

Aplicando modelos matemáticos para decidir a viabilidade da instalação de um aquecedor solar de baixo custo

Applying mathematical models to determine the viability of a low cost solar heating installation

JÚLIO CÉSAR PENEREIRO¹

DENISE HELENA LOMBARDO FERREIRA²

MARIA BEATRIZ FERREIRA LEITE³

Resumo

Este artigo apresenta uma proposta interdisciplinar para ser realizada em uma sala de aula do Ensino Médio ou Superior, envolvendo a exploração do tema fontes de energia. Sugere-se a construção de um aquecedor de água com material de baixo custo para substituir o uso de um chuveiro elétrico convencional. São apresentados alguns modelos matemáticos que buscam auxiliar a tomada de decisão sobre instalar ou não esse aquecedor solar numa residência. Foram elaborados modelos que envolvem funções elementares e levam em consideração os custos da construção do aquecedor solar, os gastos com a utilização do chuveiro elétrico, o número de usuários e o tempo relativo de aquecimento. Os modelos matemáticos são aplicados num contexto real de um programa de economia doméstica para uma família de baixa renda, onde a redução do consumo de energia é importante não apenas em relação ao valor da conta de luz, mas também em relação à sustentabilidade.

Palavras chave: modelos matemáticos; educação ambiental; ensino e aprendizagem.

Abstract

This article presents an interdisciplinary approach to be held in a classroom in the high school or undergraduate students, involving the exploration of the theme of energy sources. We suggest the construction of a water heater with low cost materials to replace the use of a traditional electric shower. We present some mathematical models that seek to assist the decision on whether or not to install the solar heater in a residence. We have elaborated models using elementary functions that take into account the cost of construction of the solar hot-water heater, the costs of using of electrical heater, the typical number of users in home, and the relative heating cycle time. These mathematical models are applied to a real context of a home economic program for a low level income family, where electricity bills savings is not important in itself, but also into relative to the sustainability.

Keywords: mathematics models; environmental education; teaching and learning.

¹ Faculdade de Matemática, CEATEC/PUC-Campinas (SP).
email: jcp@puc-campinas.edu.br

² Faculdade de Matemática, CEATEC/PUC-Campinas (SP).
e-mail: lombardo@puc-campinas.edu.br

³ Faculdade de Matemática, CEATEC/PUC-Campinas (SP).
e-mail: bialeite@puc-campinas.edu.br

Introdução

O atual modelo econômico implantado na maioria dos países do mundo estimula o consumo crescente e irresponsável de bens materiais. Hoje se constata que é imprescindível limitar esse consumo exagerado, pois as pessoas precisam entender que dependem da Natureza para que possam sobreviver. Nesse sentido, é indispensável integrar os recursos naturais a uma análise dos problemas enfrentados pela sociedade moderna, uma vez que, além de limitados, tais recursos são também fundamentais para a conservação da vida no planeta.

Um processo educativo significativo e contextualizado é essencial para que essa conscientização ocorra e, mais do que isso, para que a responsabilidade de cada indivíduo seja ressaltada e compartilhada, buscando o bem comum.

Por um lado, a Educação Ambiental surge como disciplina construída à luz do estatuto da cidadania, no sentido de indicar que a sociedade é responsável pela qualidade ambiental e consequente qualidade de vida, por outro ela constitui um processo educativo, cuja finalidade é desenvolver instrumentos pedagógicos e ampliar a prática educativa para que o homem viva em harmonia com o meio ambiente (BARCELOS; NOAL, 2000). As práticas de Educação Ambiental não devem visar somente a transmissão de conhecimento sobre o meio ambiente, mas também a mudança de comportamento de cada indivíduo e da sociedade. Neste contexto, as disciplinas trabalhadas nas escolas, em todos os níveis, devem fornecer os subsídios necessários que contribuam no sentido de levar os estudantes a refletir, esclarecer e expressar suas impressões e valores quanto ao meio ambiente regional e/ou global.

Ole Skovsmose destaca que a Educação deve favorecer aos estudantes o compromisso crítico com respeito à vida social e política (SKOVSMOSE, 2008). Pode ser esta também a perspectiva da modelagem matemática quando concebida como uma estratégia de ensino e aprendizagem. De acordo com Bassanezi (2002), essa estratégia consiste na arte de transformar situações da realidade em problemas matemáticos, cujas soluções devem ser interpretadas na linguagem do mundo real. A partir dela, os estudantes podem transformar questões inseridas em sua realidade em problemas matemáticos, através da investigação, ação e validação destes. Nesse contexto é possível abordar, no âmbito das aulas de Matemática e Física, questões relacionadas à temática ambiental, em particular as questões energéticas, pois permitem discussões não apenas

de aspectos científicos, mas também de aspectos tecnológicos, econômicos, sociais, políticos, ambientais. Além disso, temas energéticos viabilizam a capacidade de questionamento crítico e, adicionalmente, ampliam o conhecimento sobre o que talvez seja o maior desafio no futuro, produzir energia para toda humanidade.

A relevância da discussão de temas ambientais vem sendo cada vez mais abordada pelos meios de comunicação, o que pode motivar um processo de aprendizagem mais significativo e consciente em todas as áreas do conhecimento. Adicionado a isso, ao analisar o banco de dados do Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP), verifica-se no Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM) aplicados ao longo dos últimos anos, perguntas que tratam de fenômenos que apresentam uma abordagem interdisciplinar. Isso possibilita estabelecer uma relação entre as questões tecnológicas e suas influências nos impactos ambientais causados pela sociedade moderna. (INEP, 2007).

Aproveitar o momento atual para explorar em sala de aula questões envolvendo o tema energia, certamente é uma boa conduta, pois pode relacionar, dentre outros, os aspectos sócio-político, tecnológico e ambiental.

Desta forma, considerando todos esses referenciais, o presente artigo tem como objetivo utilizar a modelagem matemática num problema econômico, ambiental e social, que é a viabilidade de instalar um aquecedor solar ou um chuveiro elétrico convencional numa residência de uma família de baixa renda. Procurou-se estruturar esse artigo da seguinte maneira: na seção 2 são apresentadas algumas considerações relevantes sobre a construção do Aquecedor Solar de Baixo Custo (ASBC), onde se destaca a metodologia desenvolvida e os materiais empregados; na seção 3 são apresentadas algumas simplificações para a aplicação de alguns conteúdos da Matemática e da Física através de cinco propostas que podem subsidiar um indivíduo na escolha entre instalar ou não este dispositivo de aquecimento de água em sua residência, visando principalmente à economia de energia elétrica e a consequente diminuição do valor da conta mensal do respectivo consumo; na seção 4 desencadeia-se uma discussão relacionada às questões levantadas acima podendo ser útil ao professor que se interesse pelo assunto e que deseja explorá-las numa sala de aula, pois envolve os benefícios de substituir o uso do chuveiro elétrico convencional por um ASBC e, finalmente, na seção 5 são feitas algumas considerações finais a respeito da proposta apresentada, principalmente no que

se refere ao posicionamento do professor e seus estudantes diante da exploração das questões energéticas na sala de aula.

