



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE**  
**CIÊNCIAS E MATEMÁTICA**

**JOSÉ SOUTO SARMENTO**

**CONSTRUÇÃO E ANÁLISE DE UM FORNO SOLAR COMO UMA ATIVIDADE**  
**PRÁTICA NÃO FORMAL NO ENSINO DE FÍSICA**

**FORTALEZA**

**2015**

**JOSÉ SOUTO SARMENTO**

**CONSTRUÇÃO E ANÁLISE DE UM FORNO SOLAR COMO UMA ATIVIDADE  
PRÁTICA NÃO FORMAL NO ENSINO DE FÍSICA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ensino de Ciências e Matemática. Área de concentração: Ensino de Ciências e Matemática.

Orientadora: Profa. Dra. Eloneid Felipe Nobre.

**FORTALEZA**

**2015**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca do Curso de Matemática

- 
- S255c      Sarmiento, José Souto  
              Construção e análise de um forno solar como uma atividade prática não formal no ensino de Física  
              / José Souto Sarmiento. - 2015  
              76 f. : il., enc.; 31 cm
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática, Fortaleza, 2015.  
              Área de Concentração: Ensino de Ciências e Matemática.  
              Acompanha CD-ROM  
              Orientação: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Eloneid Felipe Nobre.  
              Coorientação: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Silvany Bastos Santiago.
1. Energia solar. 2. Forno solar. 3. Física – Estudo e ensino. 4. Ecologia. I. Título.
- 

CDD 333.7923

JOSE SOUTO SARMENTO

CONSTRUÇÃO E ANÁLISE DE UM FORNO SOLAR COMO UMA ATIVIDADE  
PRÁTICA NÃO FORMAL NO ENSINO DE FÍSICA.

Dissertação de Mestrado apresentada ao  
Programa de Pós-Graduação em Ensino de  
Ciências e Matemática da Universidade Federal  
do Ceará, como requisito parcial para obtenção  
do Título de Mestre em Ensino de Ciências e  
Matemática. Área de concentração: Ensino de  
Ciências e Matemática.

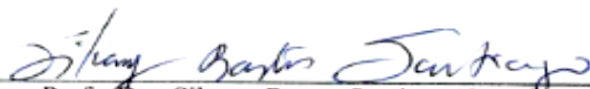
Orientadora: Profa. Dra. Eloneid Felipe Nobre

Aprovada em 30/01/2015

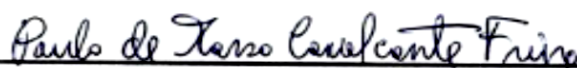
BANCA EXAMINADORA



Profa. Dra. Eloneid Felipe Nobre (Orientadora)  
Universidade Federal do Ceará – UFC



Profa. Dra. Silvana Bastos Santiago (Co-orientadora)  
Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Ceará –  
IFCE



Prof. Dr. Paulo de Tarso Cavalcante Freire  
Universidade Federal do Ceará – UFC



Prof. Dr. Nildo Loiola Dias  
Universidade Federal do Ceará – UFC

Dedico esse trabalho a minha esposa, Antônia  
Lilian Alves de Lima e a meu filho Guilherme  
Alves Sarmento.

## **AGRADECIMENTOS**

Meu agradecimento a Deus pelas leis da natureza.

À Professora Eloneid Felipe Nobre pela excelente orientação.

À professora Silvany Bastos por sua colaboração como co-orientadora.

A minha esposa Antônio Lillian Alves de Lima por estar ao meu lado me dando força nos momentos mais difíceis.

A meus colegas de mestrado Helio Dantas, Carlos Castro, Ricardo Diniz, Marciano Araújo, pelo companheirismo.

Aos meus amigos Dario Cide, Francisco José Bernardo, Willamy Nunes, Alexandre Nogueira e minhas amigas Silvânia Nunes e Silvia Letícia pela colaboração de cada um de uma forma especial.

Aos meus familiares pelo apoio.

Aos pais de minha esposa, José Afonso de Lima e Maria Vilanir Alves de Lima pelo apoio.

Aos meus alunos, de modo especial aos participantes dessa pesquisa.

Não sei até aonde vou  
Mas até aqui cheguei  
Não cheguei sozinho  
Cheguei acompanhado  
Daqueles que torcem por mim  
E daqui levantarei vôo  
E os levarei comigo  
Em busca de novas conquistas.

José Souto Sarmiento  
30/01/2015

## **RESUMO**

O objetivo deste trabalho foi abordar uma metodologia diferenciada para o ensino de Física, a partir da construção e análise de um forno solar como atividade prática, sendo utilizado como uma ferramenta de ensino na aplicação dos conceitos de Termodinâmica, Energia Solar, Eletromagnetismo e Radiação do Corpo Negro. Além disso, questões como a sustentabilidade e ecologia também foram trabalhadas, uma vez que a construção do forno solar priorizou o uso de materiais recicláveis, de baixo custo, usando a energia solar, uma fonte abundante, permanente e renovável de energia, que não polui ou prejudica o meio ambiente. O projeto envolveu 54 alunos de ensino médio, de escolas das redes pública e particular da cidade de Quixeramobim, no interior do Ceará. Este trabalho procurou explorar Física de uma maneira mais atraente, de modo a que os alunos se sentissem motivados a estudá-la, vendo a sua aplicabilidade na prática, sem a necessidade de utilização de laboratórios já que os laboratórios formais ainda não fazem parte da realidade de algumas escolas da região. Verificada a viabilidade do forno no cozimento de alimentos, os alunos envolvidos no projeto o apresentaram a uma comunidade de trabalhadores rurais do município, incentivando-os a adotarem o forno solar como uma alternativa ao uso da lenha, ainda amplamente utilizada nessas comunidades.

**Palavras Chave: Energia Solar, Forno Solar, Ensino de Física.**



## **ABSTRACT**

The aim of this work was to describe a different methodology for teaching physics, from the construction and analysis of a solar oven as practical activity, being used as a teaching tool in the application of the concepts of Thermodynamics, Solar Energy, Electromagnetism and Blackbody Radiation. In addition, issues such as sustainability and ecology were also worked, since the construction of the solar oven prioritized the use of recyclable low cost materials, using solar energy, an abundant permanent and renewable energy supply, that does not pollute or harms the environment. The project involved 54 high school students from public and private schools of City Quixeramobim, in Ceará. This study aimed to explore the Physics of a more attractive way, so that students feel motivated to study it, seeing its applicability in practice without the need for use of laboratories since the formal laboratories are not yet part of reality of many schools in the region. Verified the feasibility of the oven in cooking food, the students involved in the project introduced it to a community of rural workers in the city, encouraging them to adopt the solar oven as an alternative to the use of firewood, still widely used in these communities.

**Keywords:** Solar energy, Solar Oven, Teaching Physics.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura1- Terra em seu movimento de translação em torno do Sol .....	20
Figura 2- Mapa da energia solar anual média recebida ao nível do solo (1983-2005) nas diferentes regiões da Terra. Valores em kWh/m <sup>2</sup> /dia.....	20
Figura 3- Média anual de insolação direta no Brasil.....	22
Figura 4 - Representação do ciclo próton-próton.....	24
Figura 5 - Balanço de energia solar até atingir a superfície da Terra.....	26
Figura 6 - Localização da cidade de Quixeramobim.....	28
Figura 7 - Figura com as contribuições das fontes de energia na geração de energia elétrica	29
Figura 8 - Média anual da radiação solar global no Brasil e na Alemanha.....	33
Figura 9 - Forno Solar Parabólico.....	34
Figura 10 - Forno Solar estilo caixa.....	34
Figura 11- Forno solar tipo painel.....	35
Figura 12 - Arranjo usado no experimento de Joule.....	36
Figura 13 - Esquema de um calorímetro.....	39
Figura 14 - Figura que representa as mudanças de estado da água.....	40
Figura 15 - Representação de um gás contido em um cilindro provido de êmbolo.....	43
Figura 16 - Esquema de uma máquina térmica.....	46
Figura 17 - Diagrama PxV que destaca o ciclo de Carnot.....	47
Figura 18 - Faixas de Radiação Eletromagnéticas.....	48
Figura 19 - Representação da reflexão de um espelho plano.....	49
Figura 20 - Representação da reflexão da luz em espelhos esféricos.....	50
Figura 21 - Forno estilo painel construído pelos alunos.....	54
Figura 22 - Forno estilo caixa construído pelos alunos da Turma B.....	55
Figura 23 - Forno parabólico construído pelos alunos.....	55
Figura 24 - Gráfico comparativo das notas da turma controle em azul e da turma experi- mental em vermelho.....	61
Publicação sobre o histórico do forno solar .....	69
Figura 26 – Publicação sobre os maiores fornos solares em atuação.....	70
Figura 27 – Publicação sobre o potencial solar do Brasil.....	71
Figura 28 – Publicação sobre a apresentação do forno solar a uma comunidade de traba- lhadores rurais.....	71

Figura 29 – Publicação sobre a utilização do forno solar no sertão da Paraíba .....	72
-------------------------------------------------------------------------------------	----

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição do Sol.....	23
Tabela 2 - Potência anual de energia solar em cada uma das cinco regiões brasileiras.....	27
Tabela 3 - Tabela com a distribuição das equipes, tipos de Forno e alimentos.....	52
Tabela 4 - Número de alunos por turma .....	52
Tabela 5 - Tabela de material e custos do Forno Solar estilo painel, construído pela Turma A	53
Tabela 6 - Tabela de material e custos do Forno Solar estilo caixa.....	54
Tabela 7 - Tabela de material e custos do Forno Solar estilo parabólico.....	56
Tabela 8 - Tabela com turmas tipos de Forno, alimentos e respectivos tempos de cozimento	58
Tabela 9 - Tabela de coleta de dados para cálculo da Potência do Forno estilo painel.....	59
Tabela 10 - Tabela de dados para o cálculo da potência do forno estilo parabólico.....	60
Tabela 11 - Tabelas com as notas em ordem crescente da turma controle (a) experimental (b)	63

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	15
2	ENERGIA SOLAR .....	19
2.1	Radiação solar .....	25
3	FORNO SOLAR .....	31
3.1	Forno parabólico .....	33
3.2	Forno solar estilo caixa .....	35
3.3	Forno solar estilo painel .....	35
3.4	O forno solar como uma ferramenta no ensino de física .....	35
3.4.1	<i>Calor fornecido pelo forno .....</i>	36
3.4.2	<i>Capacidade térmica e calor específico.....</i>	38
3.4.3	<i>Trocas de calor que ocorrem no forno solar.....</i>	38
3.4.4	<i>Mudanças de estado físico que as substâncias podem sofrer dentro do forno solar .....</i>	39
3.4.5	<i>Transmissão de calor que ocorrem na mudança .....</i>	41
3.4.6	<i>Potência irradiada pelo sol sobre o forno solar .....</i>	42
3.4.7	<i>1ª lei da termodinâmica; conservação de energia .....</i>	43
3.4.8	<i>O forno solar como uma máquina térmica que atende à 2ª lei da termodinâmica.....</i>	45
3.4.9	<i>Parte óptica do forno solar .....</i>	48
3.4.10	<i>Espelhos planos .....</i>	49
3.4.11	<i>Espelhos esféricos .....</i>	50
4	METODOLOGIA .....	51
4.1	Caracterização da pesquisa .....	51
4.2	Etapas da pesquisa .....	51
4.2.1	<i>Apresentação e escolha do forno solar.....</i>	51
4.2.2	<i>Os sujeitos da pesquisa .....</i>	52
4.2.3	<i>Contextualização do ambiente do estudo – cenários da pesquisa .....</i>	53
4.2.4	<i>Cozinhando os alimentos .....</i>	56
4.2.5	<i>Usando o forno solar como laboratório .....</i>	58
4.2.6	<i>Apresentação do forno solar a uma comunidade de trabalhadores rurais do município de Quixeramobim .....</i>	61
4.2.7	<i>Coleta de dados .....</i>	62

<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>63</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>67</b>
<b>7</b>	<b>PRODUTO EDUCACIONAL .....</b>	<b>69</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>73</b>
	<b>APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO APLICADO A TURMA DE 2º ANO</b>	<b>75</b>
	<b>DE ENSINO MÉDIO QUE TRABALHOU COM O FORNO SOLAR</b>	
	<b>(TURMA EXPERIMENTAL)</b>	

## 1 INTRODUÇÃO

Um dos problemas encontrados por parte dos estudantes de Física do Ensino Médio é a falta de entusiasmo para o estudo da Física. Uma abordagem diferente, mostrando a aplicabilidade da Física no cotidiano, poderia ser uma forma de atrair o interesse desses estudantes.

