quais serão geradas ao longo do processo computacional, o número de indivíduos N_{pop} dessas gerações seguintes é geralmente menor que o número de indivíduos definido na população inicial. Alguns dos melhores indivíduos da população inicial (N_{bons}) são então selecionados para reprodução, a depender da taxa de reprodução. Com a geração dos novos indivíduos (N_{novos}), através do operador reprodução, uma população temporária composta dos indivíduos anteriormente criados e dos novos indivíduos é considerada, quando então os piores indivíduos dessa população temporária são removidos. A partir de então o tamanho da população de indivíduos em cada geração fica constante (N_{pop}). Dos N_{pop} indivíduos de cada geração, N_{bons} indivíduos são selecionados para reprodução. Vários pares de indivíduos são selecionados de forma aleatória, antes do operador reprodução ser aplicado. Cada par de indivíduos produz dois novos indivíduos, os quais possuem traços de cada um dos pais, os quais também podem fazer parte da próxima geração. Esse processo de seleção natural é aplicado a cada iteração do algoritmo para permitir que a população de indivíduos evolua de forma a gerar aqueles que possuem o melhor custo [2].

O método de seleção da "roleta" assinala probabilidades aos indivíduos no processo de reprodução, de acordo com a função custo. Um indivíduo com o melhor valor da função custo terá maior probabilidade para reproduzir. Para o cálculo dessa probabilidade, um número aleatório determina o indivíduo a ser selecionado. Esse método permite a seleção do indivíduo n baseado na definição da probabilidade relativa. A probabilidade relativa é um valor que representa a probabilidade de um indivíduo ser selecionado para reprodução, a qual é calculada pela equação:

$$R_{fit\ n} = Fit_n / \sum Fit_i, \text{ para } 1 \leq i \leq n \quad (2)$$

onde: R_{fitn} é a probabilidade do indivíduo n , calculada em função da soma de todos os custos da população inteira; Fit_n é o custo do indivíduo n .

Procedendo o ranqueamento de todos os indivíduos de uma dada população, com suas respectivas probabilidades relativas, calcula-se a probabilidade acumulada para cada indivíduo através da equação:

$$C_{fitn} = \sum R_{fiti}, \text{ para } 1 \leq i \leq n-1 \quad (3)$$

onde: C_{fitn} é a probabilidade acumulada do indivíduo n ; e R_{fiti} é a probabilidade relativa do indivíduo i .

A probabilidade acumulada de cada indivíduo é usada para a seleção do indivíduo a ser um “pai” no processo de reprodução. O procedimento inclui o sorteio de um número randômico entre zero e um, a partir do qual, começando do topo da lista de indivíduos, busca-se o primeiro indivíduo com uma probabilidade acumulada maior que o valor do número randômico gerado. Este procedimento ocorre um certo número de vezes, a depender da probabilidade de reprodução, que é um dado de entrada para o algoritmo.

2.4 Reprodução

O operador reprodução permite a criação de novos indivíduos a partir de pares de indivíduos selecionados no processo de seleção. A reprodução é o primeiro passo do Algoritmo Genético no sentido de explorar a função custo. Quando do uso de Algoritmos Genéticos de ponto flutuante, o qual é o método computacional empregado neste artigo técnico, muitos procedimentos diferentes têm sido utilizados. Michalewicz (1996) apresenta alguns procedimentos interessantes para reprodução [2]. Nesse artigo técnico foi empregado o procedimento de cruzamento linear.