1. Metodologia empregada na construção de um ASBC

O Sol é responsável pela origem de praticamente todas as outras fontes energéticas do planeta e, nesta perspectiva, a energia proveniente da nossa estrela e que chega à Terra é ilimitada, pois não há nenhuma forma de energia tão abundante quanto a solar.

Por suas características de fonte renovável não poluidora, como insumo abundante, e sendo o Brasil um país privilegiado no que diz respeito aos valores médios anuais de insolação, a energia solar se impôs como uma das áreas de interesse nacional. Wolfgang Palz verificou que essa forma de energia, com suas múltiplas utilizações, diretas na geração de calor para processos térmicos à baixa temperatura (inferior a 100°C), nas áreas da indústria, agricultura e residencial, têm-se mostrado técnica e economicamente viável em países desenvolvidos e/ou em desenvolvimento (PALZ, 2002). Com relação ao Brasil, a energia solar ainda é de caráter auxiliar, no sentido que vem sendo utilizada apenas na redução do consumo das energias convencionais. Esse uso ainda é muito tímido perante o imenso potencial de insolação que o país possui.

Várias pesquisas mostram dispositivos básicos de captação e energia solar usando coletores planos que são empregados tanto para aquecimento do ar, como da água, em diversas aplicações: industrial, residencial e agrícola (BEZERRA, 1979; DUFFIE, BECKMAN, 1991; PALZ, 2002).

Dentro deste contexto, aliado ao fato da energia solar ser uma energia limpa, busca-se meios alternativos para o aquecimento da água para a utilização em diferentes finalidades. Esse tipo de preocupação culminou no interesse em se desenvolver um sistema protótipo de ASBC, por meio de um dispositivo simples e eficaz. Deu-se preferência pelo emprego de materiais baratos e de qualidade, cujo objetivo foi, se possível, substituir os chuveiros elétricos em habitações populares, pois, como se sabe, eles são os vilões das contas de energia elétrica dos lares brasileiros.

A construção e funcionamento de um coletor solar envolvem uma grande variedade de temas da Física e da Matemática, propiciando uma ótima oportunidade de realizar uma aula interessante, aumentando a efetividade no ensino e aprendizagem dos conceitos trabalhados. Do ponto de vista didático, a ideia é bastante popular no Ensino de Física

sendo que o tema foi tratado em vários trabalhos de Ensino de Ciências (LIMA *et al.*, 1986; PIMENTEL *et al.*, 1989, dentre outros). Entretanto, o ponto comum desses trabalhos é o fato do coletor solar ter sido projetado apenas para demonstração e fins didáticos. Sugere-se o planejamento de uma aula, tanto para alunos do Ensino Médio como Superior, na qual podem ser discutidos temas relacionados à captação, transferência e transformação da energia solar, a comparação de consumo energético entre um aquecedor solar e um chuveiro elétrico, além da viabilidade financeira na instalação de um desses equipamentos em detrimento ao outro.

2.a. Materiais necessários para construção do ASBC

Geralmente, um sistema de aquecimento solar é composto pelas seguintes fases: i) captação da energia solar através de coletores, especialmente desenvolvidos para essa finalidade; ii) aquecimento da água por meio desses coletores solares; iii) transporte da água entre os coletores e um reservatório térmico para armazenar e manter a água aquecida. Sugere-se a construção de um aquecedor empregando materiais de baixo custo, como parte de um projeto escolar que pode resultar em muitas discussões envolvendo tópicos de conteúdos da Física e da Matemática. Na construção desse equipamento empregou-se forro e tubos e conexões em PVC, tinta preta, cola plástica, caixa de água, mangueira plástica, registros, dentre outros materiais. O custo total estimado para construção e operacionalização do equipamento foi de R\$ 427,00. Na medida em que o aquecedor vai sendo construído, sugere-se aproveitar a oportunidade para iniciar uma discussão sobre a importância da geração e uso consciente de todas as formas de energia.

2.b. Construção dos coletores solares

O equipamento aqui proposto é do tipo sistema passivo direto. Neste sistema a água é aquecida diretamente por coletores solares e sua circulação é realizada pelo método do termossifão, ou seja, a diferença de densidade devido à variação de temperatura entre os coletores e o reservatório provoca um gradiente de pressão que coloca o fluido em movimento. A Figura 1 ilustra um esquema desse sistema numa visão frontal, na qual o professor poderia explorar com seus alunos, explicando o princípio de funcionamento do dispositivo.

Com o perfil de PVC extrudado da Figura 2(a) compõe a parte principal do coletor solar plano e pode ser encontrado em qualquer estabelecimento comercial do ramo.

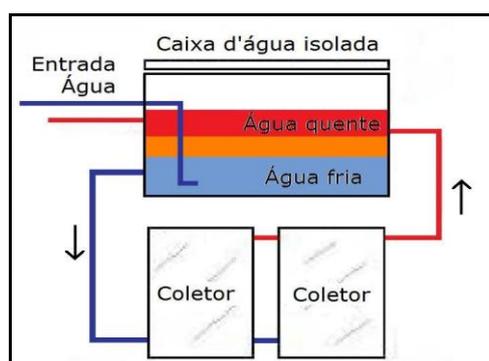


FIGURA 1. Diagrama da montagem de um equipamento do tipo termostato mostrando: os coletores solares, as tubulações de água quente (em vermelho) e água fria (em azul) e o reservatório d'água isolado do ambiente. As setas indicam o fluxo d'água pelo sistema térmico.

Na montagem, feita de forma artesanal, tubos de PVC foram cortados longitudinalmente de forma que abas do perfil de PVC possam ser dobradas para dentro ou até mesmo rompidas. Esses tubos formam o que se chama de cabeça do coletor e são encaixados nas extremidades superior e inferior do perfil de PVC, fixados com adesivo epóxi da marca Araldite, como pode ser visto na Figura 2(b). Este processo apresenta como vantagem o baixo custo para pequenas quantidades e como desvantagem a baixa estanqueidade das bordas coladas, sendo indicado apenas para produção caseira.