Apesar da Física ser uma disciplina que instiga a investigação, o modo como são organizados os currículos escolares, o pouco tempo que os professores dispõem para ministrar essa disciplina, em geral, com apenas duas aulas semanais, juntamente com as metodologias empregadas, pouco tem favorecido a motivação dos alunos.

A Física assim como a Química e a Biologia são ciências experimentais e devem ser tratadas como tal. Assim a existência de laboratórios adequados nas escolas é de fundamental importância para apoiar o professor a mostrar nas práticas experimentais os conteúdos vistos em sala de aula. A realidade, entretanto, é que a maioria das escolas públicas é carente de laboratórios. Daí a importância dos professores usarem de estratégias que possam amenizar essa carência e assim os alunos tenham a oportunidade de trabalhar com experimentos, testando na prática as leis da Física

O trabalho com experimentos, sobretudo de baixo custo, pode abordar todas as características que são citadas na matriz de referência do novo Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM), identificar a presença dos fenômenos físicos relacionados às tecnologias associadas às ciências naturais em diferentes contextos e aplicar os conhecimentos de Física em situações problemas, além de contribuir para a formação e preparação para o vestibular, que não deixa de ser um dos objetivos do ensino médio, as aulas podem ser planejadas com uso de experimentos para que o aluno possa visualizar a aplicação prática do que ele está estudando.

A experimentação há muito tempo faz parte da vida dos cientistas. Desde a antiguidade o método da experimentação vem sendo utilizado e aprimorado ao passar do tempo. Há relatos que Pitágoras ao tentar explicar que os números estavam presentes na música, usou um experimento que se chama hoje de monocórdio de Pitágoras para testar essa teoria. Boa parte das teorias podem ser testadas experimentalmente para serem comprovadas, muito embora existam teorias que não necessitem desse método, podendo ser comprovadas matematicamente.

A problemática no ensino de Física causada pela falta de interesse e entusiasmo dos alunos foi o fator motivador para o desenvolvimento deste trabalho. Buscando uma

metodologia que levasse o estudante a participar do desenvolvimento de atividades práticas que fossem utilizados em sala de aula, mas que também pudessem ser usadas em benefício da comunidade. Foi planejada a construção de um experimento simples com material de baixo custo, que os próprios alunos pudessem confeccionar servindo de opção de laboratório para as escolas mais carentes, podendo ser feitos em sala, na quadra esportiva ou no pátio da própria escola. Assim foi projetado e construído um forno solar que poderia ser utilizado como um laboratório de Física para desenvolvimento experimental de vários conteúdos específicos e ao mesmo tempo, viabilizasse uma prática social, pois além de sua aplicação didática como laboratório poderia ser utilizado por famílias para cozinhar alimentos.

O objetivo principal desse trabalho é a construção de um forno solar, utilizando materiais de baixo custo, como ferramenta no ensino de Física.

Especificamente foi planejada a construção desse experimento de baixo custo com o objetivo de trabalhar a Física na prática, através de experimentos que pudessem ser produzidos, manuseados e utilizados pelos alunos, de modo a melhorar a visualização dos fenômenos físicos em sua prática escolar e cotidiana.

O forno solar foi utilizado como laboratório de Física, nos conteúdos de Calorimetria, Óptica e Termodinâmica com alunos do 2º ano do ensino médio da rede pública e particular do município de Quixeramobim-Ce.

Além do uso do forno solar como laboratório de Física, questões como sustentabilidade e ecologia são também trabalhadas, pois a construção do forno solar prioriza a utilização de materiais recicláveis e de baixo custo e usa a energia solar, uma fonte energética renovável que não polui e nem prejudica o ecossistema.

Objetivou-se ainda apresentar o forno solar testado pelos alunos e professor, a uma comunidade de trabalhadores rurais do município de Quixeramobim-Ce, de modo a fazer com que os trabalhadores dessa comunidade sentissem motivados a adotar o forno solar para reduzirem o uso de lenha no cozimento de alimentos. Assim questões de cidadania também foram abordadas, uma vez que os alunos visitaram as comunidades de trabalhadores da região apresentando e instruindo a população na utilização do forno solar.

O presente estudo aborda o ensino de Física com metodologias diferenciadas para incentivar os alunos e favorecer uma maior compreensão da disciplina, trazendo mais significado ao estudá-la, fornecendo ao aluno uma visão mais consistente de sua aplicação.

O experimento foi desenvolvido como atividade prática no ensino de Física, tendo o propósito de motivar os alunos, dando a eles uma aprendizagem com significado, apresentando uma relação entre teoria, prática e aplicação. Assim buscou-se incentivá-los a se



aprofundar cada vez mais nesta área, além de mostra-lhes uma aplicação prática e social na construção do conhecimento.

Os conhecimentos de Física adquiridos na escola devem proporcionar competências e habilidades para que o aluno consiga identificar fenômenos no seu cotidiano, tornando-se um indivíduo conhecedor do papel dessa ciência na interpretação da natureza.

Neste contexto a maneira de se trabalhar a Física deve estar voltada a um ensino aplicável não só para quem será físico, mas para um cidadão comum que precisa entender e participar de um mundo que se moderniza a cada momento, muito embora os métodos de ensino ainda não seguem essa perspectiva.

Os alunos tradicionalmente estão acostumados a ver a Física somente dentro da sala de aula, com alguns professores repetindo que se deve aprender Física para passar no vestibular, e de tanto ter contato com essa forma de abordagem, a sua aplicação prática vai ficando no esquecimento. Portanto é importante trabalhar com experimentos bem contextualizados com a vida cotidiana do aluno, para que este vivencie e saiba a funcionalidade dos conteúdos de Física estudados no colégio. No momento que o aluno interage e ajuda a construir um equipamento visando sua aplicação prática, ele está apropriando-se dos conhecimentos de Física, interpretando, avaliando e intervindo diretamente no processo científico e tecnológico, tendo ele condições de debater e intervir na sociedade com aquilo que aprendeu em seus experimentos.

O trabalho está dividido em 7 capítulos. O Capítulo 1, a Introdução, faz uma breve apresentação do trabalho com justificativa e objetivos da pesquisa.

No Capítulo 2 é discutida a Energia Solar é gerada e como essa energia é distribuída e chega até o planeta Terra.

No Capítulo 3 são apresentados diferentes tipos de fornos solares e os conteúdos que explicam seu funcionamento e podem ser trabalhados em sua utilização.

No Capítulo 4 é apresentada a metodologia, onde são mostrados todos os passos da pesquisa, como quantidade de alunos, como foi seu desenvolvimento, que tipo de questionário ou entrevista foi usado, como foi a construção e análise do forno solar, quais alimentos foram cozidos, qual a potência e rendimento do forno solar e como ocorreu a apresentação do forno na comunidade de trabalhadores rurais, ou seja, todos as etapas do desenvolvimento da pesquisa.

Os resultados e discussões são apresentados e analisados no Capítulo 5 com todos os resultados obtidos, qual viabilidade do forno solar como ferramenta pedagógica no ensino de Física e no cozimento de alimentos, assim como as impressões da comunidade onde o forno solar foi apresentado.

No Capítulo 6 são apresentadas as considerações finais, com uma análise geral de todos os resultados obtidos, qual viabilidade do forno solar como ferramenta pedagógica no ensino de Física e no cozimento de alimentos, assim como as impressões da comunidade onde o forno solar foi apresentado.

No Capítulo 7 é feita a apresentação do produto educacional, onde se destacam suas características e finalidades.

## 2 ENERGIA SOLAR

Esse capítulo trata da energia solar, desde sua formação no centro do Sol e a forma como essa energia é transmitida até a Terra.

A base do funcionamento do mundo moderno esta diretamente ligada ao uso de combustíveis fósseis que emitem grandes quantidades de poluentes na atmosfera e são largamente utilizados nos transportes, na indústria e na geração de eletricidade. Entretanto essas fontes de energia a cada dia estão mais escassas. O petróleo que atualmente é responsável por metade da energia consumida no mundo, tem reservas finitas, ou seja, não renováveis e chegará ao fim em menos de cem anos como destaca Burattini (2008, p.36). Em consequência dessas fontes de energia fóssil serem finitas, surge então uma procura cada vez maior por fontes de energias renováveis, como energia solar e eólica, provocando assim a necessidade de uma educação voltada para o incentivo do uso de energias renováveis, a conscientização da sociedade para se trabalhar com sistemas que usem energia limpa.

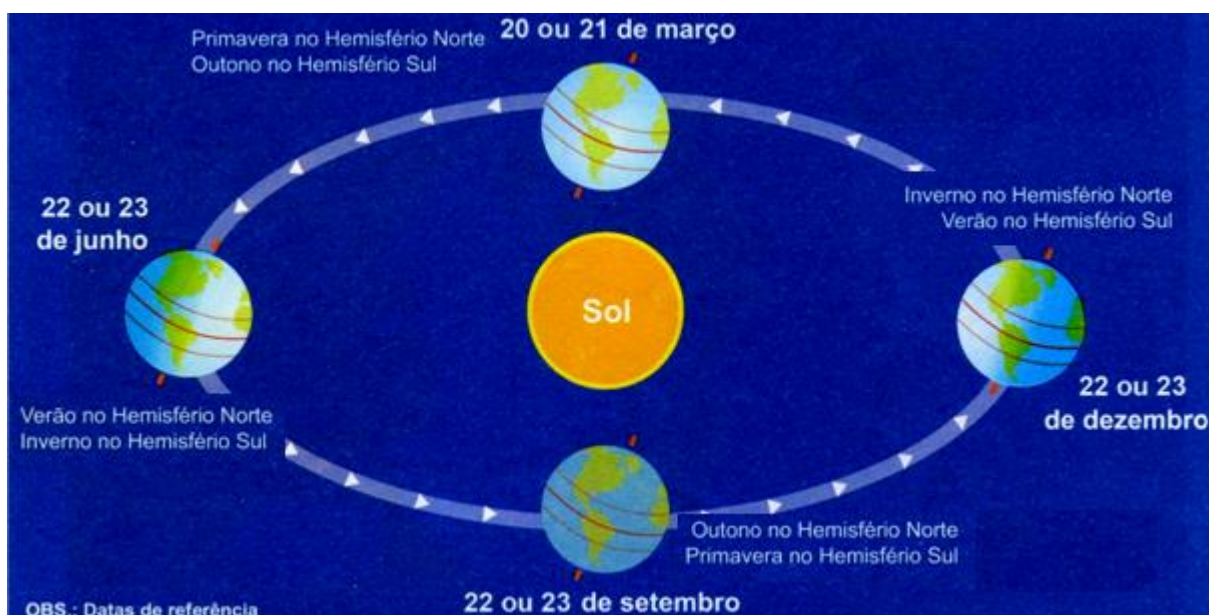
O Sol é a grande fonte de energia da Terra. É dele que a Terra recebe luz e calor. A radiação solar atravessa o espaço, chega à Terra e ao atingir a matéria existente fornece luz e calor o suficiente para a manutenção da vida no planeta. Não se pode pensar em vida no planeta sem o calor fornecido pelo Sol.

O Sol é uma fonte de energia renovável e o aproveitamento desta energia como fonte de calor, é uma das alternativas energéticas mais promissoras no novo milênio.

A disponibilidade da energia solar depende das condições atmosféricas, como por exemplo, a nebulosidade, a umidade relativa do ar, etc.

Mas em virtude da inclinação do eixo em torno do qual a terra realiza seu movimento de rotação e à trajetória em elipse descrita pela Terra em seu movimento de translação ao redor do Sol, a disponibilidade dessa energia depende também da latitude local e da posição no tempo (hora do dia e dia do ano), como ilustrado na Figura 1.

