

UTILIZAÇÃO DE SOFTWARE CAD E CAE NO DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO SUSTENTÁVEL PARA AQUECIMENTO DE ÁGUA

USE OF SOFTWARE CAD and CAE IN PRODUCT DEVELOPMENT FOR SUSTAINABLE WATER HEATING

Jorge Henrique Sales; George W. L Nobre Filho; Everton Costa Santos
Universidade Estadual de Santa Cruz – UESC – Ilhéus/BA – Brasil
jhosales@uesc.br

Resumo

Atualmente a engenharia tem preocupação em desenvolvimento de projetos que atendam as necessidades socioambientais. Neste trabalho, apresenta-se um produto que usa o conceito de sustentabilidade visando auxiliar na ação contra alguns dos problemas ambientais que afetam o planeta, sendo grande parte destes associados ao uso irracional de recursos, como energia e a água. O produto utiliza materiais recicláveis para obter um painel solar, denominado de ASAR (Aquecedor Solar Alternativo por Reflexão) com a função de aquecer água para uso residencial. Com base do método do modelo de referência, foi feita a modelagem e simulação com ferramentas como o CAD e CAE.

Palavras-chave: Projeto do Produto, Sustentabilidade, Coletor Solar.

Abstract

Currently engineering concern has development projects that met the needs of socio-environmental. In this paper, we present a product that uses the concept of sustainability in order to assist in the lawsuit against some of the environmental issues affecting the planet, most of these being associated with the irrational use of resources such as energy and water. The product utilizes recyclable materials for a solar panel, called ASAR (Alternative Heater by reflection) with the function of heating water for residential use. In modeling and simulation tools have been used as the CAD and CAE.

Key-words: Product Design, Sustainability, Solar Collector.

1. Formatação geral

O conceito de engenharia sempre esteve aliado ao desenvolvimento de projetos e produtos. Os primeiros projetos podem ser apontados ainda na pré-história quando o ser humano desenvolveu invenções fundamentais como a polia, a alavanca e a roda, buscando atender as necessidades da época. Cada uma destas invenções é consistente com a moderna definição de engenharia, explorando princípios básicos para desenvolver ferramentas e objetos utilitários que supram a necessidade das pessoas. (OLIVEIRA, 2004).

Atualmente essas necessidades estão associadas às questões ambientais que tem estimulado o desenvolvimento de produtos mais sustentáveis e neste sentido as empresas tem visto nesta área a oportunidade de se consolidar no mercado e para tal, o investimento em inovação torna-se essencial, sendo assim segundo Henriques, et. al. (2005) para que exista inovação é necessário dominar de forma criativa, diversas competências na área da engenharia e da tecnologia, possuindo uma eficaz percepção das necessidades e requisitos do mercado.

Nesse sentido o desenvolvimento de novos produtos, sempre foi uma atividade que exigia bastantes recursos, necessitando de tempo e alto investimento, Nakamura et. al. (2003-2004) explica que mitos aspectos não eram analisados, poucas alternativas de projeto eram considerados e coeficientes de segurança muito altos resultavam em estruturas superdimensionadas. Com o surgimento de uma nova tecnologia voltada para o desenho e simulação o projetista ficou livre do trabalho braçal, aumentando sua capacidade criativa e focando apenas nas atividades de projeto, o resultado disto foi uma melhoria na qualidade do produto final.

Outro fator que é bastante discutido é a utilização de energias limpas, que é vantajosa tanto pelo lado ambiental quanto pelo econômico, como exemplo, destaca-se a energia eólica e a solar, esta última será o foco deste artigo, que abordará o desenvolvimento de um painel para aquecimento de água, denominado de ASAR (Aquecedor Solar Alternativo por Reflexão de Raios Solares) desenvolvido por Faria et al. (2007) e Sales (2009) e que se encontra sobre a patente PI0711521-0.

Segundo Fantinelli (2006) o uso desses coletores solares por famílias de baixa renda permitiria uma redução média de 35% no uso de energia elétrica, correspondendo a uma redução de 56% a 71% nos gasto com energia.

Este aquecedor é um produto desenvolvido por meio de reaproveitamento de latas de alumínio e usando a energia solar como fonte energética (Faria et al., 2007). Com aplicação do modelo de referência, que utiliza ferramentas CAD (*Computed Aided Design* ou Desenho Assistido por Computador)/ CAE(*Computer Aided Engineering* ou Engenharia Auxiliada por Computador) para verificar a viabilidade do aquecedor, observando a modelagem do protótipo e relações de troca

de calor no sistema. Por fim o desenvolvimento do protótipo-produto, com a realização de testes para obtenção da melhoria dos resultados modelados

2. Sistemas CAD/CAE

Nesse sentido o artigo propõe projetar um aquecedor solar de baixo custo, que atenda as necessidades do mercado e as expectativas do consumidor.