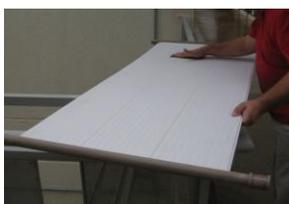
As superfícies do coletor plano foram lixadas (Figura 2c) e pintadas com tinta fosca na cor preta (Figura 2d). Essa pintura foi realizada com um rolo para garantir uma camada de tinta mais espessa, permitindo assim uma maior proteção e durabilidade.



(a)



(b)



(c)



(d)

FIGURA 2. (a) O perfil de PVC extrudado. (b) Seu acoplamento com a cabeça do coletor. (c) Preparo do perfil após colagem das peças. (d) Pintura dos perfis antes de fixá-los na montagem do aquecedor.

Após esses cuidados o coletor plano encontrou-se pronto para ser montado e construir o aquecedor solar. Foram construídos dois coletores idênticos, sendo que cada um desses dispositivos tem a capacidade de aquecer 70 litros de água à temperatura de aproximadamente 45 °C. As dimensões de cada um deles é de 1,46m x 0,61m e o peso total de aproximadamente 1,32kg.

2.c. A montagem do ASBC

Dentre as várias possibilidades, foi escolhido utilizar um reservatório plástico (caixa d'água de PVC de 100 litros) com isolamento térmico (paredes internas em placas EPS – poliestireno expandido – e revestidas com plástico negro) instalado em série com duas placas do coletor solar. Todo sistema é alimentado com água da rede hidráulica controlada por uma bóia comum com prolongador de PVC para evitar possíveis turbilhamentos do fluído no interior do reservatório. Isso assegura que a água fria sempre fique embaixo, enquanto que a água aquecida fica na parte superior do reservatório.

A tubulação da bancada foi feita com tubos, conexões e registros em PVC por apresentarem baixo custo e possuírem flexibilidade, facilitando, portanto, as montagens em curvas. Os dois coletores que compõem o aquecedor solar foram fixados sobre uma bancada metálica que permite o ajuste do ângulo de incidência da radiação solar. A bancada de ensaios foi direcionada para o norte geográfico e o ângulo de incidência foi ajustado para 27° ao meio dia solar (DUFFIE; BECKMAN, 1991; PALZ, 2002). A imagem da Figura 3 mostra o local onde foi instalado o equipamento e a forma final da montagem da bancada de ensaios.



FIGURA 3. Vistas do local onde está operando o equipamento. A bancada de ensaios com os coletores solares e o reservatório em suas formas finais.

Como visto acima, o equipamento proposto é de baixo custo, fácil montagem e viável para que um professor possa realizar essa experiência com os seus alunos, motivando-os à prática científica e ao mesmo tempo reforçando os aspectos relacionados à consciência ambiental diante do atual problema energético. Além disso, a análise dessa viabilidade da proposta requer o enfoque de conteúdos matemáticos e físicos, tais como: funções, gráficos, unidades de medida, temperaturas, energias, potência, dentre outros.

3. Hipóteses simplificadoras para uma abordagem de conteúdos de Matemática na perspectiva da economia de energia

Os Parâmetros Curriculares para o Ensino Médio enfatizam a relevância de atividades interdisciplinares que favorecem uma integração entre os conteúdos escolares e a inclusão de diversas fontes de informação que promovam discussões de temas atuais e diversificados (BRASIL, 1999). Para Monteiro e Pompeu (2001, p. 23), “Educar não se limita a proporcionar informações ao outro, mas sim proporcionar situações em que o uso de informações, sentimentos e valores possibilitem ao educando e ao educador transformar-se e transformar seu lugar no mundo”. Nesse contexto, os PCN+ (BRASIL, 2002) indicam sugestões sobre formas de reorganizar algumas áreas tradicionalmente trabalhadas em Física, Matemática e Educação Ambiental.

Com o objetivo de disponibilizar um material acessível aos professores, sobretudo àqueles que se interessam na discussão e na abordagem de temas energéticos dessa natureza, são apresentados modelos matemáticos que visam auxiliar na análise do custo econômico da instalação de um aquecedor solar (do tipo proposto na seção 2) comparado com a utilização do chuveiro elétrico convencional.

Para os modelos aqui apresentados, algumas simplificações foram necessárias no sentido de direcionar uma discussão por parte do professor no seu trabalho em sala de aula. É exatamente isso que sugere um trabalho cuja estratégia envolve a modelagem matemática (BASSANEZI, 2002). Assim, no caso particular do problema aqui abordado, os modelos baseiam-se nas seguintes hipóteses:

- Propõe-se que o ASBC seja utilizado apenas para aquecer a água utilizada no banho, substituindo o chuveiro elétrico nessa tarefa;
- Considera-se um tipo de chuveiro elétrico popular que é economicamente mais acessível, com duas opções de níveis de potências: 3400W e 5400W operando com a voltagem de 220V da rede elétrica residencial;

- Consideram-se os valores médios mensais das temperaturas do ambiente (°C) na cidade de Campinas-SP durante o período de um ano, pois a temperatura da água do chuveiro é selecionada de acordo com a temperatura ambiente;
- Supõe-se que o tempo médio gasto para tomar um banho é de 8 minutos (0,133 horas) e admite-se que cada usuário tome apenas um banho por dia (DIÁRIO OFICIAL, 2009);
- Admite-se que a tarifa de energia elétrica é de R\$ 0,35/kWh (valor aproximado da tarifa de energia elétrica de julho de 2009) para residências com a classificação Residencial Normal Bifásico, segundo a Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL), regional Campinas, SP;
- Desconsidera-se o desperdício de água necessário para que a água utilizada através do sistema de aquecimento atinja a temperatura ideal.

Os modelos formulados e apresentados nessa seção têm como objetivo analisar a relação entre o custo de instalação do coletor solar descrito anteriormente e o gasto com energia elétrica decorrente da utilização do chuveiro elétrico. A partir desses estudos, é feita uma análise do retorno do investimento tanto em função do tempo de utilização quanto em função do número de usuários. Para facilitar a compreensão, os modelos estão estruturados de acordo com propostas que envolvem simultaneamente conteúdos da Matemática e da Física, enfatizando o caráter interdisciplinar desse trabalho.

Proposta 1 – Estabelecer uma função que descreva a temperatura média mensal do ambiente na cidade de Campinas.

Nessa proposta o professor pode utilizar os dados apresentados na Tabela 1 que representam os valores médios das temperaturas do ambiente na cidade de Campinas de acordo com dados coletados no período de 20 anos (junho de 1988 a outubro de 2008), segundo o Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura – CEPAGRI/UNICAMP; (CEPAGRI, 2009).