Figura 1- Terra em seu movimento de translação em torno do Sol

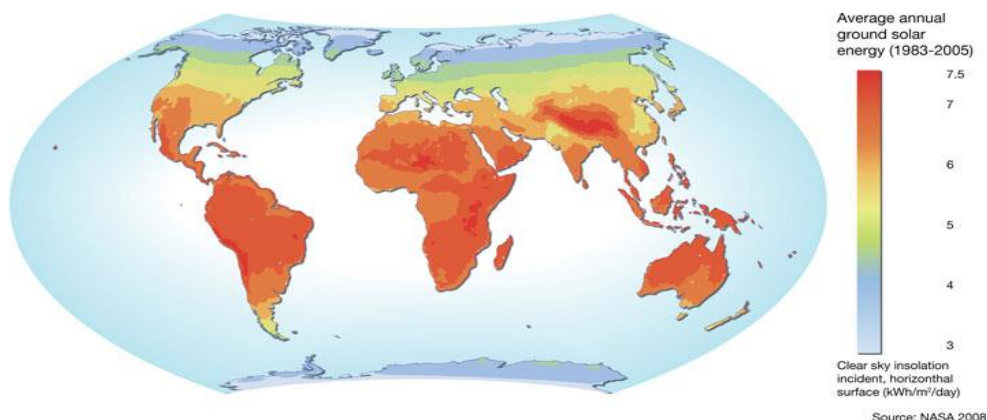


Fonte <http://candidopedrosa.blogspot.com.br/2013/04/aula-2-de-ciencias-do-6-ano.html>

Os períodos de visibilidade do Sol, que determinam a duração solar do dia, variam em algumas regiões e períodos do ano, podendo sofrer grandes variações desde zero, quando o Sol não aparece até 24 h, quando o Sol não se põe. Essas variações são marcantes nas regiões polares, por exemplo. Entretanto, nas regiões próximas à linha do Equador, ocorre exatamente o inverso, ou seja, não são observadas grandes variações na duração do dia solar. São essas variações que classificam as diferentes regiões no mundo como sendo melhores ou piores para o uso da energia solar.

A Figura 2, mostra em um mapa a energia solar anual média recebida ao nível do solo no período de 1983 a 2005, nas diferentes regiões da Terra.

Figura 2- Mapa da energia solar anual média recebida ao nível do solo (1983-2005) nas diferentes regiões da Terra. Valores em kWh/m<sup>2</sup>/dia.



Fonte: <http://www.fogaosolar.net/introd.html>

Como grande parte do território brasileiro está localizada relativamente próxima da linha do Equador, não se observam grandes variações na duração solar do dia, colocando o Brasil como um potencial usuário da energia solar.

A energia solar pode ser a solução ideal para áreas afastadas e ainda não eletrificadas, especialmente num país como o Brasil onde se encontram bons índices de insolação em qualquer parte do território. O Nordeste do Brasil é uma região muito propícia para a utilização de métodos alternativos de uso da energia solar, por ser uma região próxima ao equador, apresentando uma alta taxa de incidência da radiação solar praticamente o ano todo. Estimativas da radiação solar são apresentadas em vários estudos, podendo-se citar os trabalhos de Araújo e Meneses (2009).

O Sol irradia por ano de forma contínua uma potência de cerca de  $390 \times 10^{21}$  kW, ou seja,  $390 \times 10^{21}$  Joules energia por segundo. Para comparação em 2006 o Brasil possuía de capacidade instalada de energia elétrica  $96,63 \times 10^9$  W de energia, incluindo hidroelétricas, termelétricas e nucleares (informações coletadas do Balanço Energético Nacional/ano base 2006. p.23). Obviamente, essa energia é irradiada em todas as direções, de modo que a energia solar que chega ao nosso planeta é calculada como sendo da ordem de  $1,5 \times 10^{18}$  (1.500 quatrilhões ) de quilowatts-hora por ano. Segundo Magnoli, D.Scalzaretto (1998), uma parte do milionésimo de energia solar que o Brasil recebe durante o ano poderia fornecer um suprimento de energia equivalente a:

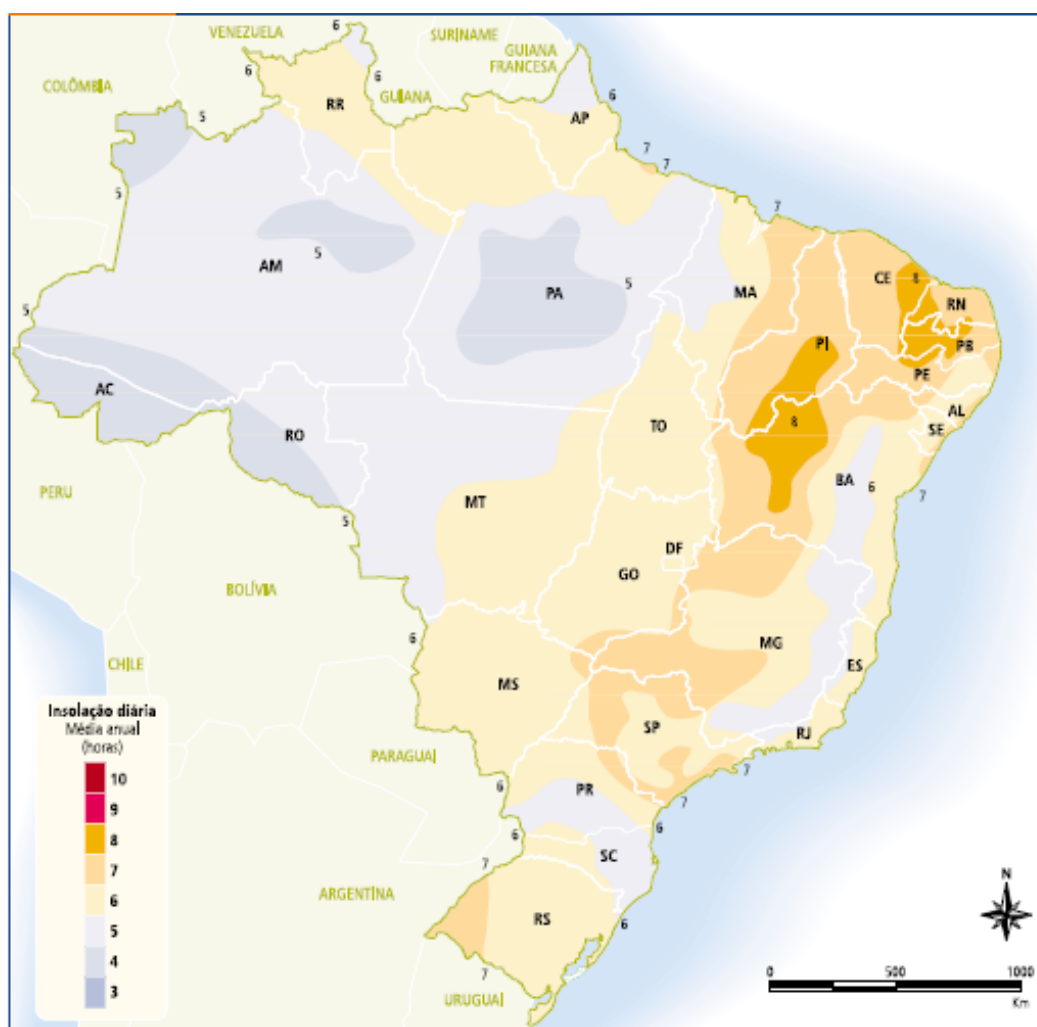
- 54% do petróleo nacional
- 2 vezes a energia obtida com o carvão mineral
- 4 vezes a energia gerada no mesmo período por uma usina hidrelétrica.

No Brasil, entre os esforços mais recentes e efetivos de avaliação da disponibilidade de radiação solar, destacam-se os seguintes:

- Atlas Solarimétrico do Brasil, iniciativa da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) e da Companhia Hidroelétrica do São Francisco (CHESF), em parceria com o Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (CRESESB);
- Atlas de Irradiação Solar no Brasil, elaborado pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e pelo Laboratório de Energia Solar (Labsolar) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

Os resultados destes trabalhos mostram que a radiação solar no país pode atingir um máximo de 22 MJ/m<sup>2</sup>, o que equivale a cerca de 6,7 kWh/m<sup>2</sup>, durante o dia, sendo que as menores variações ocorrem nos meses de maio a julho, quando a radiação pode chegar a 18 MJ/m<sup>2</sup> ou 5 kWh/m<sup>2</sup>. Ainda de acordo com o resultado dos estudos, o Nordeste brasileiro é a região de maior incidência de radiação solar, com média anual comparável à algumas regiões mais ensolaradas do mundo, como a cidade de Dongola, no deserto do Sudão, e a região de Dagget, no Deserto de Mojave, Califórnia, EUA. A figura abaixo mostra a média anual de insolação direta no Brasil.

Figura 3- Média anual de insolação direta no Brasil



Fonte: ATLAS de Irradiação Solar no Brasil. 1998, [http://www.lepten.ufsc.br/pesquisa/solar/atlas\\_de\\_irradiacao.pdf](http://www.lepten.ufsc.br/pesquisa/solar/atlas_de_irradiacao.pdf)

Como se pode ver, o Ceará está na região de alta média de insolação direta, o que favorece o uso da energia solar.

O Sol que é a estrela mais próxima da Terra, a uma distância aproximada de 150 milhões de quilômetros, tem sua composição formada principalmente por hidrogênio e hélio como mostra a Tabela 1.

Tabela 1 - Composição do Sol

Elemento	Porcentagem
Hidrogênio	92,1%
Hélio	7,8%
Oxigênio	0,061%
Carbono	0,039%
Nitrogênio	0,0084%

Fonte: Silva (2006,p.22)

Pode-se perceber que o hidrogênio é o elemento que se apresenta em maior percentual, sendo o principal responsável pela geração de energia do Sol.

Os átomos de hidrogênio têm em seu núcleo um próton, e um elétron em sua eletrosfera.

A fusão nuclear é o processo em que núcleos leves se fundem para formar núcleos mais pesados. Devido à situação de elevada energia e temperatura no interior das estrelas, a repulsão colombiana entre os núcleos de hidrogênio é vencida sendo promovida a fusão desses núcleos.

Um dos possíveis processos que ocorrem no interior do Sol é a fusão de dois núcleos de hidrogênio ( ${}_1H^1$ ), formando um núcleo de deutério ( ${}_1H^2$ ) com a liberação de um pósitron  $e^+$  (partícula com carga positiva e mesma massa do elétron, também conhecida como antielétron) e um neutrino  $\nu$  (partícula com massa muito pequena e sem carga elétrica), como se pode ver na reação nuclear esquematizada na Expressão 1.



O pósitron proveniente dessa reação ao entrar em contato com elétrons naquela região se aniquila mutuamente, formando fótons de alta energia, mostrado na Expressão 2.



Já o neutrino que pouco interage com a matéria, viaja pelo espaço. Diariamente o planeta Terra é atravessado por neutrinos vindos do Sol e de outras estrelas como destaca Silva (2006, p.33).

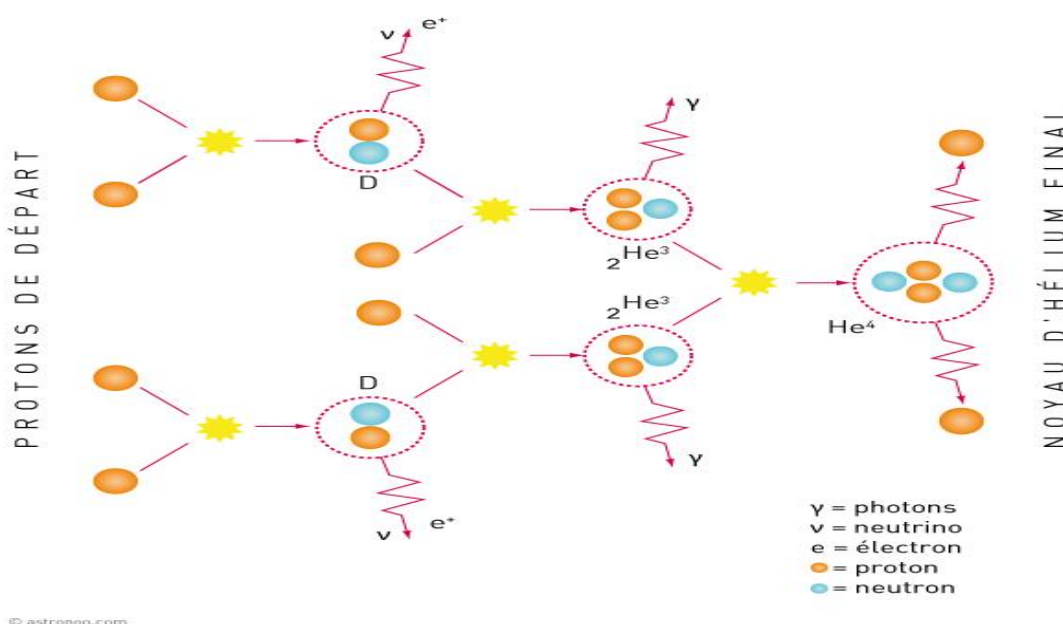
O deutério ( ${}_1\text{H}^2$ ) formado dessa reação pode fundir-se com outro núcleo de hidrogênio  ${}_1\text{H}^1$  formando um núcleo de Hélio-3 ( ${}_2\text{He}^3$ ), liberando energia. O Hélio-3 por sua vez pode fundir-se com outro nuclídeo de ( ${}_2\text{He}^3$ ) proveniente de uma mesma reação paralela formando uma partícula alfa, que é um núcleo de ( ${}_2\text{He}^4$ ), mais dois núcleos de hidrogênio liberando mais energia. O esquema dessa reações são mostrados nas expressões (3) e (4).