Nakamura et. al. 2003, cita os sistemas CAD (Computed Aided Design ou Desenho Assistido por Computador), CAE (Computer Aided Engineering ou Engenharia Auxiliada por Computador), como importantes ferramentas para a viabilização de um projeto de produto em tempos reduzidos, oferecendo oportunidade para simulação e redução dos custos na fase de desenvolvimento do produto.

Segundo Kao e Lin (1996, apud Álvares e Ferreira, 2003), estes sistemas foram desenvolvidos durante a década de 70, tendo sua funcionalidade baseada no ambiente computacional. Passadas mais de quatro décadas a tecnologia CAD/CAE tem obtido sucesso em aplicações industriais tendo como resultado uma aumento significativo na produtividade e competitividade.

O sistema CAD é um método computacional bastante utilizado principalmente no desenvolvimento de projetos de Engenharia e Arquitetura. Esta ferramenta consiste em um software voltado ao desenho técnico, reunindo diversas ferramentas destinadas aos mais variados fins (AMARAL E FILHO, 2010).

Enquanto que o sistema CAE é uma ferramenta que analisa e processa cálculo de forma a minimizar esforços braçais do engenheiro, se preocupando menos com a parte operacional e mais com a questão estratégica, fazendo do CAE uma ferramenta poderosa para redução de custos de um projeto e minimizando tempo para o lançamento de um produto. (AMARAL E FILHO, 2010).

Em relação à plataforma CAD, foi utilizado o software *Solidworks* para modelagem tridimensional do protótipo e em relação ao CAE, foi utilizado o *Comsol* para realização de simulações de troca de calor.

3. Teoria: coletor solar

O uso da energia solar é uma fonte de recursos inesgotável tanto como fonte de calor quanto de luz, e é hoje, uma das principais alternativas energéticas para superar os desafios dos próximos anos. Nesse sentido o Sol é responsável pela origem de praticamente todas as outras fontes de energia. (CREASESB, 2006)

Hoje, uma das formas mais eficazes de aproveitamento da energia solar é utilizando painéis para aquecimento de água, que segundo a ANEEL (2012) o uso desta tecnologia ocorre predominantemente no setor residencial, sendo o coletor instalado no teto das residências e edificações e a depender da necessidade e da incidência solar, haverá a necessidade de instalação de vários coletores.

Segundo dados da DASOL (2012) o Brasil tem um grande potencial para o uso da energia solar, possibilitando um grande crescimento do setor de aquecimento. No ano de 2010, ultimo registro computado, a produção brasileira de coletores solar cresceu 21,1% e esta evolução pode ser percebida a partir do ano de 2002, tendo um crescimento ano após ano. Ainda segundo esse estudo a área acumulada de aquecedores solares no Brasil chegou a 6,24 milhões m².

Apesar do crescimento do uso destes coletores solares, este equipamento ainda possui um valor elevado chegando a custar em média R\$ 2.500,00 dificultando a aquisição por boa parte da sociedade, nesse sentido uma série de painéis alternativos tem surgido como forma proporcionar a famílias de baixa renda uma melhoria na sua qualidade de vida.

Exemplos destes coletores são os fabricados com materiais recicláveis como garrafas pet, caixa de leite, placas de forro PVC e até mesmo de lâmpadas fluorescente, no caso deste projeto o diferencial em relação aos demais é o uso de latas de alumínio.

Neste artigo apresenta-se um coletor de latas que tem dimensões aproximadas de 1m x 1m, composto por uma disposição de 7x11 latas em um total de 77, o sistema ainda tem uma peça de madeira pintada na cor preta de forma a absorver calor. Com uma chapa transparente, fecha-se o sistema, para estimular o efeito estufa e assim favorecer o aumento da temperatura da água. A caixa d'água recebe a água vinda da rua e a envia por meio de tubos PVC para o painel. No painel os raios solares se refletem (fenômeno da reflexão) nas latas de alumínio, que são direcionados aos tubos de PVC no foco das latas para assim aquecer a água que recebem a energia em forma de calor. Após a passagem da água pelo coletor, esta já aquecida é acumulada em um reservatório denominado boiler, esta água vai direto para o chuveiro e o usuário pode regular a temperatura por meio de registro de água fria que sai da caixa d'água convencional e de água quente do boiler. Ainda existe a opção em manter o chuveiro elétrico, como forma de temperar a água em dias nublados.