Tabela 1. Temperatura média do ambiente em Campinas.

Mês	Temperatura média (°C)	Mês	Temperatura média (°C)
Janeiro	24,70	Julho	18,50
Fevereiro	24,90	Agosto	20,50
Março	24,70	Setembro	21,80
Abril	23,05	Outubro	23,30
Maiο	20,00	Novembro	23,80
Junho	18,80	Dezembro	24,30

Fonte: www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima-de-campinas.html.

A função da temperatura em relação ao tempo ($T(t)$), pode ser construída. Supõe-se que nos períodos de janeiro a fevereiro, de junho a julho e de dezembro a janeiro, a temperatura manteve-se constante em cada um desses períodos. O valor adotado para o período de dezembro a fevereiro foi o valor médio da temperatura observada naqueles meses, isto é, $24,65^{\circ}\text{C}$. Para o período de junho a julho, a temperatura média obtida foi de $18,65^{\circ}\text{C}$. Observa-se na Tabela 1 que a partir do mês de abril a temperatura diminui gradativamente, até atingir os menores valores médios observados, que ocorrem nos meses de junho e julho. Desta forma, é possível aproximar a função ($T(t)$) através de retas. O mesmo procedimento aplica-se para o período de agosto a dezembro, onde ocorre um aumento gradativo dos valores médios da temperatura.

Assumindo que a variação nos períodos de março a maio e de agosto a novembro ocorrem linearmente, o modelo matemático que representa a temperatura do ambiente em função do tempo, em termos dos meses envolvidos ($t=0$ corresponde ao dia 1° de janeiro) é dado pela função $T(t)$:

$$T(t) = \begin{cases} 24,65 & \text{se } 0 \leq t \leq 3 \text{ e } 11 < t \leq 12 \\ -3t + 33,65 & \text{se } 3 < t < 5 \\ 18,65 & \text{se } 5 \leq t \leq 7 \\ 1,5t + 8,15 & \text{se } 7 < t \leq 11 \end{cases} \quad (1)$$

O comportamento desta função, baseado nas informações contidas na Tabela 1 está representado na Figura 4.

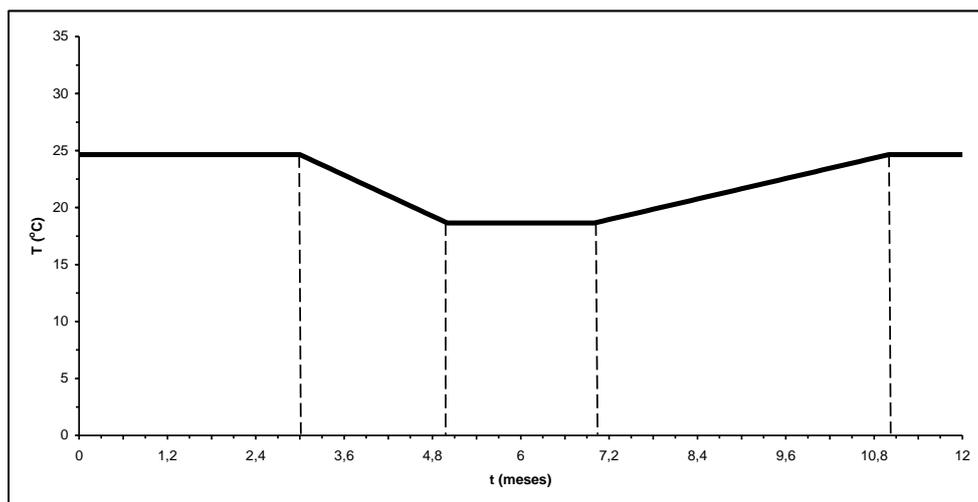


FIGURA 4. Comportamento da temperatura média do ambiente em função dos meses do ano para a cidade de Campinas (fonte: www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima-de-campinas.html).

Proposta 2 – Estimar a energia elétrica consumida por um chuveiro elétrico de acordo com a potência selecionada.

Neste caso, admite-se que a potência utilizada em dias cujas temperaturas do ambiente são superiores a $22,00^{\circ}\text{C}$ ⁴ é de 3400W. Para temperaturas inferiores a $22,00^{\circ}\text{C}$ costuma-se utilizar o chuveiro elétrico com a potência de 5400W. A função $P(T)$, que representa a potência (expressa em Watt) utilizada no chuveiro em função da temperatura do ambiente, é dada pela relação:

$$P(T) = \begin{cases} 3400 & \text{se } T \geq 22,00 \\ 5400 & \text{se } T < 22,00 \end{cases} \quad (2)$$

O comportamento dessa potência em relação à temperatura do ambiente está representado na Figura 5.

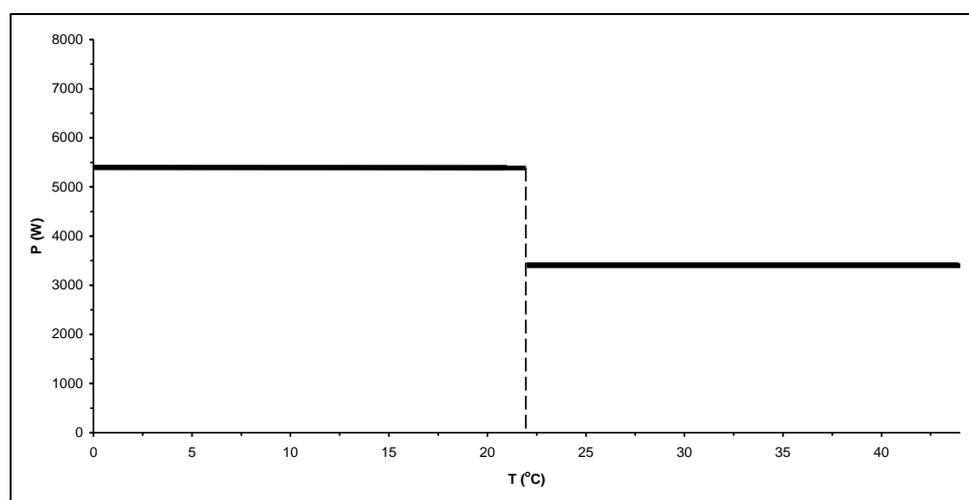


FIGURA 5. Valores da potência dissipada por chuveiros elétricos convencionais em função da temperatura.

Proposta 3 – Relacionar a potência do chuveiro elétrico com o mês de utilização.