Onde E é a energia liberada na reação.

A Figura 4 mostra um exemplo da reação de fusão nuclear em que quatro núcleos de hidrogênio ( ${}_1\text{H}^1$ ) fundem-se formando núcleos de Hélio-4 ( ${}_2\text{He}^4$ ) no conhecido ciclo próton-próton.

Figura 4 – Representação do ciclo próton-próton



Fonte: <http://www.astronoo.com/articles/tempetesSolaires.html>



A energia liberada nesses processos decorre da equivalência massa-energia, de acordo com a equação de Einstein:

$$E = (M_{Entrada} - M_{Saida}) \cdot c^2 \quad (5)$$

Onde  $M_{entrada}$  é a massa dos componentes antes da reação e  $M_{saida}$  é a massa dos produtos finais da reação. Por exemplo, se 4 núcleos de hidrogênio ( ${}_1\text{H}^1$ ) fundem-se para formar um núcleo de hélio-4 ( ${}_2\text{He}^4$ ), a energia liberada será da ordem de  $4,2 \times 10^{-12} \text{J}$ , considerando como a massa entrada a massa de quatro núcleos de hidrogênio  $4m_p$  (onde  $m_p$  é a massa do próton que vale  $1,673 \times 10^{-27} \text{Kg}$ ) e a massa saída da partícula alfa formada ( $m_{\text{He}4}$ ) que vale  $6,645 \times 10^{-27} \text{Kg}$  e  $c$  a velocidade da luz no vácuo que vale aproximadamente  $3,0 \times 10^8 \text{m/s}$ .

O valor citado acima é pequeno, mas, sabendo que no centro do Sol são convertidas cerca de 700 milhões de toneladas de hidrogênio a cada segundo, formando  $10^{38}$  novos núcleos de hélio por segundo, essa energia segundo Silva (2006, p.33) é equivalente ao funcionamento de todas as usinas brasileiras durante 150 milhões de anos.

Parte dessa energia é gradualmente transportada para a superfície solar, de onde é irradiada para o espaço na forma de ondas eletromagnéticas, entre elas luz visível. Uma parte dessa energia chega até o planeta Terra sendo responsável pela manutenção da vida em todo planeta.

## 2.1 Radiação solar

Esta seção apresenta considerações sobre fluxo de radiação, irradiância e irradiação para uma melhor compreensão do conceito de radiação solar. Essas definições são importantes, pois, ajudam a compreender melhor como e de que depende a irradiação.

A Potência (P) é definida como sendo a taxa de variação de energia radiante ( $E_r$ ) recebida, transmitida ou emitida, pela taxa de variação de tempo, ou seja:

$$P = \frac{dE_r}{dt} \quad (6)$$

A Irradiância ( $I_r$ ) representa a taxa de variação da Potência (P) por unidade de área perpendicular a incidência, ou seja.

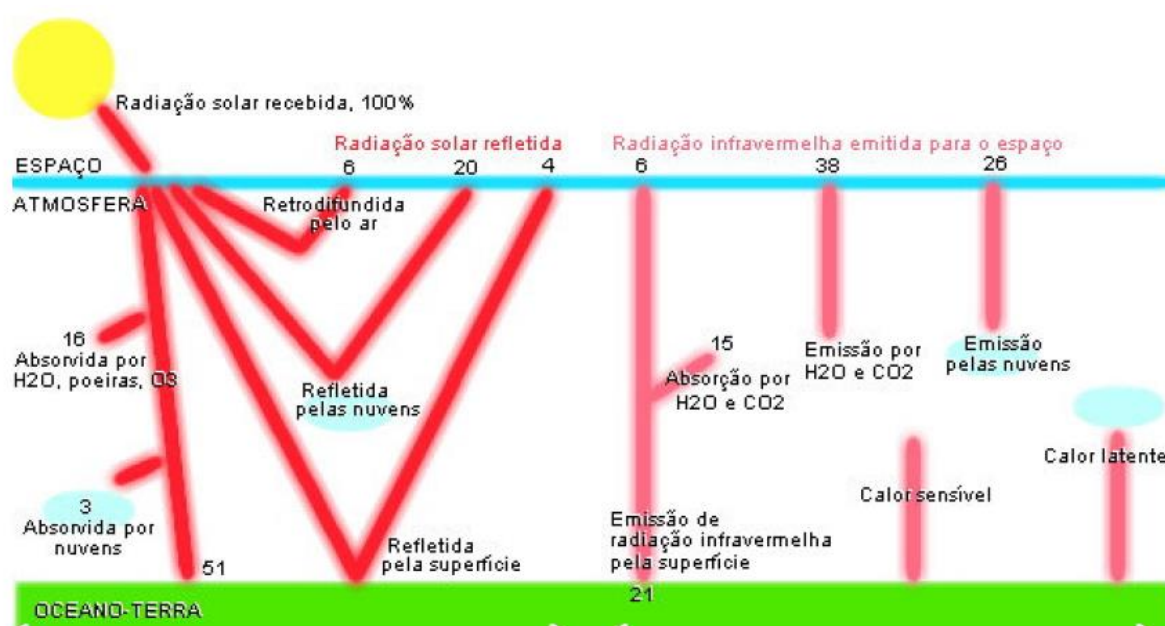
$$I_r = \frac{dP}{dA} \quad (7)$$

De acordo com as leis da Termodinâmica quando se trabalha com energia sempre existirá uma perda, ou seja, não se consegue usar toda energia que é fornecida a um sistema. E com a energia que se recebe do Sol não poderia ser diferente, pois a partir do momento que essa radiação solar chega até o planeta e entra em contato com a atmosfera terrestre começa o processo de absorção e perdas de energia como destaca Pereira e Martins (2006):

Ao atravessar a atmosfera, a radiação solar é atenuada por processos físicos de espalhamento e absorção com os constituintes atmosféricos e a superfície do planeta. [...] As nuvens, os gases, partículas atmosféricas e a superfície refletem cerca de 30% da radiação incidente no topo da atmosfera. Os 70% restantes são absorvidos produzindo aquecimento do sistema e causando evaporação de água (calor latente) ou convecção (calor sensível). A energia absorvida pelo sistema Terra-Atmosfera é reemitida na faixa do infravermelho do espectro de radiação eletromagnética – 4 a 100 $\mu$ m – sendo que 6% é proveniente da superfície e 64% tem origem em nuvens e constituintes atmosféricos. (MARTINS, 2006, p.14)

Os processos de atenuação da radiação solar fazem com que apenas 70% da radiação incidente seja absorvida pelo planeta. Entretanto, de acordo com Oliveira, Silva e Henriques (2009, p.34) deste percentual 16% é absorvida pelo ozônio, água, poeira e 3% pelas nuvens o restante é responsável por todo processo termodinâmico que ocorre no planeta como destacado na Figura 5.

Figura 5 - Balanço de energia solar até atingir a superfície da Terra



A energia solar que atinge a superfície terrestre é denominada radiação global. Conforme Silva (2005,p.206) a radiação é dividida em radiação direta e radiação difusa. A radiação direta, provém diretamente do disco solar, quando este se mostra total ou parcialmente visível e a radiação difusa é resultante da ação de espalhamento da atmosfera e que atinge o local considerado após ter sofrido um ou mais desvios.

A radiação normal (radiação que incide perpendicularmente à superfície)por unidade de área que chega a Terra fora dos limites da atmosfera é chamada de constante solar,representada por  $S_0$  cujo valor calculado pela Organização Meteorológica Mundial, do inglês World Meteorological Organization (WMO).é de  $1367 \text{ W m}^{-2}$ , dados de Porfírio (2012, p. 11).

A energia solar, como já citado anteriormente, não é distribuída uniformemente em todo planeta. Sua intensidade depende de vários aspectos, como estações do ano, coordenadas geográficas, latitude, por exemplo. Com isso pode-se inferir que as localidades próximas à linha do Equador, ou seja, com latitude próxima ou igual  $0^\circ$  são mais propícias a captarem energia solar por irradiância direta normal. Os países que se encontram nessa região podem explorar de todas as formas a energia solar, desde painéis fotovoltaicos para geração direta em energia elétrica, até concentradores solares.

O grande potencial de energia solar que o Brasil apresenta, não tem sido aproveitado como deveria. Como se pode observar na Tabela 2, a região Nordeste apresenta a maior disponibilidade energética com média entre  $5,8 \text{ kWh/m}^2$  (Radiação Média no Plano Inclinado, radiação com inclinação dos raios solares) e  $5,9 \text{ kWh/m}^2$  (Radiação Global Média).

Tabela 2. Potência anual de energia solar em cada uma das cinco regiões brasileiras

REGIÃO	RADIAÇÃO GLOBAL MÉDIA	RADIAÇÃO MÉDIA NO PLANO INCLINADO
NORDESTE	$5,9 \text{ kWh/m}^2$	$5,8 \text{ kWh/m}^2$
CENTRO-OESTE	$5,7 \text{ kWh/m}^2$	$5,7 \text{ kWh/m}^2$
SUDESTE	$5,6 \text{ kWh/m}^2$	$5,7 \text{ kWh/m}^2$
NORTE	$5,5 \text{ kWh/m}^2$	$5,4 \text{ kWh/m}^2$
SUL	$5,2 \text{ kWh/m}^2$	$5,0 \text{ kWh/m}^2$

Fonte: Dados da tabela, Pereira, Martins (2006, p.48)

A cidade de Quixeramobim, por exemplo, no centro do Estado do Ceará, com coordenadas geográficas de  $5^\circ 10' \text{ S}$  (Latitude),  $39^\circ 17' \text{ W}$  (Longitude) e 79,5m de altitude

segundo Porfírio (2012, p. 27) é uma cidade com excelente potencial para o uso de energia solar, pois está localizada próxima à linha do Equador.

A Figura mostra a posição geográfica do estado do Ceará e de Quixeramobim no mapa mundi.

Figura 6 – Localização da cidade de Quixeramobim

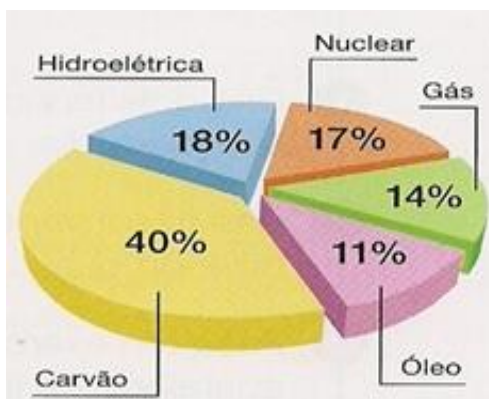


Fonte: <http://www.semptops.com/estudo/mapa-mundi-politico-atual-para-imprimir-e-colorir/> (modificado pelo autor)

Atualmente no Brasil, as maiores fontes de energia ainda são as hidrelétricas, seguidas das usinas termelétricas e em pequeno potencial as usinas nucleares Angra I e Angra II localizadas em Angra dos Reis, no estado do Rio de Janeiro. Apesar do país ter um grande potencial para energia solar, a geração de eletricidade do estado do Rio de Janeiro por exemplo, depende da operação dessas usinas nucleares, como destaca Burattini (2008, p.52).

As maiores fontes de energia do mundo têm como matéria prima, combustíveis fósseis que emitem poluentes diretamente na atmosfera como é o caso do carvão mineral como pode ser observado na Figura 7 onde é apresentado o percentual de geração de energia elétrica em todo mundo.

Figura 7 – Figura com as contribuições das fontes de energia na geração de energia elétrica.



Fonte: Burattini (2008, p.53)

Analisando a figura, observa-se que a menor parte da geração de energia elétrica, provém de fontes renováveis como é o caso das hidrelétricas com apenas 18%. O restante provém de combustíveis não renováveis como, carvão contribuindo com 40%, gás 14%, nuclear 17% e óleo 11%. A desvantagem das energias não renováveis como carvão, gás e óleo é a produção de grandes quantidades de gases poluentes na atmosfera, contribuindo para elevação da temperatura global pela alteração no efeito estufa, conforme Burattini (2008, p.38).