Devido à forma parabólica, a transferência de calor ocorre por reflexão de superfície, com isso a energia solar é concentrada em regiões centrais denominadas de focos, ficando expostas as radiações muito intensas. Com este fenômeno o painel é capaz de atingir temperaturas superiores aos coletores planos.

Segundo Incropera (1998, apud Veracci, 2008) a lata de alumínio cortada tem propriedades parecidas ao espelho parabólico, devendo possuir características bem definidas, para otimizar a reflexão da energia solar para o foco da parábola, cuja equação é dada por.

$$y = \frac{1}{4F} x^2, \quad (1)$$

onde $F = \frac{1}{2} R$ é o foco da parábola da lata de alumínio, R é o raio da lata, y é o eixo paralelo ao foco e perpendicular a x como mostra a figura 1.

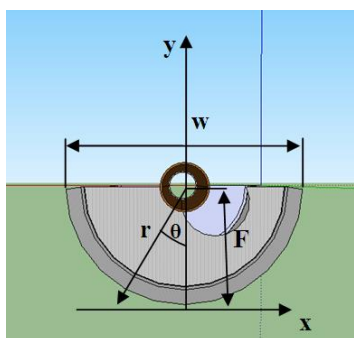


Figura 1- Visualização do foco da lata de alumínio
Fonte: Sales (2012)

A eficiência da absorção é dada pela razão entre as potências, conforme a equação,

$$\eta = \frac{P}{P_{total}}, \quad (2)$$

sendo

$$P = \left. \frac{dm}{dt} \right|_{\text{água}} c_{\text{água}} \Delta T, \quad (3)$$

onde P é a potência instantânea absorvida pela água, c calor específico da água e ΔT é a variação da temperatura e:

$$P_{total} = I_{sol} A_{lata}, \quad (4)$$

P_{total} é a potência instantânea disponível da radiação global incidente sobre a área da lata de alumínio, I_{sol} é a radiação solar global (W/m^2) e A a área da lata.

4. Resultado da modelagem: coletor solar

Nesta etapa, torna-se necessário avaliar e determinar as características que sejam fundamentais para o produto. No caso do painel será feito um estudo em relação a potencia e a variação de temperatura para que seja possível estimar a quantidade de painéis necessários.

Segundo Sales (2009), “o sol em média transfere uma radiação de 1410 w/m² para a terra, desse valor 19% é absorvido pela atmosfera, 35% refletido pelas nuvens e 45% seria aproveitado para o painel solar.” Portanto, $I_{\text{latinha}} = 634,5 \frac{W}{m^2}$ que é radiação incidente na latinha.

A lei de Stefan-Boltzmann, para o corpo negro, é dada por:

$$I = \sigma T^4 \quad (5)$$

onde σ é uma constante que no sistema SI é dada por:

$$\sigma = 5,67 \times 10^{-8} W/m^2 K^4$$

No entanto, o corpo aqui considerado não se comporta como o corpo negro, e a Lei de Stefan-Boltzmann só se verifica para o emissor perfeito. Para descrever corpos reais necessita de uma modificação. Assim:

$$I = e \cdot \sigma \cdot T^4 \quad (6)$$

O valor da emissividade (e) do alumínio (medida da capacidade de um objeto em absorver, transmitir e emitir a energia infravermelha, podendo ter um valor de 0,0 para o espelho brilhante até 1,0 para o corpo negro) é de 0,6.

Usando Eq.(6), tem-se para a temperatura na latinha e podendo atingir até **96,55°C**. Importante lembrar que a localização geográfica do painel não está sendo considerada.

A partir destes dados foi calculada inicialmente a potência do painel. Mas, antes é necessário o cálculo a área interna da latinha A_i , pois é a sua parte interna que reflete a radiação para o tubo de PVC. A área interna é:

$$A_i = \frac{2\pi r h}{2} \quad (7)$$

onde:

- A_i é a metade da área (interno) do cilindro;
- r é a distância que as bordas laterais do cilindro têm para o centro, ou seja, 3,35cm;
- h é a altura do cilindro com 12,4 cm.