Nos Algoritmos Genéticos de ponto flutuante os valores dos cromossomos de dois indivíduos “pais” são combinados para formar novos valores de cromossomos, que por sua vez formarão os novos indivíduos. Wright, 1991 [4], usou as equações a seguir para combinar os valores dos cromossomos dos indivíduos “pais” para então obter dois novos cromossomos para os dois novos indivíduos.

$$\begin{aligned} C_{novo1} &= \beta * c_{p1n} + (1 - \beta) * c_{p2n} \\ C_{novo2} &= (1 - \beta) * c_{p1n} + \beta * c_{p2n} \end{aligned} \quad (4)$$

onde: β é um número randômico entre zero e um; c_{novo} é o n -ésimo cromossomo de um novo indivíduo; c_{p1n} é o n -ésimo cromossomo de um dos indivíduos “pai”; e c_{p2n} é o n -ésimo cromossomo do outro indivíduo “pai”.

Observa-se através das equações acima, que o cromossomo correspondente no segundo novo indivíduo formado é o complemento do respectivo cromossomo no primeiro indivíduo formado com o uso do operador reprodução. Este método levou a bons resultados em várias otimizações de sistemas propostos por Michalewicz [3]. Esse processo de combinação linear é realizado para todos os cromossomos do indivíduo, podendo o valor de β ser o mesmo na avaliação de cada cromossomo de um indivíduo “pai”, ou ser diferente para cada cromossomo a ser analisado. Esse método combina a informação dos dois indivíduos “pais” e escolhe valores de cromossomos entre aqueles definidos dentro dos limites estabelecidos para cada cromossomo dos indivíduos “pais”. No caso dos novos cromossomos originados na formação dos novos indivíduos extrapolarem os limites estabelecidos para cada cromossomo, estes serão descartados, mantendo-se, assim, os valores dos cromossomos dos indivíduos “pais” para este ponto do processo em análise.

2.5 Mutação

O objetivo do operador mutação é o de buscar novos pontos no espaço de procura a ser avaliado. Quando o cromossomo de um indivíduo é escolhido para mutação, uma escolha randômica é realizada para alguns dos cromossomos dos indivíduos da população de indivíduos em análise. O número de mutações a ocorrer depende da probabilidade de mutação, valor este definido como um parâmetro de entrada para o algoritmo. O operador mutação é introduzido no Algoritmo Genético para forçar o processo a explorar outras áreas da superfície da função custo. Nesse artigo técnico, o número de cromossomos a sofrer mutação na matriz indivíduos x cromossomos de uma dada população é escolhido tomando-se como base a escolha de dois números randômicos, o primeiro definindo a linha da matriz (seleção do indivíduo), e o segundo definindo qual cromossomo desse indivíduo sofrerá mutação. É relevante salientar que o número de vezes em que este operador atua dependerá da taxa de probabilidade de mutação especificada, a qual deve ser um valor muito pequeno, aqui considerado inferior a 1 %.

A técnica de mutação empregada neste trabalho foi a Mutação Uniforme [3]. A mutação uniforme consiste simplesmente em trocar o valor real do cromossomo por um valor aleatório gerado, que pertença ao espaço de busca em questão. Dado um indivíduo a ser mutado $S = (c_1, \dots, c_m, \dots, c_n)$, escolhido aleatoriamente, um dado

cromossomo c_m , que assume valores dentro dos limites superior e inferior $L_{c_{sup}}$ e $L_{c_{inf}}$, respectivamente, sofrerá mutação gerando um novo indivíduo $S' = (c_1, \dots, c'_m, \dots, c_n)$.

2.6 Elitismo

O elitismo é uma forma de preservar os melhores indivíduos e garantir que estes sejam propagados nas gerações posteriores, garantindo assim que seus cromossomos possam ser compartilhados em futuros indivíduos.

3.0 - A PLANTA HELIOTÉRMICA HÍBRIDA

O projeto heliotérmico analisado nesse Informe Técnico é uma planta híbrida que utiliza a tecnologia de concentradores cilindro-parábola, para o campo solar óptico, com armazenamento térmico, integrada a uma planta de biomassa utilizada tanto como *backup*, quanto para ampliação do fator de capacidade da planta. O empreendimento foi desenvolvido para ter um período de operação de 17 horas, sendo 12 horas para a operação com geração de energia elétrica proveniente do calor produzido pelo campo solar, e um período complementar de 5 horas para operação com geração de energia elétrica a partir do calor produzido pela queima de biomassa.