Sendo a energia solar tão abundante, uma alternativa seria substituir parte da energia proveniente de fontes não renováveis, por energia solar, minimizando o impacto ambiental e extinguindo os riscos que essas fontes cheguem ao fim.

As três formas de captação da energia solar são:

- a) aquecimento passivo;
- b) aquecimento ativo;
- c) geração de eletricidade.

A primeira utilização da energia do Sol foi o aquecimento passivo.

Um exemplo de como isso ocorre é o aquecimento do teto das casas. Os engenheiros, dependendo da região do país, constroem casas com tetos mais baixos ou mais altos para usar ou dissipar melhor o calor absorvido pelo teto.

O aquecimento ativo é uma forma mais direta de captar o calor do Sol, com o uso de coletores solares e concentradores. Os coletores são equipamentos que captam a energia do Sol e servem para aquecer água em residências e hotéis dentre outras utilidades, como dissecar frutas.

Outra forma de gerar eletricidade com luz solar é a geração direta, com o uso de células fotovoltaicas feitas de semicondutores, como por exemplo o silício. Os princípios de funcionamento destas células fotovoltaicas envolvem conceitos de Física Moderna que fogem dos objetivos deste trabalho e por este motivo não serão abordados.

No próximo capítulo os concentradores ou fornos solares, serão abordados em detalhes.

### 3 O FORNO SOLAR

Concentradores solares, são equipamentos que por serem construídos com espelhos côncavos ou planos, concentram para um determinado ponto a luz solar que neles incide. A concentração da luz solar para esse ponto, provoca um considerável aumento na intensidade da radiação, de modo que um objeto ou substância ali colocado pode atingir altas temperaturas. Esses concentradores são também chamados de fornos solares de acordo com Burattini (2008, p.92) e podem ser utilizados na cocção de alimentos e esterilização da água.

O primeiro forno solar foi criado pelo naturalista francês Horace Benédicte de Saussure em 1767 e os primeiros experimentos com esse tipo de forno foram descritos por seu filho Nicolas Théodore de Saussure. Seu forno foi construído com duas caixas de madeira de pinho uma dentro da outra, isoladas com lã com três coberturas de vidro. Com esse forno, Saussure conseguiu a temperatura de 90° C.

Além de Saussure e seu filho, outros fornos solares também foram desenvolvidos por diversas outras pessoas, como o matemático e astrônomo inglês John Herschel (1792 — 1871) que em 1837 usou fornos solares em uma expedição que fez à África do Sul. William Adams, na Índia em 1878, desenvolveu um equipamento capaz de cozinhar 6 kg em um período de tempo de 4 a 5 horas. No ano de 1870, Augustine Mouchot, desenvolveu um forno solar capaz de assar 0,5 kg de pão em 45 minutos.

Segundo Melo (2008, p.12) no Brasil, o estudo dos fornos solares teve início no Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal da Paraíba na década de 80, através do Professor Arnaldo Moura Bezerra.

Embora a utilização da energia solar em larga escala ainda seja restrita, no mundo inteiro já há iniciativas de diversos países para aproveitar a energia solar, seja por meio de painéis fotovoltaicos, seja por meio de fornos solares. Em Israel cerca de 70% das residências usam placas coletoras e na Indonésia, aproximadamente 15 mil casas têm sua iluminação feita 100% através da energia solar.

A França é a pioneira em obtenção e uso de energia solar. Em 1969, foi inaugurado o forno solar de Odeillo, nos Pirineus, um dos maiores fornos solares do mundo com uma potência térmica de 1MW. Na torre do coletor a temperatura chega a atingir 3800° C. Nessa região dos Pirineus Orientais, a Universidade de Perpignan, tem a energia solar como destaque em suas pesquisas.

A companhia portuguesa SunOK, fundada no final de 2008, é responsável pela produção dos primeiros fornos solares em larga escala.

Estima-se que na China existem, em uso, mais de 500.000 fornos solares do tipo parabólico.

A organização internacional *Solar Cookers International* (SCI) (<http://www.solarcookers.org/>), tem como missão difundir a técnica de cozimento com fornos solares por todo mundo, priorizando as pessoas mais necessitadas. A meta da SCI é promover o acesso às técnicas de cozimento com energia solar para pelo menos 20% de todas as famílias no planeta até 2030. No ano de 1990, a SCI distribuiu fornos solares a 28 mil famílias no Quênia. Oito anos mais tarde, cerca de 20% dessas famílias ainda continuava usando os seus fornos solares. Mais de 155 mil fornos solares foram distribuídos globalmente pela SCI.

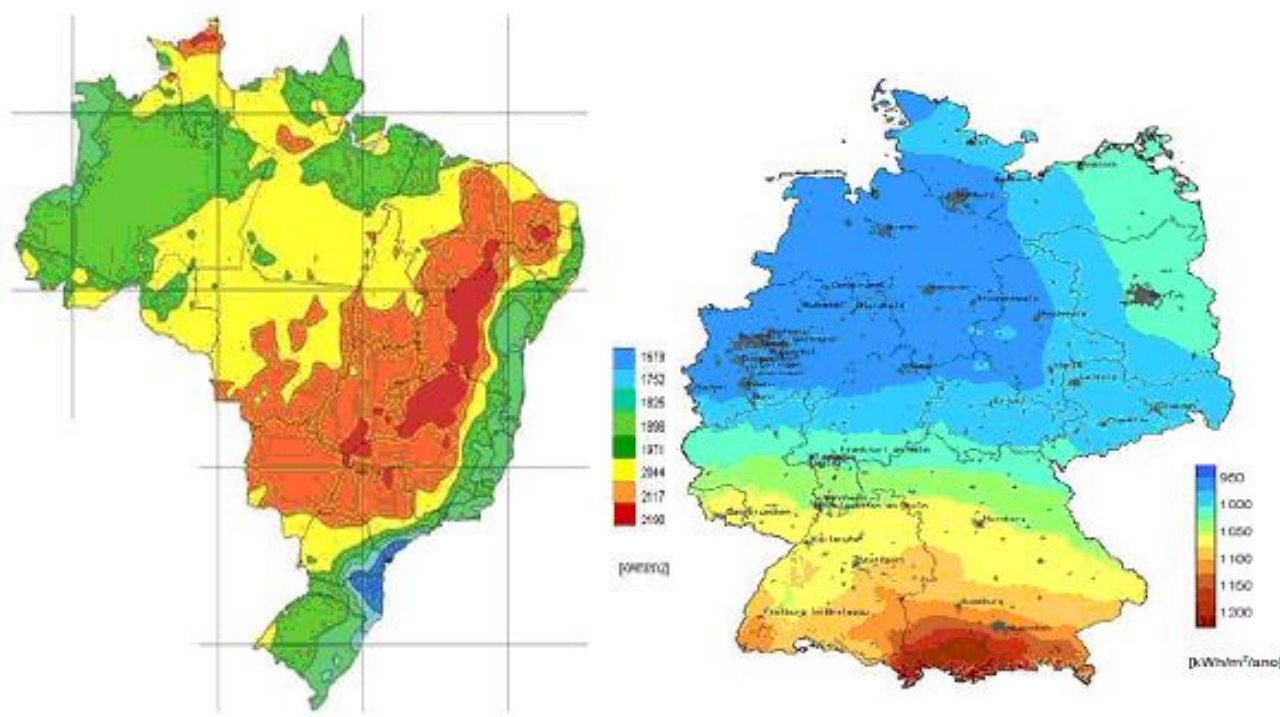
Ainda hoje os fornos solares são utilizados na Índia, China, Quênia, Afeganistão e Senegal, visto que esse equipamento pode ser usado em zonas onde existe escassez de combustíveis sólidos (lenha, carvão). A utilização destes equipamentos é uma solução para cozinhar alimentos.

Atualmente a Alemanha é uma das líderes mundiais em produção de energia solar, chegando a produzir 24.700 MW por ano, esses dados podem ser encontrados em <http://preservacaobrasil.blogspot.com.br/2013/04/os-10-paises-que-mais-produzem-energia.html>.

De acordo com o artigo de Rütther, Ricardo e Salamoni, Isabel, disponível em <http://www.forumpatrimonio.com.br/print.php?articleID=203&modo=1#>). “a região menos ensolarada do Brasil recebe aproximadamente 25% mais irradiação solar do que a região mais ensolarada da Alemanha” Entretanto o Brasil ainda não aproveita plenamente todo o seu potencial solar. A Figura 8 mostra as médias anuais da Irradiação solar no Brasil e na Alemanha.



Figura 8 - Média anual da radiação solar global no Brasil e na Alemanha



Fonte. Adaptado de (<http://www.forumpatrimonio.com.br/print.php?articleID=203&modo=1#>).

Em fevereiro de 2014 foi inaugurada na Califórnia, Estados Unidos, a maior instalação solar térmica do mundo, capaz de gerar até 392MW de energia, segundo informes de <http://canaltech.com.br/noticia/sustentabilidade/Maior-usina-de-energia-solar-do-mundo-e-inaugurada-na-California/#ixzz3OAWe02Mi>.

O forno solar é um equipamento para o cozimento de alimentos usando apenas energia solar. Sua fabricação pode ser feita com material simples e de baixo custo. A seguir serão apresentados vários tipos de fornos solares.

### 3.1 Forno Parabólico

O forno solar parabólico consiste de um espelho esférico que tem como função convergir para o foco toda a radiação solar que nele incide. Com isso, tem-se a maior absorção de luz solar, essa luz solar ao entrar em contato com a superfície preta da panela, faz com a mesma aqueça e chegue a temperaturas ideais para cozimento de alimentos, esterilização de água ou dissecação de alimentos. A Figura 9 mostra um forno parabólico.

Figura 9- Forno Solar Parabólico



Fonte <http://www.cienciaviva.pt/rede/himalaya/home/indice.asp>

### 3.2 Forno Solar Estilo Caixa

O forno solar tipo caixa, consiste de 4 espelhos planos que refletem a radiação solar para dentro de uma caixa com tampa de vidro transparente. A radiação infravermelha, componente da luz solar, não consegue passar através da tampa de vidro e assim é criado um efeito estufa no interior da caixa. Isso proporciona altas temperaturas, permitindo o cozimento dos alimentos colocados em seu interior. A Figura 10 mostra um forno solar do tipo caixa.

Figura 10 - Forno Solar estilo caixa



Fonte: <http://www.cienciaviva.pt/rede/himalaya/home/indice.asp>

### 3.3 Forno Solar Estilo Painel

No forno solar estilo painel usam-se espelhos planos para refletirem os raios solares para uma região onde se coloca uma panela de cor preta, para garantir maior absorção de energia.

Para evitar a perda de calor, já que não se usa uma caixa como no forno anterior, cobre-se a panela com uma redoma de acrílico ou vidro, para garantir o contato da radiação solar com a panela e a retenção dos raios infravermelhos. Dessa forma, a componente infravermelha fica retida, ocorrendo o efeito estufa, pois o acrílico e o vidro são transparentes à radiação visível, mas opacos à radiação infravermelha. A Figura 11 destaca este tipo de forno solar.

Figura 11– Forno solar tipo painel



Fonte: <http://www.cienciaviva.pt/rede/himalaya/home/indice.asp>

### 3.4 O forno solar como uma ferramenta no ensino de Física

O forno solar foi utilizado como ferramenta no ensino de física como laboratório nos conteúdos de Calorimetria, Termodinâmica e Ótica. Este tópico trata dos conteúdos que foram trabalhados com o forno solar e da relação que existe entre esses conteúdos e o Forno.

### 3.4.1 Calor fornecido pelo forno

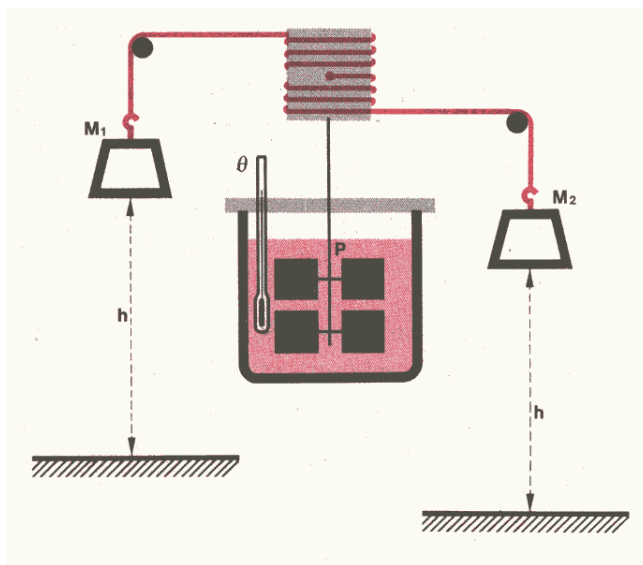
Durante muito tempo os físicos procuravam uma explicação para o que seria o calor. No século XVIII uma das hipóteses mais consistentes era que o calor seria um fluido que preencheria os corpos e escoaria sempre do corpo mais quente para o corpo mais frio.