Resultando:

$$A_i = 130,43 \times 10^{-4} m^2 \quad (8)$$

calculado a área para apenas uma latinha, obtemos a potência para a mesma,

$$P_{\text{latinha}} = I_{\text{latinha}} \cdot A_{\text{latinha}} \quad (9)$$

portanto, tem-se;

$$P_{\text{latinha}} = 8,27 \text{ W} \quad (10)$$

o painel (1x1m) que será projetado com 77 latinhas de alumínio, com uma potência total;

$$P_{\text{painel}} = 77 \times P_{\text{latinha}} \quad (11)$$

ou seja,

$$P_{\text{painel}} = 637,23 \text{ W} \quad (12)$$

Comparando com um chuveiro elétrico em média 5.000 W, temos uma potência 7,8 vezes maior que um painel, ou seja, um rendimento de 12%. Então, 5 painéis seria um número promissor para uma boa eficiência comparado ao chuveiro elétrico de baixa potência de 3700 W (Tabela INMETRO). Portanto, 5,78 vezes a potência do painel de latinha.

Por conveniência, uma análise para a vazão é necessário à transformação de Watts, para Cal/s. Como 1 Watts equivale a 1 Joule/s, então basta dividir o valor do Watts por 4,18, portanto:

$$P_{\text{painel}} = 152,44 \text{ Cal} \quad (13)$$

No cálculo da vazão, será obtido o acréscimo da temperatura para vazão de 100g/s, em média, para um chuveiro.

$$\Delta T = \frac{P_{\text{painel}}}{c_{\text{água}} \cdot \frac{dm}{dt} |_{\text{água}}} \quad (14)$$

Com resultado

$$\Delta T = 1,52 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (15)$$

Essa temperatura é o ganho que a água tem a cada segundo. No caso do chuveiro elétrico, de baixa potência, essa elevação na temperatura é 8,85 °C. Mais uma vez, para atingir uma eficiência de um chuveiro elétrico precisamos de 5,52 vezes a temperatura do painel. Isso é atingido com a construção de 5 painéis.

Uma das partes fundamentais do projeto é a etapa do desenho e simulação, nesta será apresentado à modelagem do produto, com a definição de suas dimensões e o design, para então

partir para a etapa de simulação que trará resultados teóricos mais confiáveis, que devem representar a realidade de funcionamento do protótipo.

Na primeira etapa da modelagem, foi utilizado o Solidworks para desenho em três dimensões do painel (figura 2). Na segunda etapa foi utilizada uma ferramenta de importação do software Comsol, e em seguida foram desenvolvidas simulações de transferência de calor, nesse sentido por meio de constantes de emissividade e com definições de temperatura inicial.

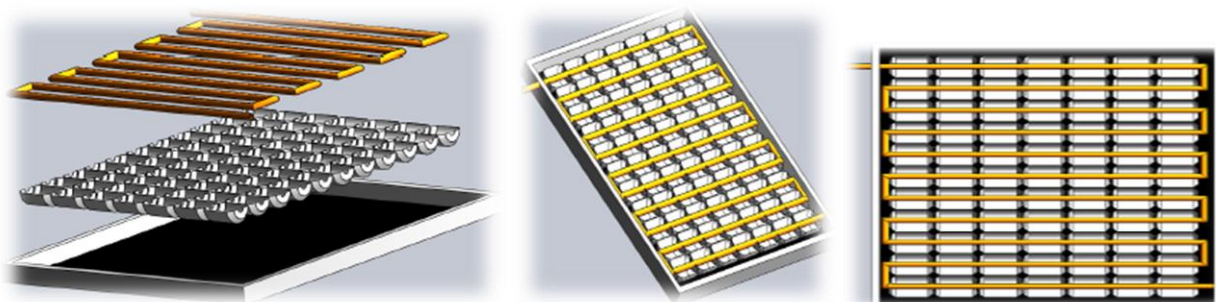


Figura 2 - Modelagem do painel solar via *Solidworks*

Fonte: Sales (2012)

Na etapa de simulação, o sistema foi reduzido devido à falta de recursos computacionais para obtenção de resultado de simulação. Com isso observa-se o efeito da simulação, em regime estacionário, para o coletor composto por apenas uma lata de alumínio, conforme a figura a seguir:

A primeira simulação (figura 3) foi feita com a exposição do sistema a baixa radiação, por exemplo, aquela de manhã cedo e/ou a do final da tarde, em que o sol não teria insolação o suficiente para aquecimento do painel.