As características técnicas do campo solar e do bloco de potência estão especificadas a seguir (ver Tabela 1).

TABELA 1 – Características Técnicas da Planta CSP de Calhas Parabólicas

Potência do gerador elétrico	30 MWe
Pressão na caldeira	60 bar
Temperatura na entrada da turbina	360 °C
Pressão no condensador	0,1 bar
Poder Calorífico Inferior do Combustível	18,8 MJ/kg
Custo Estimado da Biomassa	3,46 R\$/GJ
Custo do Investimento em R\$/kWe	6.000,00 R\$/kWe
Taxa de Juros	8,4%
Amortização	16 anos
Fator de Capacidade	70%
Período de Operação	17 horas (12 horas de sol e 5 horas de biomassa)

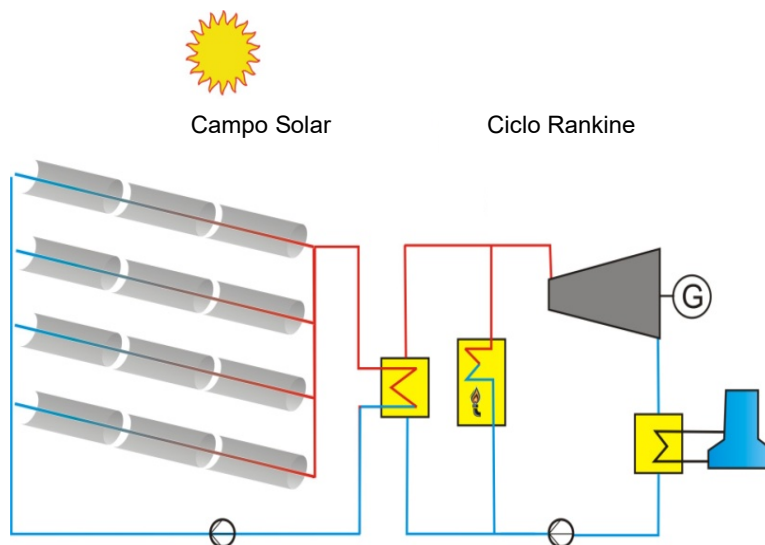


FIGURA 1 – Planta CSP de Calha Parabólica

O diagrama esquemático da planta híbrida com tecnologia CSP envolve o campo solar, formado pelos strings de calhas parabólicas, e o bloco de potência, representado por um ciclo termodinâmico convencional, o Ciclo Rankine, conforme mostrado na Figura 1.

3.1 O Campo Solar

O campo solar é constituído por concentradores de espelhos cilindro-parábola que refletem os raios solares incidentes, concentrando-os no foco, em um tubo absorvedor de calor que contém em seu interior um fluido térmico. Um fluido térmico amplamente utilizado na maioria das plantas heliotérmicas existentes no mundo, é constituído de uma mistura de bifenil e óxido difenil.

Os sistemas parabólicos de alta concentração atingem temperaturas bastante elevadas, limitadas a 500 °C por restrição do tubo absorvedor. Os índices de eficiência variam entre 22% e 25% de aproveitamento da energia solar incidente sobre eles.

A Figura 2 a seguir apresenta um desenho esquemático típico da calha parabólica que compõe os vários strings do campo solar de concentradores (ver Figura 2).