Para realizar esse tipo de análise, são utilizadas as funções obtidas dos modelos elaborados a partir das Propostas 1 e 2. Com isso, pode-se obter uma função composta do tipo $P(t) = (P \circ T)(t)$.

Empregando o conceito de função inversa para estimar em que instante a temperatura ambiente é igual a $22,00^{\circ}\text{C}$ na função $T(t)$, obtém-se $t=3,9$ (aproximadamente no mês de abril) e $t=9,2$ (correspondente ao mês de setembro), conforme pode ser inferido na Figura 4. Vale ressaltar que esses valores estão próximos aos valores das temperaturas médias do ambiente (ver Tabela 1).

⁴ Este valor é subjetivo, uma vez que a sensação térmica varia para cada indivíduo. Valores negativos para a temperatura ambiente estão sendo desconsiderados nessa discussão.

A função resultante $P(t)$ pode ser escrita pela relação:

$$P(t) = (P \circ T)(t) = P(T(t)) = \begin{cases} 3400 & \text{se } 0 \leq t \leq 3,9 \text{ e } 9,2 \leq t \leq 12 \\ 5400 & \text{se } 3,9 < t < 9,2 \end{cases} \quad (3)$$

A Figura 6 representa o comportamento da função composta $P(t)$ em relação aos meses do ano.

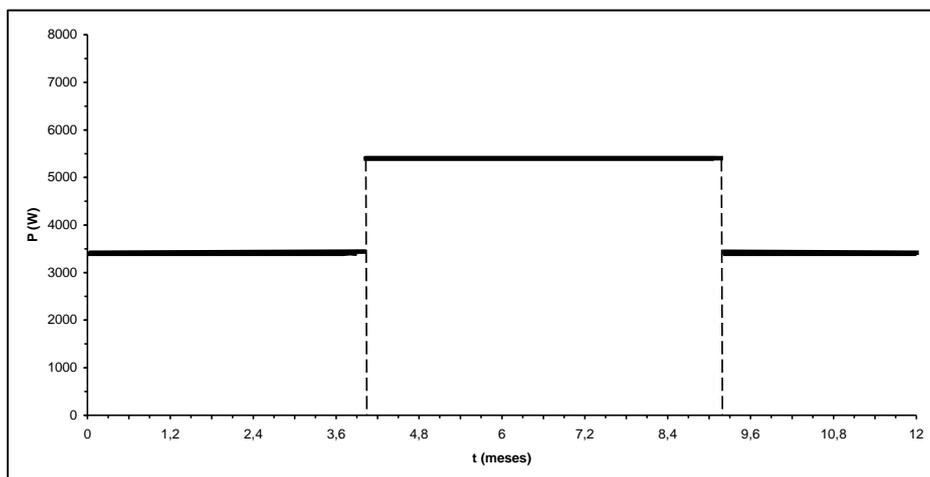


FIGURA 6. Comportamento da função resultante $P(t)$ como função dos meses do ano.

Proposta 4 – Calcular o valor gasto com energia elétrica por pessoa pela utilização do chuveiro elétrico durante um ano.

O gasto total mensal (valores em reais) por uma pessoa depende de vários fatores, como por exemplo: o tempo de banho usando o chuveiro elétrico convencional, a potência dissipada pelo equipamento, o tempo de desgaste do mesmo, etc. Uma estimativa desse gasto pode ser obtida através da seguinte relação:

$$\text{Gasto} = (\text{potência em kW}) \times (\text{tempo em horas}) \times (30 \text{ dias}) \times (\text{preço/kWh})$$

De acordo com as hipóteses simplificadoras mencionadas na seção 3, e lembrando que $1000W = 1kW$, obtém-se a seguinte função gasto $G(t)$:

$$G(t) = \begin{cases} 4,76 & \text{se } 0 \leq t \leq 3,9 \text{ e } 9,2 \leq t \leq 12,0 \\ 7,56 & \text{se } 3,9 < t < 9,2 \end{cases} \quad (4)$$

Na Figura 7 é apresentado o comportamento da função $G(t)$ em relação aos meses do ano.

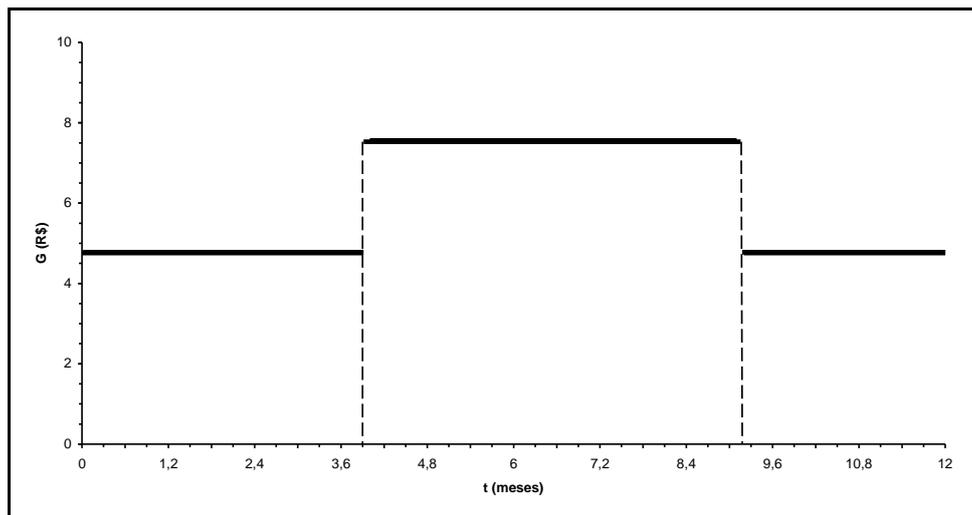


FIGURA 7. Gasto total em reais por pessoa no exercício de tomar banho em função dos meses do ano.

Proposta 5 – Analisar o retorno financeiro do investimento com a instalação do coletor solar de baixo custo em comparação com a utilização do chuveiro elétrico.

Pretende-se verificar em quanto tempo e quantos usuários são necessários para que o retorno do valor investido com a instalação do aquecedor solar seja recuperado.

O valor total gasto com a utilização do chuveiro elétrico em uma residência com k usuários em t anos é dado por:

$$GT(t, k) = 71,96(t)(k) \quad (5)$$

onde o valor 71,96 representa o gasto anual individual obtido a partir da função $G(t)$ descrita na Proposta 4, isto é:

$$4,76(3,9 + 2,8) + 7,56(5,3) = R\$ 71,96$$

Vale observar que na função $G(t)$ da Proposta 4, os valores 3,9 e 2,8 correspondem aos intervalos de tempo em meses dados por $(3,9 - 0)$ e $(12,0 - 9,2)$, respectivamente, cujo gasto é de R\$ 4,76. O valor 5,3 corresponde ao intervalo temporal mensal $(9,2 - 3,9)$ cujo gasto é de R\$ 7,56.