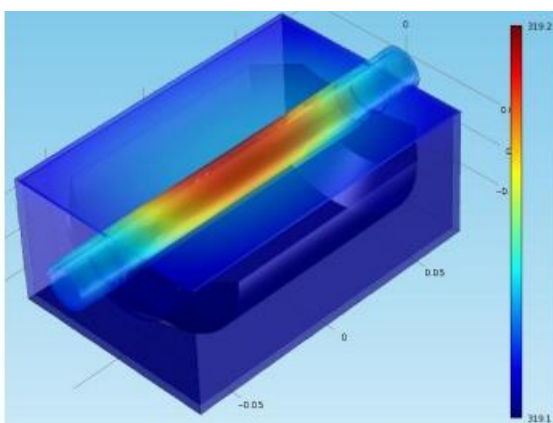


Figura 3 - Resultado de simulação para baixa insolação

Fonte: Sales (2012)

Observa-se que o painel não consegue absorver calor suficiente, porém devido ao efeito da reflexão, a tubulação ainda consegue um ganho térmico superior ao restante do sistema.

A segunda simulação (figura 4) foi feita com uma radiação mais intensa, seria responsável pelo aquecimento total do painel.

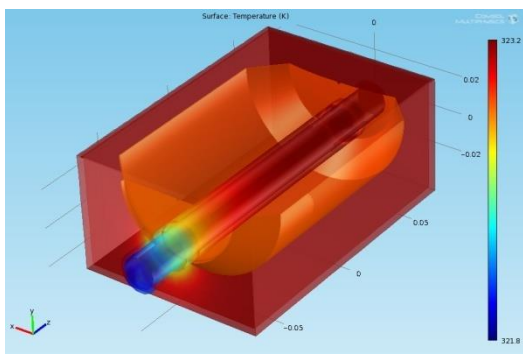


Figura 4 - Resultado de simulação para alta insolação

Fonte: Sales (2012)

Nesta simulação observa-se que a caixa de madeira absorve melhor o calor em relação ao tubo de PVC, ainda percebe-se que o tubo de PVC por estar no foco da lata ainda é mais aquecido devido à transferência de calor por reflexão. Outro ponto é a diferença de temperatura na entrada do sistema, azul, em relação à saída, vermelho. Isso é justificado por causa da entrada de água no sistema que está com temperatura ambiente. Na saída, por causa da troca de calor dentro do sistema, a água ganha energia e conseqüentemente a aumento da sua temperatura, em vermelho.

5. Protótipo

A figura 5, mostra um detalhamento do protótipo, que foi construído basicamente com latas de alumínio, tubo de PVC de ½” e madeirada de compensado. Para provocar o efeito estufa dentro do painel optou-se por utilizar uma superfície transparente que inicialmente seria o vidro, porém para evitar a quebra do mesmo, utilizou-se o acrílico. Uma das formas que se encontrou para favorecer o aquecimento do sistema, foi pintando a madeira e a tubulação de preto, estimulando a absorção de calor.



Figura 5 - Protótipo do coletor solar

Fonte: Sales (2012)

Esta é a fase final para transformar o protótipo em produto, em que foram realizados testes como mostrados na figura 6 Para analisar a viabilidade, o painel foi instalado no telhado de uma residência e feito medições de hora em hora para verificar a variação de temperatura da água que

saía da torneira. O período foi definido entre às 06h00min e as 18h00min, em que o sol ainda se encontra visível na residência, fornecendo a energia necessária para aquecimento da água.



Figura 6 - Testes com o coletor solar

Fonte: Wilson Filho (2012)

O teste foi realizado no dia 28 de outubro de 2012, seguindo as previsões do climatempo para a temperatura ambiente. No gráfico da figura 7, é mostrada a variação de temperatura no período.

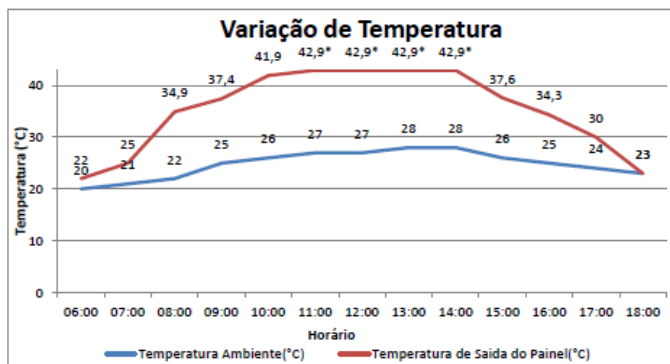


Figura 7 - Resultados obtidos da coleta de amostra do coletor solar

Fonte: Wilson Filho (2012)

A temperatura do painel variou de acordo com o crescimento da temperatura ambiente e em relação à angulação do sol função do painel. Os horários de maiores picos foram das 11h00min até às 14h00min, neste período as temperaturas registradas foram superiores a temperatura máxima do termômetro que só chega até 42,9°C. No período das 15h00min foi quando começou a se registrar uma queda no aquecimento de água, o principal motivo para isso foi à presença de nuvens que fizeram sombra no painel. Após as 15h00min o sol começou a se pôr e a temperatura reduziu drasticamente, até que voltasse a acompanhar a temperatura ambiente.