A essa substância, Lavoisier chamou de calórico como destaca Nusseveig (2002).

...calor era uma substância fluida indestrutível que preencheria os corpos e escoaria sempre de um corpo mais quente para um mais frio. Lavoisier chamou essa substância hipotética de “calórico”. Já no século XIX, Mayer deduziu um valor do equivalente mecânico, que difere do atual em 10%. Entretanto seu trabalho foi considerado muito especulativo. As experiências básicas para a obtenção do equivalente mecânico da caloria, foram realizadas no período de 30 anos pelo cervejeiro e cientista amador inglês James Prescott Joule em 1868. A partir dos seus estudos, ele chegou finalmente a um resultado de grande precisão (NUSSENZVEIG, 2002, p.168)

Não foi fácil estabelecer o conceito de calor. O trabalho de James Prescott Joule foi de fundamental importância para o estudo do calor, estabelecendo a equivalência mecânica do calor, numa comprovação de que calor é uma forma de energia. Seu experimento bastante simples, mas de grande utilidade, consistia num arranjo como o da Figura 12.

Figura 12 - Arranjo usado no experimento de Joule



Fonte: [http://profs.ccems.pt/PauloPortugal/CFQ/Experiencias\\_de\\_Joule/Equivalncia\\_Trabalho\\_Calor.html](http://profs.ccems.pt/PauloPortugal/CFQ/Experiencias_de_Joule/Equivalncia_Trabalho_Calor.html)

O experimento consistia em deixar as massas  $M_1$  e  $M_2$  caírem de uma altura  $h$  fazendo as palhetas girar dentro do recipiente contendo água. A energia mecânica produzida pela queda das massas faria a água aquecer, pois Joule acreditava que existia uma equivalência entre calor e energia. Se a água aquecesse, o termômetro indicaria a variação de temperatura e foi o que ocorreu. Sendo assim Joule fez uma equivalência entre a energia mecânica liberada pelas massas e o calor absorvido pela água no recipiente. Como resultado dessa experiência, tem-se uma equivalência entre as unidades de energia, Caloria e Joule, conforme expresso na Equação 8.

$$1,0 \text{ caloria} = 4,186 \text{ Joules} \quad (8)$$

Calor é uma energia em trânsito que flui do meio de maior temperatura para o outro meio de menor temperatura.

O calor recebido ou cedido por um corpo depende também da substância, ou seja, do que ele é feito. Essa dependência é especificada pelo calor específico da substância. Além disso, depende também da quantidade de matéria. Por experimentação sabe-se que é bem mais fácil aquecer uma colher de sopa com uma vela, do que uma panela inteira do mesmo material, já que a panela possui uma massa maior comparada com a colher. O Calor é diretamente proporcional à massa ( $m$ ), diretamente proporcional ao calor específico ( $c$ ) e diretamente proporcional à variação de temperatura ( $\Delta T$ ). A Equação 9 é o esboço matemático do que foi dito anteriormente.

$$Q = m.c.\Delta T, \quad (9)$$

em que

$Q$  = quantidade de calor trocada,

$m$  = massa da corpo, ou objeto submetido á troca de calor,

$c$  = calor específico da substância de que o corpo ou objeto é feito,

$\Delta T$  = variação de temperatura sofrida pelo corpo ou objeto com a troca de calor.

Essa equação é conhecida como equação fundamental da Calorimetria.

### 3.4.2 Capacidade térmica e calor específico

A capacidade térmica é a grandeza física que relaciona a quantidade de calor recebida ou cedida por um corpo e sua variação de temperatura. A definição da capacidade térmica é dada pela Equação 10.

$$C = \frac{Q}{\Delta T}, \quad (10)$$

O calor específico é uma característica da substância, ou seja, representa a quantidade de energia necessária para elevar de 1°C a temperatura de 1 g de uma substância considerada. Por exemplo, a água tem calor específico de 1,0 cal/g°C isso significa que para elevar a temperatura de 1,0 g de água em 1,0°C é necessário a troca de 1,0 caloria. A definição do calor específico é dada pela Equação 11.

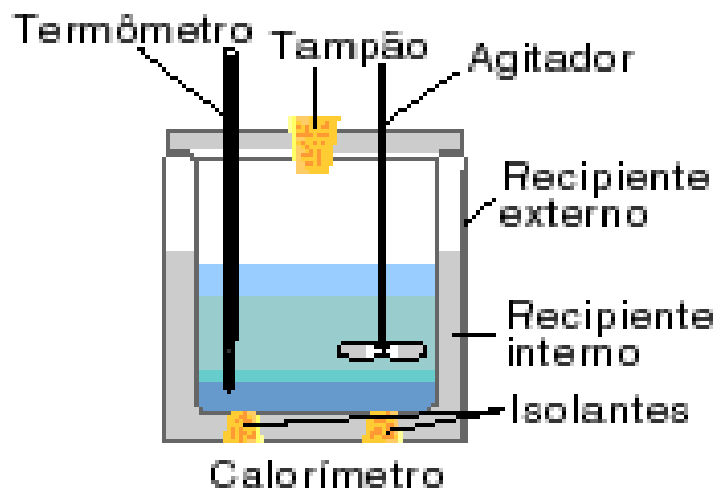
$$c = \frac{Q}{m\Delta T} \quad (11)$$

Tendo conhecimento sobre o calor específico, pode-se observar quais materiais necessitarão de mais energia para variar sua temperatura para uma mesma quantidade de massa.

### 3.4.3 Trocas de calor que ocorrem no forno solar

As trocas de calor são bastante comuns no dia a dia. O equipamento que tende a minimizar a perda de calor para o meio externo é o calorímetro, esse equipamento tem suas paredes constituídas de isolantes térmicos, minimizando as trocas de calor com o meio externo. Desta forma as trocas de calor ocorrem apenas entre as substâncias que se encontram dentro do calorímetro e o próprio calorímetro. A Figura 13 destaca um esquema representativo de um calorímetro.

Figura 13 - Esquema de um calorímetro



Fonte: <http://quimical.wordpress.com/termoquimica/>

Em uma troca de calor onde não há perdas para o meio externo como em um calorímetro, a somatória das quantidades de calor trocado é nula. Isso pode ser observado na Equação 12.

$$\Sigma[m \cdot c \cdot (T_E - T_0)] = 0 \quad (12)$$

Uma vez ocorrendo trocas de calor entre a panela e a água, e esta por sua vez aquecer, transmitirá calor aos alimentos. O tópico seguinte tratará dos conceitos e equações suficientes para o entendimento deste processo.

#### ***3.4.4 Mudanças de estado físico que as substâncias podem sofrer dentro do forno solar***

Uma substância pura pode apresentar-se em três estados físicos: sólido, líquido e gasoso, a energia interna de suas moléculas difere em cada estado físico.

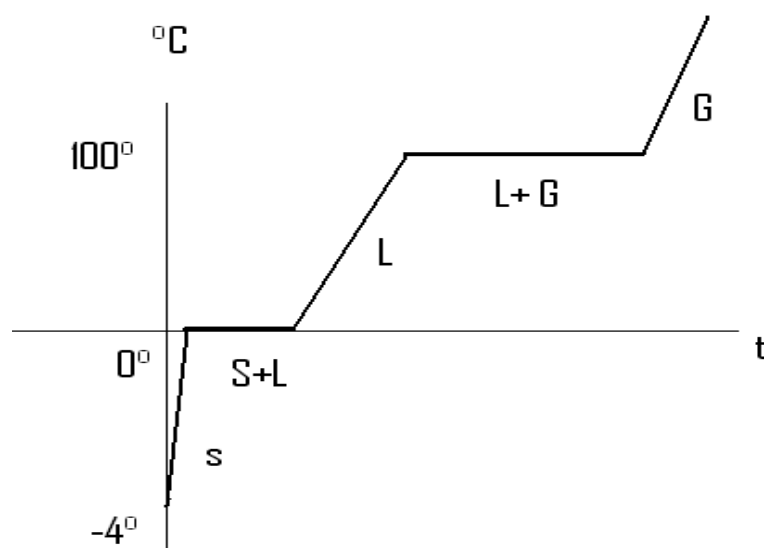
Na fase sólida, as moléculas estão dispostas e ligadas de uma maneira especial, denominada retículo cristalino. À medida que a temperatura aumenta, essa ligação vai sendo desfeita, até que essas moléculas adquiram uma liberdade de movimentação. Essa liberdade vai aumentando com a temperatura até que a substância mude de uma fase para outra. Nesta mudança, a substância pura mantém sua temperatura constante até que a transformação ocorra por completo. Nessa transição de uma fase para a outra, a substância recebe uma quantidade de calor denominada calor latente (L), responsável pela mudança de fase. Em resumo, a quantidade de calor trocado em um meio para mudar de fase uma massa (m) de uma

substância é dada pela Equação 13:

$$Q = m \cdot L \quad (13)$$

Essa equação é utilizada para calcular o calor necessário para uma amostra mudar seu estado de agregação e mudar de fase, ou seja, passar de um estado físico para outro. Nesse processo a temperatura permanece constante até que ocorra a mudança de fase como se pode observar no gráfico da Figura 14.

Figura 14 – Figura que representa as mudanças de estado da água.



Fonte: O autor

As partes horizontais caracterizam as mudanças de fase do sólido para líquido e de líquido para gasoso. Nestes intervalos a temperatura permanece constante, pois a substância recebe calor latente.

Serão abordadas a seguir, as formas de transmissão de calor que ocorrem na natureza.



### 3.4.5 Transmissão de calor que ocorrem na natureza

O processo de transmissão de calor se dá de três formas:

- Condução
- Convecção
- Radiação

A condução ocorre geralmente entre os sólidos, através do contato entre dois ou mais corpos, ou em um mesmo corpo que suas extremidades estejam com diferença de temperatura. Ao colocar um ferro longo, por exemplo, e deixar uma de suas extremidades em contato com o fogo tempo suficiente, se pode notar que a outra extremidade irá aquecer, mesmo que não tenha entrado em contato direto com o fogo. Isso ocorre porque a energia transferida do fogo para o ferro faz os átomos e moléculas começarem a vibrar e essa energia vai passando de átomo para átomo, transferindo energia em forma de calor até a outra extremidade.

Quando um corpo recebe uma quantidade de calor  $Q$ , e esta passa a fluir de um ponto de maior temperatura para um ponto de menor temperatura, dando origem a um fluxo de calor ( $\Phi$ ), que é diretamente proporcional a taxa de variação da temperatura ( $dT$ ), com o comprimento percorrido pelo fluxo ( $dx$ ) e diretamente proporcional a área de contato ( $A$ ), com mostra a Equação 14:

$$\Phi = \frac{dQ}{dt} = k \cdot A \frac{dT}{dx} \quad (14)$$

O fluxo de calor  $\Phi$  é a taxa de transferência de calor  $dQ$  em uma taxa de variação de tempo  $dt$ . A constante  $k$  responde pela condutividade térmica, seu valor varia de material para material, quanto maior for seu valor melhor condutor é o material.

A convecção ocorre quando um fluido como o ar ou a água, fica em contato com uma superfície cuja temperatura é maior do que a do fluido. A porção do fluido em contato com a superfície quente fica menos densa devido a agitação e separação das moléculas e passa a se expandir gerando correntes de convecção ascendente levando as moléculas de maior temperatura para cima, enquanto o fluido de cima mais denso tende a descer formando correntes de convecção descendentes.

A radiação é o único processo de transmissão de calor que ocorre no vácuo. Por esse processo o Sol aquece a Terra todos os dias. Todos os corpos recebem e emitem radiações eletromagnéticas, assim não estejam ao zero absoluto, quando os corpos estão em equilíbrio térmico com sua vizinhança emitem e absorvem radiação na mesma taxa. A taxa

com que um corpo irradia energia é diretamente proporcional a quarta potência de sua temperatura absoluta e sua equação será destacada no tópico seguinte.