Fixando o período de um ano ($t=1$), o gasto total é dado por:

$$GT(k) = 71,96(k) \quad (6)$$

Dessa forma, o valor total do investimento descrito na seção 2 (R\$ 427,00) será recuperado em um ano se o número de usuários (k) for maior ou igual a 6. Isso corresponde ao maior inteiro para o qual o gasto com o chuveiro elétrico supera o valor do investimento, conforme ilustrado na Figura 8.

Por outro lado, fixando o número de usuários (k), o retorno do valor investido depende do tempo (em anos) de utilização do chuveiro elétrico. O gráfico apresentado na Figura 9 ilustra essa situação para diferentes valores de k . As verticais pontilhadas indicam as intersecções com os valores encontrados para a função $GT(t)$ e a linha pontilhada na horizontal representa o custo do aquecedor solar construído, estimado em R\$ 427,00, como mencionado na seção 2.a. O valor de t assinalado para cada intersecção indica quanto tempo (em anos) uma família necessita para ter o retorno do investimento feito na instalação de um aquecedor solar de baixo custo, quando comparado com os gastos na conta de energia no uso de um chuveiro elétrico convencional.

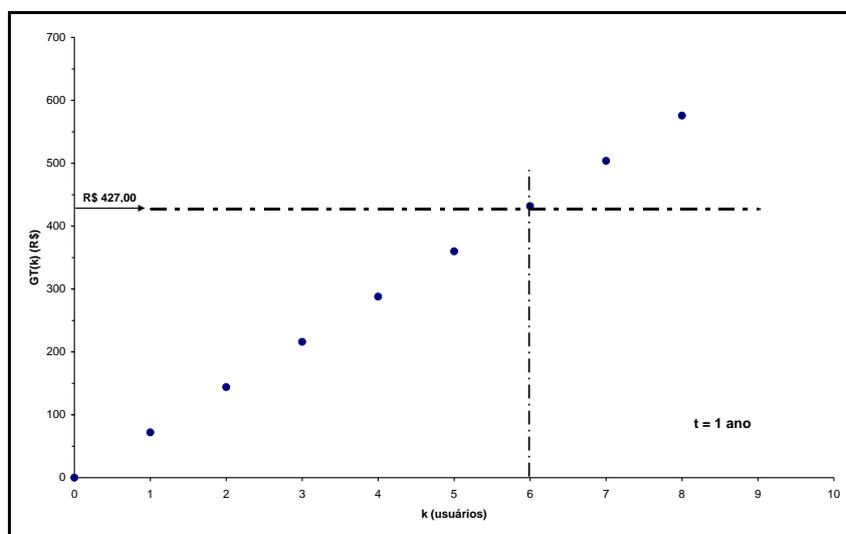


FIGURA 8. Comparação entre o valor gasto na construção do aquecedor solar de baixo custo em relação ao número de usuários do chuveiro elétrico convencional. Verifica-se que no período de um ano seriam necessários 6 usuários para recuperar o investimento gasto.

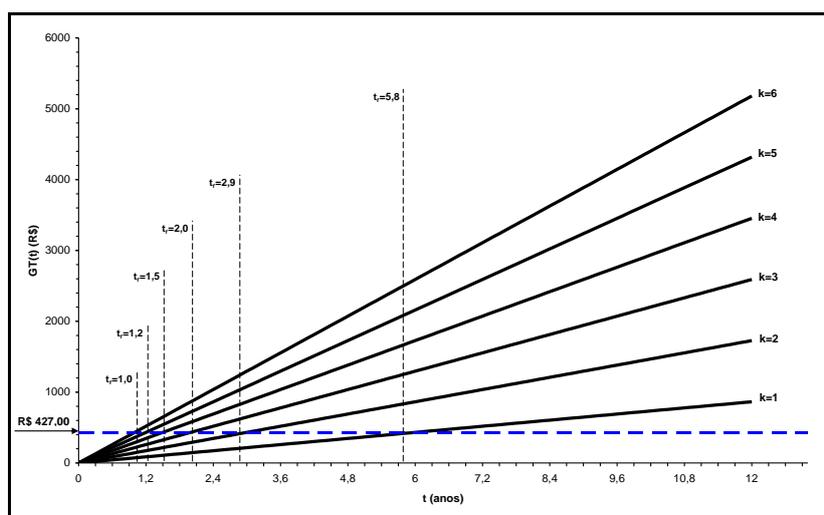


FIGURA 9. Estimativa do tempo (em anos) de retorno dos investimentos na instalação de um aquecedor solar de baixo custo. A função $GT(t)$ representa o gasto realizado por uma família ao longo do tempo. O fator k significa o número de usuários que compõem a família (considerou-se até 6 pessoas).

4. Discussão

A literatura apresenta diferentes abordagens para a utilização pedagógica da modelagem e, dentre elas, destaca-se a *perspectiva pragmática*, a qual busca habilitar os alunos a usarem a Matemática para a solução de problemas reais, isto é, prioriza o conhecimento técnico; a *perspectiva científica-humanística*, que procura estabelecer relações com outras áreas a partir da própria Matemática, isto é, prioriza o conhecimento matemático (KAIZER; SRIRAMAN, 2006) e a *perspectiva sócio-crítica*, que visa criar oportunidades para que os alunos reflitam sobre o papel da matemática na sociedade (BARBOSA, 2006).

A realização das atividades propostas neste trabalho possibilita o envolvimento das três abordagens citadas acima. A Figura 10 ilustra a integração destas abordagens viabilizadas pela realização da experiência proposta neste trabalho. Os diversos aspectos mencionados: tecnológicas, econômicas, sociais e ambientais (todos esses igualmente importantes) fortalecem a formação crítica dos estudantes. O envolvimento dos estudantes com esses aspectos naturalmente gera um processo de investigação e indagação, características fundamentais na perspectiva sócio-crítica. Por outro lado, a necessidade dos conteúdos curriculares para o levantamento e análise desses aspectos, caracteriza as perspectivas pragmática e científica-humanística. As propostas aqui desencadeadas também vão ao encontro do que Monteiro e Pompeu (2001) conclamaram, quando expressaram que:

As escolhas em educação passam a ser significativas na medida em que são analisadas dentro do contexto sociocultural daqueles que se pretende educar, pois os objetivos e, conseqüentemente, as escolhas tendem a variar de acordo com a cultura, a realidade social, as necessidades, as aspirações pessoais, etc.(MONTEIRO; POMPEU, 2001, p. 24).