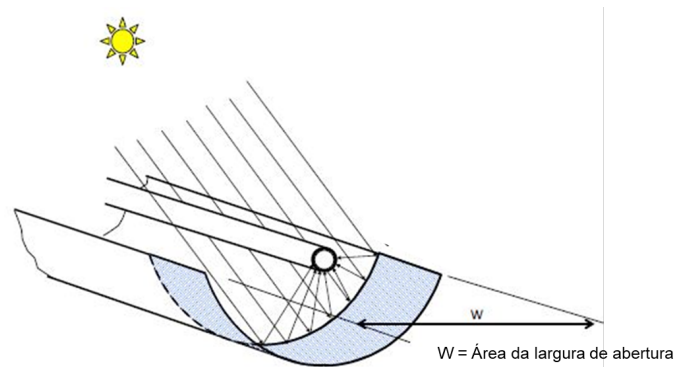


FIGURA 2 – Desenho Esquemático da Calha Parabólica

3.2 A Complementação da Geração de Energia Elétrica

A complementação da geração de energia elétrica será feita a partir da queima simples da biomassa em uma caldeira. Os gases quentes provenientes da queima do combustível circulam externamente aos tubos, cedendo calor à água contida no interior dos mesmos, com eficiência da ordem de 85%.

4.0 – OBTENÇÃO DO VALOR DA ENERGIA GERADA

Para o cálculo do custo mínimo da energia gerada foi utilizada a técnica de Algoritmo Genético apresentada na seção 2.0 desse Informe Técnico.

A função custo foi definida pelas equações 5 e 6, e o desempenho do Algoritmo Genético está apresentado na Figura 3, a seguir.

$$\text{Função Custo} = \text{Custo}_{\text{Investimento}} + \text{Custo}_{\text{Combustível}} + \text{Custo}_{\text{O\&M}} \quad (5)$$

$$\text{Custo}_{\text{Combustível}} (\text{R\$/kWh}) = \text{Custo}_{\text{Combustível}} (\text{R\$/GJ}) * 0,0036 / \eta_{th} \quad (6)$$

Considerou-se para o custo de operação e manutenção da planta heliotérmica um percentual de 10% do valor do custo de investimento.

Os valores do fluxo de combustível (biomassa), da eficiência térmica do ciclo termodinâmico e do custo anualizado da energia gerada estão apresentados na Tabela 2, a seguir.

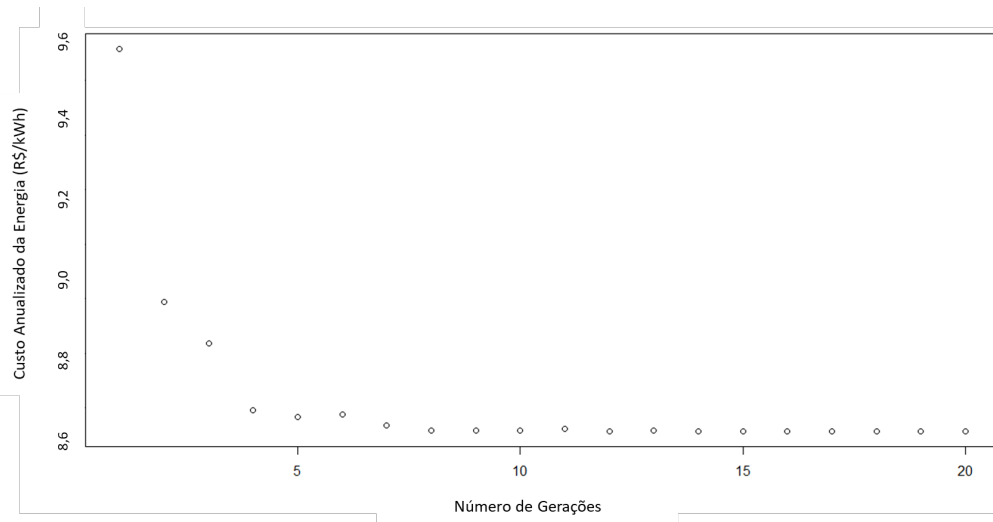


FIGURA 3 – Desempenho do Algoritmo Genético para o Estudo

TABELA 2 – Dados obtidos com o uso do Algoritmo Genético

Fluxo de massa de biomassa	6,125 kg/s
Eficiência Térmica do Ciclo Rankine	30,65%
Custo Anualizado da Energia Gerada	8,65 R\$/kWh