### ***3.4.6 Potência irradiada pelo Sol sobre o forno solar***

A potência irradiada é a potência transmitida a um corpo ou absorvida por ele, através de irradiação térmica. A expressão da potência irradiada é dada pela Equação 15:

$$P = e \cdot \sigma \cdot A \cdot T^4 \quad (15)$$

Essa potência (P) depende da emissividade do corpo (e), da temperatura absoluta (T), e da área de contato (A), sendo ( $\sigma$ ), a constante de Stefan – Boltzmann que vale  $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-4}$ .

A maior parte da energia recebida pela Terra é refletida de volta ao espaço ou absorvida pela atmosfera, e somente uma pequena parcela chega à superfície, parcela esta, que pode ser decomposta em duas componentes, a componente de feixe ou componente direta e a energia difusa ou componente difusa.

Contudo, sabe-se que somente os feixes ou componentes diretas podem ser utilizados no processo de concentração de raios solares através de espelhos parabólicos e planos, para a obtenção de energia térmica, podendo assim ser utilizado no forno solar. Como o estado do Ceará está localizado sobre a linha do Equador os raios de luz solares incidem perpendiculares sobre a superfície deste Estado, aumentando o potencial solar desta região do país o que torna esse estado um potencial em energia solar.

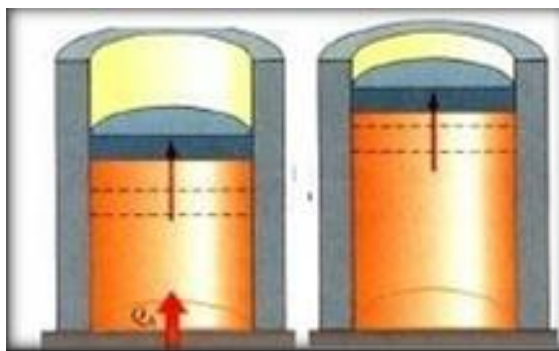
Quixeramobim está localizada no centro do Ceará com latitude – 5° 11' 57" e longitude -39° 17' 34". É por esse motivo que essa cidade apresenta um grande potencial para aproveitamento de energia solar. A média de radiação solar no estado do Ceará é de aproximadamente 215,3 W/m<sup>2</sup> como destaca Costa (2009, p. 345): a estimativa do valor médio anual (após ajustes) da radiação solar incidente no estado do Ceará é de 215 W/m<sup>2</sup> (máximo em outubro: 260 W/m<sup>2</sup>). Essa é uma potência considerável, que por comparação seria possível acender duas lâmpadas de 100 W e uma de 60 W a cada metro quadrado (m<sup>2</sup>), só com a energia que o Sol deposita sobre o solo. Muito embora, aproveitar 100% dessa energia seja inviável, mas se pode aproveitar uma grande parte com placas fotovoltaicas, fornos solares, aquecedores solares etc. Aproveitar essa energia seria uma alternativa para minimizar o uso de combustíveis fósseis.

### 3.4.7 1ª lei da termodinâmica; Conservação da energia

A primeira Lei da Termodinâmica fundamenta-se na conservação da energia, isso pode ser notado no experimento de Joule, onde a água contida no calorímetro pode ser levada de uma temperatura inicial a uma temperatura final, sempre em condições de isolamento térmico pela realização de trabalho.

Considere um recipiente com paredes adiabáticas (que não permitem trocas de calor com o meio externo) e com êmbolo móvel contendo um gás ideal como representado na Figura 15.

Figura 15 – Representação de um gás contido em um cilindro provido de êmbolo



Fonte: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAABMn0AA/fsc5163-entropia-2aleitem-20071?part=2>

Se o gás que ocupava um volume  $V_0$ , for aquecido com uma quantidade de calor  $Q$ , terá suas moléculas agitadas variando sua energia interna dada pela Equação 16.

$$\Delta U = \frac{3}{2} n R \Delta T \quad 16$$

Essa energia de translação das moléculas de um gás ideal está relacionada com a variação de temperatura absoluta atingida pelo gás. Com essa variação de energia interna o gás aumenta de volume levando o êmbolo a movimentar-se aumentando seu volume, e assim diz-se que o gás realizou trabalho  $W$ . Com isso pode-se concluir que o calor foi suficiente para variar a energia interna  $\Delta U$  e realizar trabalho  $W$ ; dessa forma tem-se a Equação 17

$$Q = \Delta U + W \quad 17$$

Como o calor é energia, ocorreu que esse calor converteu-se em energia interna e trabalho. Porém existem várias transformações termodinâmicas que um sistema como este pode sofrer, como processos isotérmicos (temperatura constante), isobárico (pressão constante), isovolumétrico (volume constante) e adiabático onde não podem ocorrer trocas de calor entre o meio interno e o meio externo. Como já explicado anteriormente.

No processo isotérmico a temperatura permanece constante, logo com a temperatura constante não há variação de energia interna do gás, ou seja,  $\Delta U = 0$  com isso tem-se a Equação 18.

$$Q = W \quad 18$$

Com a transformação isobárica, a pressão permanece constante onde o trabalho passa a ter a configuração da Equação 19.

$$W = \int_{V_i}^{V_f} P \cdot dV = P \cdot \Delta V \quad (19)$$

Substituindo a Equação 19 na Equação 17 obtém-se a Equação 20.

$$Q = \Delta U + P \Delta V \quad (20)$$

No processo isovolumétrico não ocorre variação de volume, com isso o trabalho será nulo o que leva à conclusão que a variação de energia interna é igual ao calor transferido ao sistema; esse processo está representado pela Equação 21.

$$Q = \Delta U \quad (21)$$

Já o processo adiabático ocorre quando não ha troca de calor entre os meios internos e externos do sistema, diz-se que o sistema está isolado termicamente, conclui-se que  $Q = 0$  onde se tem a Equação 22.

$$\Delta U = -W \quad 22$$

Neste caso, se o trabalho for fornecido pelo sistema, ou seja, trabalho positivo, a energia interna decresce, caso o trabalho seja realizado sobre o sistema (trabalho negativo) a energia interna cresce.

### ***3.4.8 O forno solar como uma máquina térmica que atende à 2ª lei da termodinâmica***

A 2ª Lei da Termodinâmica estuda os processos espontâneos de transmissão de calor e as máquinas térmicas como geladeiras, máquinas a vapor etc. De acordo com Rudolf Clausius, físico e matemático alemão é impossível realizar um processo cujo único efeito seja transferir calor de um corpo de menor temperatura para um corpo de maior temperatura. Ou seja, o calor sempre flui de um corpo mais “quente” (de maior temperatura) para um corpo mais “frio” (de menor temperatura).

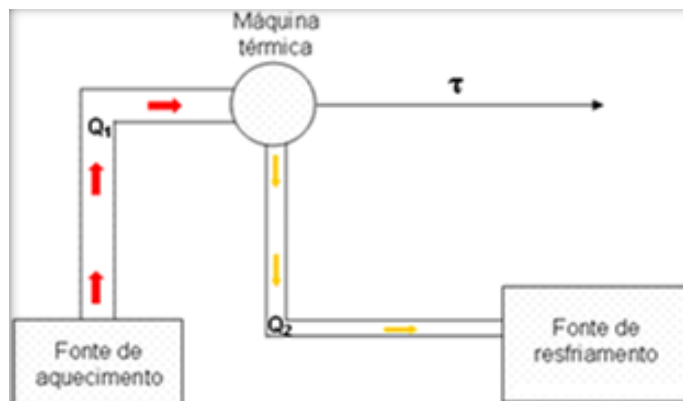
Para Clausius existem situações na termodinâmica que são irreversíveis, como quando se arrasta um corpo em uma superfície. O atrito faz o corpo e a superfície aquecerem, mas o corpo não sairá andando se aquecer o solo e o corpo, ou seja, é um processo irreversível, pois não é pelo fato do calor ter sido gerado pelo movimento do corpo que este entrará em movimento se fornecer calor a eles.

Segundo o enunciado de Thomson ou Lorde Kelvin:

“É impossível realizar um processo cujo único efeito seja reverter calor de um reservatório térmico e produzir uma quantidade equivalente de trabalho”. Ou seja, em uma máquina térmica que recebe calor de uma fonte (chamada fonte quente) para que ela funcione (realize trabalho) sempre ocorre um desperdício de calor (fonte fria) para o meio externo impedindo assim que as máquinas térmicas tenham rendimento de 100%.

Uma máquina térmica é qualquer objeto ou mecanismo que utiliza calor para realizar trabalho. Esse tipo de máquina opera sempre entre duas fontes uma ‘quente’ (maior temperatura) e outra ‘fria’ (menor temperatura). Um esquema desse tipo de máquina pode ser observada na Figura 16.

Figura 16– Esquema de uma máquina térmica.



Fonte: [TTP://www.sofisica.com.br/conteudos/Termologia/Termodinamica/2leidatermodinamica](http://www.sofisica.com.br/conteudos/Termologia/Termodinamica/2leidatermodinamica).

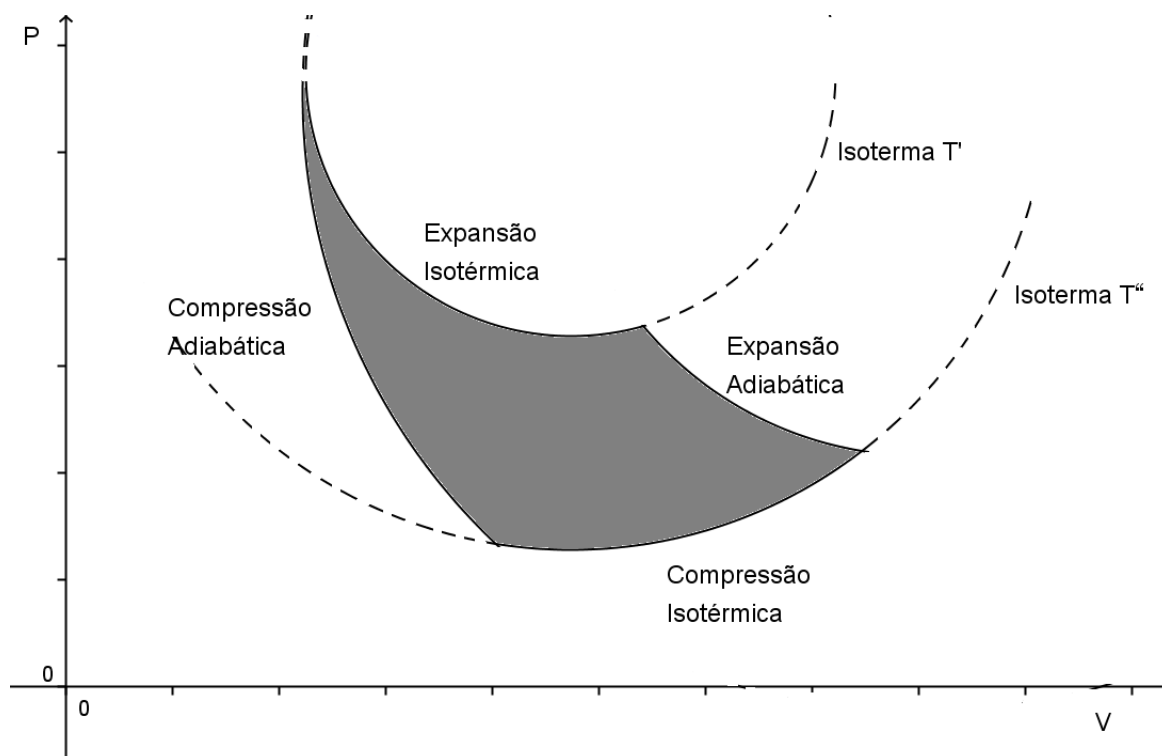
Carnot idealizou uma máquina térmica que tivesse o maior rendimento possível. Essa máquina opera sobre o ciclo chamado ciclo de Carnot, deve receber uma quantidade de calor  $Q_1$ , de uma fonte quente, parte desse calor é convertido em trabalho e o restante é rejeitado para a fonte fria  $Q_2$ . Pois, de acordo com o enunciado de Kelvin, nenhum sistema pode absorver calor de um único reservatório e convertê-lo integralmente em trabalho, logo de todo o calor recebido, uma parte é desperdiçada para a fonte fria  $Q_2$ . E com isso só uma parte se converte em trabalho.

A cada ciclo ela retorna sempre ao estado inicial, operando entre as fontes quente (fonte de aquecimento) com quantidade de calor  $Q_1$  e temperatura  $T_1$  e a fonte fria (fonte de resfriamento) com quantidade de calor  $Q_2$  e temperatura  $T_2$ , realizando um trabalho  $\tau$ , onde  $Q_1 > Q_2$  e  $T_1 > T_2$ ; esse trabalho pode ser calculado com a Equação 23.

$$\tau = Q_1 - Q_2 \quad (23)$$

O diagrama  $P \times V$  que define o ciclo de Carnot para uma gás ideal pode ser observado na Figura 17.