Pelos resultados dos modelos matemáticos baseados nas propostas discutidas na seção anterior, obteve-se o número de meses para o retorno do capital investido pela substituição de um chuveiro elétrico convencional pelo sistema do ASBC. Vale ressaltar que, quanto menor a potência do chuveiro, maior o número de meses para tal retorno devido à menor redução no consumo de energia com a substituição do chuveiro elétrico pelo aquecedor solar. Como explorado na Proposta 5, o número de meses para a

recuperação do capital investido tem influência com relação ao número de usuários de uma família.

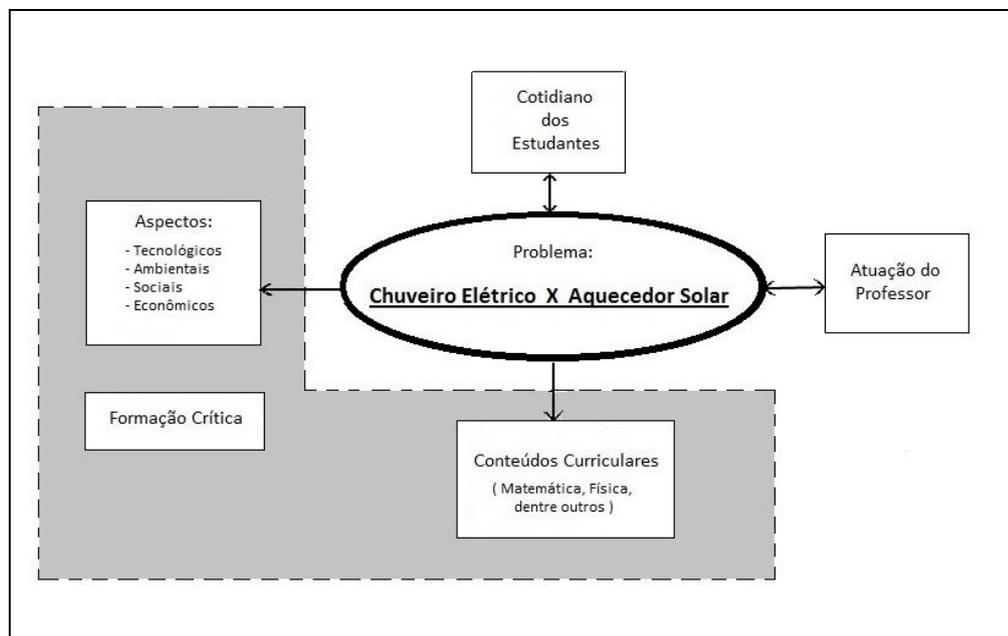


FIGURA10. Diagrama dos elementos essenciais para um problema proposto (Chuveiro Elétrico *versus* Aquecedor Solar de Baixo Custo).

Outro fator não menos importante para o retorno mais rápido do capital investido está atrelado ao menor consumo de água. Certamente esse é o principal fator de economia no banho empregando chuveiro elétrico, visto que não ocorrem consideráveis desperdícios de água, pois ao acionar o chuveiro elétrico, a água sai mais rápida na temperatura desejada pelo usuário. No uso do aquecedor solar há um desperdício de água em torno de quatro litros, já que a água aquecida (acumulada no reservatório) leva um tempo para chegar até ao usuário, pois precisa percorrer o encanamento até o ponto final.

Nessa visão, a energia solar dispensaria o uso contínuo do chuveiro elétrico, que tem por finalidade exclusiva aquecer a água do banho. O professor deve enfatizar aos seus alunos que, o chuveiro elétrico é considerado o vilão do sistema energético por três razões: consome entre 25% a 35% do que se gasta com eletricidade numa residência de família de baixa renda; tem potência elevada, chegando a mais de 5000W, e exige do governo esforço adicional em relação à manutenção da qualidade do fornecimento de energia elétrica. Portanto, deve-se ressaltar que esses argumentos são fortes quando se trata de economia de energia elétrica. Principalmente se pensarmos que 8% da energia elétrica gasta no Brasil deve-se ao chuveiro elétrico e que, nos horários de pico (entre

18h00 e 20h00), este índice sobe para 18%. Daí, conclui-se que temos bons motivos para investir em fontes alternativas de energia (PROCEL, 2007).

Assim, o uso de aquecedores solares para obter água quente em habitações populares e em edificações em geral, constitui-se nas medidas de curto a médio prazo mais apropriadas para que o país cumpra com seus compromissos ambientais no cenário nacional e internacional. Dentre os motivos mais relevantes para esta tomada de atitude por parte da população e do governo, podendo (e devendo) ser tratada na sala de aula (Figura 10), destacam-se:

- A questão estratégica: relaciona-se com a eliminação do denominado “horário de pico” de demanda e disponibilizar energia para o crescimento econômico;
- Questão tecnológica: refere-se ao estado da arte e custo da tecnologia para aquecimento solar. A tecnologia do sistema ASBC é simples, e tem como principal finalidade o banho residencial;
- Questão ambiental: relaciona-se com a diminuição da emissão de gases de efeito estufa, promovendo o uso de fontes renováveis de energia;
- Questão social: motiva a geração de emprego e renda, além da economia e bem estar das famílias;
- Questão energética: reduz a inadimplência dos pequenos consumidores de energia e eliminar o risco de “apagão elétrico”.

Baseado nesses motivos, além de um conseqüente aumento da consciência ecológica por parte da sociedade, já existe várias cidades brasileiras que aprovaram, ou estão em vias de aprovar, leis de incentivo à implantação de aquecedores solares (de baixo custo ou não) em diferentes tipos de edificações (INSTITUTO EKOS BRASIL, 2009). É necessário motivar cada vez mais as pessoas, orientando-as para o estudo da energia no Ensino de Ciências na Educação, superando as formas reducionistas de estudar o conceito energia, de forma que o aprendizado de ciências passe a ser desenvolvido como atividade que também aproxime das necessidades do dia-a-dia.

Assim, o professor deve perceber que, a partir da construção, instalação e uso de um ASBC, além das propostas apresentadas na seção 3, os processos de questionamento, construção de argumentos e comunicação envolvendo as relações entre Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente (Figura 10) podem ser investigadas e consideradas como complementares para uma tomada de decisão relacionada à de instalar ou não tal equipamento, em troca de um chuveiro elétrico, numa residência de uma família de baixo poder aquisitivo.