6. Conclusão

Com o software Solidworks, baseado em plataforma CAD, foi feita a modelagem e com o software Comsol, plataforma CAE, foi realizada a simulação, teoricamente essas ferramentas comprovaram a eficiência do painel por meio de relações de troca de calor. Com os cálculos que foram apresentados, observou-se que um painel composto de 77 latinhas tem uma potencia em

torno de 637,23 W, o que para atingir uma potencia próxima ao de um chuveiro elétrico, necessita de cinco painéis e que seu valor unitário fica na faixa de R\$ 160,00. Foi feito também um estudo prático com a construção do protótipo e da realização de testes, sendo verificado que o painel atingiu temperaturas superiores a 42,9°C, podendo proporcionar uma melhoria na qualidade de vida das famílias e redução na sua conta de energia. Estes resultados comprovam que o objetivo foi alcançado e que o painel é viável.

Referências

ÁLVARES, J.A; FERREIRA, J.C.E. **Uma metodologia para integração CAD/CAP/CAM voltada para manufatura remota de peças rotacionais via web.** Doutorado. UNB, 2003.

AMARAL, RENATO. FILHO, ARMANDO. **A Evolução do CAD e sua Aplicação em Projetos de Engenharia. Nono Simpósio de Mecânica Computacional.** São João Del-Rei, 2010.

ANEEL. **Energia Solar.** Disponível em http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar%283%29.pdf

CREASESB. **Energia Solar princípios e aplicações.** CEPEL, 2006. Disponível em http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial_solar_2006.pdf

DASOL **Dados de mercado dos aquecedores solar,** 2012. Disponível em <http://www.dasolabrava.org.br/informacoes/dados-de-mercado/>.

FANTINELLI, J. T. **Análise da evolução de ações na difusão do aquecimento solar de água para habitações populares: estudo de caso em Contagem – MG.** Disponível em <http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=vtls000381362>

FARIA, P. H; VERRACI, M. H. e SALES, J. H. O. **Acumulador de Energia para Aquecimento de água,** Boletim Técnico da FATEC-SP - BT/ 23 – pág. 104 – Dezembro / 2007.

HENRIQUES, ELSA; PEÇAS, PAULO; SILVA BEATRIZ. **Engenharia do Produto. Instituto Superior Técnico, 2005.** Disponível em [www.dem.ist.utl.pt/~m_gpl/engenharia%20do%20produto.pps](http://www.inf.ufes.br/~falbo/files/MetodologiaPesquisa-Moresi2003.pdf).
<http://www.inf.ufes.br/~falbo/files/MetodologiaPesquisa-Moresi2003.pdf>

NAKAMURA, EDSON ET. AL.. **Utilização de ferramentas CAD/CAE/CAM no desenvolvimento de produtos eletroeletrônicos: vantagens e desafios.** T&C Amazônia, Ano 1, no 2, Jun de 2003.

NAKAMURA, ET; AUCAR JUNIOR, J.J. M; ZANOLLI, J.R; MACHADO, V.W. **.Desenvolvimento de produtos eletroeletrônicos utilizando ferramentas CAD/CAE/CAM.** XXIV Encontro Nac. de Engenheiro de Produção - Florianópolis, SC, Brasil, 03 a 05 de Nov de 2004.

OLIVEIRA, V, **História da Engenharia,** Rio de Janeiro: UFRJ, 2004

SALES, J. H. O.; SUZUKI, A. T. **Plane and Parabolic Solar Panels, UKC 2009, Raleigh. Creative Minds for Global Sustainability.** Raleigh: North Carolina State University, 2009.

VERRACI, M. H. e SALES, J. H. O. **Eficiência do Painel Solar do Tipo Plano,** Boletim Técnico da FATEC-SP - BT/ **25** – pág. 77 – Dezembro / 2008.

Recebido: 28/09/2013

Aprovado: 20/11/2013