5.0 – CONCLUSÃO

A avaliação técnico-econômica de uma planta heliotérmica híbrida faz-se interessante para determinar a viabilidade comercial da tecnologia e a complementaridade com a biomassa na geração de eletricidade. As plantas heliotérmicas possuem uma restrição em sua capacidade de geração, que são principalmente os ciclos dia / noite, e alguns períodos esparsos de insolação reduzida (dias nublados). Operando a planta heliotérmica com a queima de biomassa, tem-se uma redução das restrições de operação. É importante que seja estudado em detalhe o custo e os riscos associados com o fornecimento contínuo de grandes quantidades de um combustível de biomassa sazonal.

A dinâmica térmica do sistema, para que o funcionamento seja melhor otimizado, e as perdas em operação de carga parcial constituem dois fatores críticos a serem melhor investigados.

A aplicação do Algoritmo Genético implementado tem um processo de seleção básico onde os indivíduos são ordenados pela sua Função Custo e a probabilidade de cada indivíduo é determinada pelo valor da sua Função Custo.

As principais vantagens do Algoritmo Genético proposto são o bom resultado apresentado e a sua extrema facilidade de implementação, não requerendo algoritmos matemáticos complexos, constituindo uma ferramenta poderosa para uso em processos de otimização em sistemas de potência.

6.0 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) David E. Goldberg, "Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning", Reading, Massachusetts, Addison Wesley, 1989.
- (2) Randy L. Haupt and Sue Ellen Haupt, "Practical Genetic Algorithms" - John Wiley & Sons, Inc., Second Edition, 2004.
- (3) Zbigniew Michalewicz, "Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs" - Third, Revised and Extended Edition", Springer-Verlag, 1996.
- (4) Wright, A. "Genetic Algorithm for Real Parameter Optimization", Department of Computer Science, University of Montana, Missoula, Montana 59812, 1991.

(5) Linden, Ricardo; Algoritmos Genéticos – Uma Importante Ferramenta da Inteligência Computacional – Editora Ciência Moderna, 3ª. Edição, 2012.

(6) Tiba, C.; Fraidenraich, N.; Lyra, F. J. M.; Nogueira, A. M. B.; Atlas Solarimétrico do Brasil – Banco de Dados Terrestres – Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, Companhia Hidro Elétrica do São Francisco – Chesf, Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento ANEEL/CHESF/UFPE, Editora Universitária da UFPE, 2000.

(7) Melo, F. E. de; Carvalho, P. C. M. de; Avaliação de Potencial Solar da Região Nordeste do Brasil: Estudo de Caso para Parnaíba (PI) e Maracanaú (CE); V CBENS, 2014, Recife - Brasil.

(8) Lovegrove, K.; Concentrating Solar Power Technology: Principles, Developments and Applications; Woodhead Publishing Series in Energy – 2012.

(9) Crawford, Mark; “Catching the Sun”, Magazine of The American Society of Mechanical Engineers – ASME, Março de 2013, páginas 32 a 37.

7.0 – DADOS BIOGRÁFICOS



Alcides Codeceira Neto possui MSc e PhD em Engenharia Mecânica pela Cranfield University - Inglaterra, na área de Ciências Térmicas, é professor da Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco - UPE e Engenheiro da Assessoria de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (AEP) da Chesf.

Eduardo de Aguiar Sodré possui DSc em Engenharia Elétrica pela UFCG, é professor da Escola Politécnica de Pernambuco - UPE e Engenheiro do Departamento de Engenharia de Geração Eólica (DEGE) da CHESF.

José Bione de Melo Filho possui DSc em Tecnologias Energéticas Nucleares pela UFPE, é professor do Instituto Federal de Pernambuco – IFPE e Gerente da Assessoria de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (AEP) da Chesf.