Considerações finais

Este artigo aborda a possibilidade de substituir o uso do chuveiro elétrico convencional por um aquecedor solar de baixo custo. Mostrou-se uma maneira de construir um equipamento simples, empregando o princípio do termossifão para aquecer água a partir da energia solar, com a finalidade de empregá-lo numa residência, em particular para uso no banho, em substituição ao tradicional chuveiro elétrico.

Com o intuito de disponibilizar um material acessível aos Ensinos Médio e Superior, foram elaboradas, a partir de algumas hipóteses simplificadoras, cinco propostas que abordam algumas funções matemáticas que relacionam grandezas físicas, tais como: temperaturas, tempo de uso, potências dissipadas por um chuveiro, dentre outras. Os modelos matemáticos aqui abordados permitiram investigar um outro aspecto, a determinação do tempo necessário para a recuperação do capital investido em relação ao número de usuários de uma família.

Outro aspecto a ser ressaltado é a utilização desse artigo para o professor desenvolver suas atividades docentes e, conseqüentemente, favorecer a motivação dos estudantes em suas atividades escolares. Essa motivação não está apenas nas discussões que podem ser desencadeadas em sala de aula, relacionadas às propostas levadas à tona, mais também ao fato dos estudantes poderem realizar uma tarefa fácil, pouco dispendiosa e útil, que está voltada ao uso da energia solar. Além disso, a disseminação do conteúdo desse artigo por parte do professor e de seus estudantes viabiliza sensibilizar os pais destes a optarem pelo uso de um aquecedor solar em suas residências. Essa alternativa não só pode resultar numa economia financeira para a família, mas numa medida a favor da preservação do meio ambiente, pois contribuiria para a redução de gastos em infraestrutura na geração de eletricidade (evitando os denominados “apagões elétricos”), transporte e distribuição da eletricidade e ainda na racionalização dos impactos ambientais e sociais causados pelas usinas hidroelétricas, termoelétricas a carvão e óleo, e, até mesmo, das usinas nucleares.

Conseqüentemente, o trabalho aqui apresentado contribui para que professor e os estudantes desenvolvam novas competências, como a capacidade de questionamento crítico (BARBOSA, 2006), ampliação da autonomia na busca do conhecimento e melhoria da comunicação com incremento do conhecimento sobre as questões energéticas, como abordadas no diagrama da Figura 10.

Trabalhos nessa linha de pesquisa propiciam modificações em relação ao papel do professor e dos estudantes. Em concordância com o trabalho de Pavel Demo: “a mudança do professor ‘auleiro’ para orientador e, do estudante, de objeto de aprendizagem para parceiro da construção do conhecimento, altera substancialmente o ambiente” (DEMO, 1994, p. 59).

Finalmente, deve-se enfatizar que a aproximação interdisciplinar realizada nesse trabalho possibilita, pelo diálogo professor-estudante, pela problematização do conhecimento, pela construção de novos argumentos e pela sua validação nesse coletivo, um processo cooperativo de investigação na Escola, por meio do qual se empregou o tema energia solar como balizador entre Ciência, Tecnologia e Sociedade.

Referências

BARBOSA, J. C. Mathematical Modelling in classroom: a critical and discursive perspective. *Zentralblatt für Didaktik der Mathematik*, v. 38, n. 3, p. 293-301, 2006.

BARCELOS, V. H. L.; NOAL, F. O. A. Temática Ambiental e a Educação: uma aproximação necessária. 2ª ed. in: NOAL, F. O.; REIGOTA, M.; BARCELOS, V. H. L. **Tendências da Educação Ambiental Brasileira**. Rio Grande do Sul: Editora Edunisc, RS, 2000.

BASSANEZI, R.C. **Ensino-aprendizagem com modelagem matemática**: uma nova estratégia. São Paulo, SP: Editora Contexto, 2002.

BEZERRA, A. M. **Aplicações Práticas da Energia Solar**. Editora Universitária – UFPB, João Pessoa, PB, 1979.

BRASIL, Ministério da Educação (MEC), Secretaria da Educação Média e Tecnológica (Semtec). *Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio*. Brasília: MEC/Semtec, DF, 1999.

_____, Ministério da Educação (MEC), Secretaria da Educação Média e Tecnológica (Semtec). *PCN+ Ensino Médio: Orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais – Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias*. Brasília: MEC/Semtec, DF, 2002. Disponível em: <<http://www.portal.mec.go.br/seb/index.php?option=content&task=view&id=265&I>>. Acesso em 09 de nov. 2009.

CEPAGRI-UNICAMP. Disponível em: <www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima-de-campinas.html>. Acesso em: 21 set. 2009.

DEMO, P. **Educação e Qualidade**. 5ª ed., Editora Papirus, Campinas, SP, 1994.

DUFFIE, J. A.; BECKMAN, W. A. **Solar engineering of thermal processes**. 2ª ed. Wisconsin: John Wiley & Sons, 1991.

INEP. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. 2007. Disponível em <<http://www.inep.gov.br/basica/levantamentos/acessar.htm>>. Acesso em 17 de dez. 2009.

INSTITUTO EKOS BRASIL. **Projeto de lei prevê obrigatoriedade para o uso de aquecedor Solar em Salvador**. Disponível em: <<http://www.ekosbrasil.org.br>>. Acesso em: 11 nov. 2009.

KAISER, G; SRIRAMAN, B. A global survey of international perspectives on modelling mathematics education. **Zentralblatt für Didaktik der Mathematik**, v. 38, n. 3, p. 301-310, 2006.

LIMA, D.; ALMEIDA, A. L.; LOPES, C. O Protótipo de um Coletor Solar Didático. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**. v.3, n.2, p.102-106, 1986.

MONTEIRO, A.; POMPEU, G. **A matemática e os temas transversais**. São Paulo: Editora Moderna, SP, 2001.

PALZ, W. **Energia solar e fontes alternativas**. São Paulo: Hemus Livraria Editora Ltda, SP, 2002.

PIMENTEL, J. R.; LUCIANO, E. A.; MORAIS, M. B. Sistema de Aquecimento Solar Didático. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. v.11, n.1, p.3-14, 1989.

PROCEL. Pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso: ano base 2005, classe residencial, região sudeste. PROCEL-ELETROBRAS, Rio de Janeiro, setembro 2007.

SKOVSMOSE, O. **Desafios da reflexão em Educação Matemática Crítica**. Editora Papyrus, Campinas, SP, 2008.