Figura 17 – Diagrama PxV que destaca o ciclo de Carnot



Fonte: O autor

Este diagrama demonstra que um ciclo de Carnot completo é realizado em quatro etapas; na primeira ao receber calor e sofrer uma expansão isotérmica, na segunda quando sede calor para a fonte fria sofre uma expansão adiabática, na terceira uma compressão isotérmica e na quarta uma compressão adiabática, até ter início outro ciclo.

O rendimento de uma máquina térmica é a razão entre o trabalho  $\tau$  produzido pela máquina térmica, e o calor fornecido pela fonte quente  $Q_1$ . Com isso tem-se a Equação 24 e consequentemente a equação 25.

$$\eta = \frac{\tau}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \quad (24)$$

$$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} \quad (25)$$

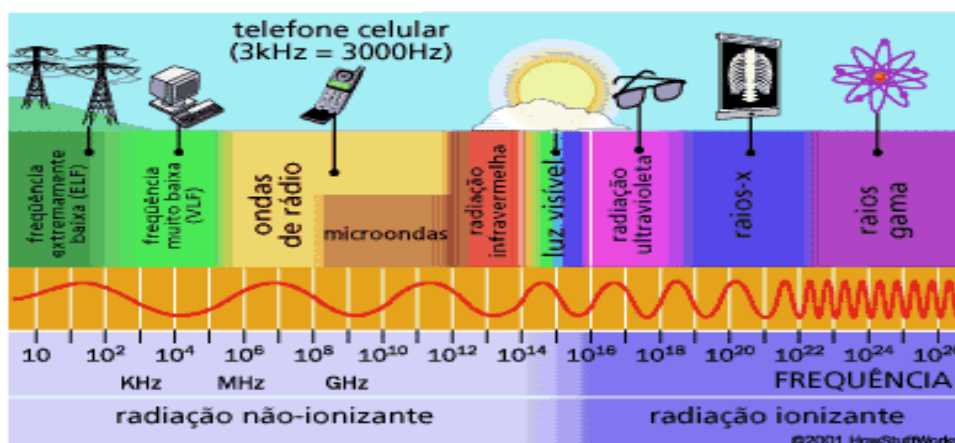
Como foi visto anteriormente nos enunciados de Clausius e Kelvin é impossível construir uma máquina térmica que consiga converter em trabalho, todo calor que lhe é fornecido, ou seja, é impossível criar uma máquina térmica com rendimento de 100%. Já foi destacada a importância desse conteúdo para esta pesquisa e agora será abordado o conteúdo de Óptica outro de fundamental importância a este trabalho de pesquisa.

### 3.4.9 Parte óptica do forno solar

As ondas eletromagnéticas, diferentemente das ondas mecânicas, propagam-se no vácuo com a velocidade da luz, luz esta que ilumina o planeta sendo responsável pela manutenção da vida de todos os seres que nele se encontram. Sem as ondas eletromagnéticas, seria impossível se pensar em tecnologia, visto que elas são as responsáveis por todas as telecomunicações, estudos do clima com os satélites, radares etc. No caso do forno solar, essas ondas formam a base de todo seu funcionamento.

O espectro de ondas eletromagnéticas é bem amplo, indo das ondas longas de rádio AM até raios gama altamente nocivos ao homem. Esse espectro completo pode ser observado na Figura 18.

Figura 18 – Faixas de Radiação Eletromagnéticas.



Fonte: 48TTP://www.ocaduceu.com.br/web/?p=220

Uma das faixas de frequências mais importantes para este trabalho é a faixa da componente de onda que corresponde à radiação infravermelha, cuja frequência encontra-se no intervalo entre  $10^{12}\text{Hz}$  e  $10^{14}\text{Hz}$ , com comprimentos de onda da ordem de  $10^{-4}\text{m}$  a  $10^{-6}\text{m}$ . A pele humana percebe esse tipo de radiação na forma de calor.

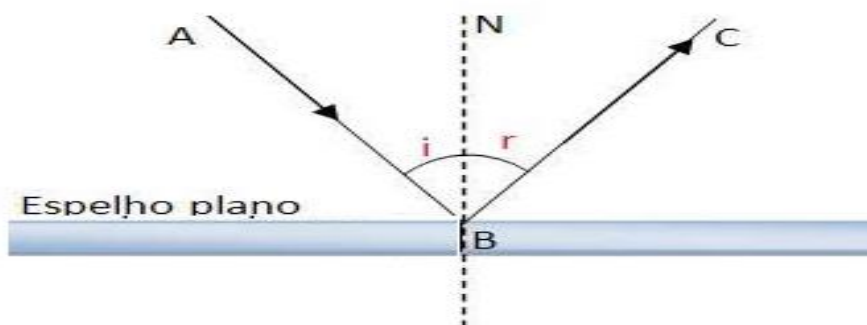
Como o forno solar utiliza a reflexão, o tópico seguinte irá detalhar o fenômeno de reflexão que ocorre nos espelhos planos e esféricos por serem esses tipos de espelhos utilizados na construção do forno solar.



### 3.4.10 Espelhos Planos

Um espelho plano é uma superfície plana e polida, que reflete a luz, um esquema que representa esse tipo de espelho pode ser visto na Figura 19.

Figura 19 - Representação da reflexão de um espelho plano



Fonte: <http://www.sofisica.com.br/conteudos/Otica/Reflexaodaluz/espelhoplano.php>

Observando a Figura 19, sendo N a normal que forma  $90^\circ$  com a superfície plana,  $\theta_i$  o ângulo incidente (ângulo formado entre o raio incidente e a normal),  $\theta_r$  o ângulo de reflexão (ângulo formado entre o raio refletido e a normal). Com isso podem ser enunciadas as leis da reflexão. Seguem abaixo, os enunciados da Lei da reflexão:

- O ângulo incidente  $\theta_i$  é igual ao ângulo de reflexão  $\theta_r$ , ou seja, ( $\theta_i = \theta_r$ ).
- A normal N, o ângulo incidente  $\theta_i$  e o ângulo de reflexão  $\theta_r$  são coplanares, (pertencem ao mesmo plano).

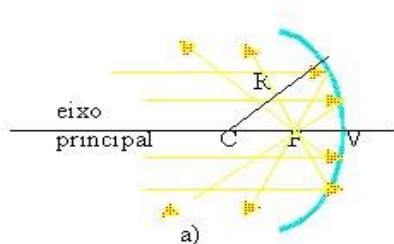
O espelho plano é usado no forno estilo painel e estilo caixa, pois como existe uma relação de igualdade entre o raio incidente e o refletido, pode-se manipular a luz fazendo-a convergir para um único ponto. O funcionamento desse tipo de forno, será abordado nos próximos tópicos com mais detalhes.

### 3.4.11 Espelhos Esféricos

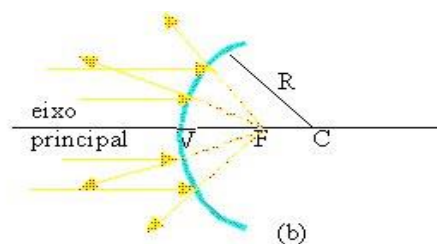
Os espelhos esféricos dividem-se em dois tipos, côncavos e convexos, como mostra a Figura 20.

Figura 20 - Representação da reflexão da luz em espelhos esféricos

Espelho Côncavo.



Espelho Convexo.



Fonte: <http://educar.sc.usp.br/optica/esferico.htm>

Os pontos principais de um espelho esférico são o centro de curvatura C, o foco F e o vértice V, conforme a figura acima. A característica principal de um espelho côncavo é que toda luz que incide paralelamente ao eixo principal converge para o foco concentrando toda a radiação sobre ele. Já os espelhos convexos possuem um foco virtual, como sua superfície refletora é a parte externa, ele reflete os raios divergindo-os de forma que os prolongamentos dos raios refletidos passam pelo foco virtual.

## **4 METODOLOGIA**

### **4.1 Caracterização da pesquisa**

A pesquisa caracterizou-se pela sua natureza descritivo-bibliográfica, experimental, com estudo em campo de abordagem quali-quantitativa. Gil (2002) define como pesquisa descritiva a que primordialmente concentra-se em descrever as características de determinada população ou fenômeno. A pesquisa experimental, segundo o referido autor, determina um objeto de estudo, seleciona variáveis capazes de influenciar o objeto de estudo, define normas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto. A pesquisa foi dividida em quatro etapas:

- a) contextualização do ambiente do estudo – cenários da pesquisa e descrição dos sujeitos da pesquisa;
- b) abordagem dos conteúdos físicos a serem aplicados na construção e utilização do forno solar;
- c) apresentação e escolha dos tipos de fornos solares,
- d) apresentação do forno solar a uma comunidade de trabalhadores rurais do município.

### **4.2 Etapas da pesquisa**

#### ***4.2.1 Apresentação e escolha do forno solar***

A apresentação dos tipos de fornos solares para as quatro turmas participantes foi feita através de slides e vídeos. Foi explicado aos estudantes a necessidade da escolha de uma turma controle para a qual as aulas seriam ministradas de forma tradicional, para que no final da pesquisa fosse possível uma comparação com os resultados das avaliações obtidas nas turmas experimentais e assim pudesse ser feita uma análise da eficácia do uso do forno solar como um instrumento de ensino.

Após a apresentação do forno foi proposto que cada turma, com exceção da turma controle, escolhesse um tipo de forno para ser trabalhado. Uma vez feita a escolha do forno,

foi proposta uma seleção de alimentos que de preferência pudessem se enquadrar como alimentação de famílias de trabalhadores rurais da região. Cada turma encarregou-se de fazer sua escolha e cozinhar esses alimentos usando o forno solar.

A distribuição dos tipos de forno por equipe e os alimentos escolhidos são mostrados na Tabela 3.

Tabela 3. Tabela com a distribuição das equipes, tipos de Forno e alimentos.

<b>TURMAS</b>	<b>TIPO DE FORNO</b>	<b>ALIMENTO</b>
<b>Turma A</b>	Painel	Cuscuz, chuchu, beterraba, cenoura
<b>Turma B</b>	Caixa	Arroz, macarrão instantâneo, café
<b>Turma C</b>	Parabólico	Ovos, feijão

Fonte: O autor

#### **4.2.2 Os sujeitos da pesquisa**

A pesquisa foi desenvolvida em uma escola da rede pública e da rede privada, na cidade de Quixeramobim, estado do Ceará a cerca de 212 km de Fortaleza. Participaram um total de 55 alunos do segundo ano do ensino médio. Uma das turmas foi escolhida como turma controle, na qual os alunos continuaram recebendo os ensinamentos da forma tradicional, sem participar do projeto da construção do forno. As turmas que participaram do projeto da construção foram denominadas de turmas experimentais.

Embora não fossem obrigados a participar, a adesão por parte dos alunos foi de 100%, com alguns alunos da turma controle querendo também participar das turmas experimentais. A tabela 4 explicita o número de alunos participantes da pesquisa e as respectivas redes de ensino às quais eles pertencem.

Tabela 4- Número de alunos por turma

<b>Turmas</b>	<b>Rede de Ensino</b>	<b>Nº de Alunos</b>
<b>Turma A</b>	Particular	6
<b>Turma B</b>	Pública	28
<b>Turma C</b>	Particular	11
<b>Turma D (Turma controle)</b>	Particular	10
<b>Total de alunos</b>		<b>55</b>

Fonte: O autor

A abordagem dos conteúdos físicos a serem trabalhados com a construção e uso do forno solar foi desenvolvida em sala de aula, com estudos dos conteúdos de Calorimetria, Termodinâmica, Radiação Eletromagnética e Óptica Geométrica.

#### **4.2.3 Contextualização do ambiente do estudo – cenário da pesquisa**

A pesquisa foi aplicada em colégios da rede pública e particular de ensino. Tendo uma boa adesão em ambos, todos os alunos participantes se empenharam e cumpriram tudo que foi proposto pelo professor pesquisador. Em cada etapa sentia a satisfação dos alunos por ter concluído e a ansiedade de dar início à próxima etapa. Após a apresentação dos tipos de fornos teve início a construção dos mesmos por cada equipe, com a orientação do professor pesquisador.

Para a construção do forno tipo painel, pela Turma A, foram usadas 5 bandejas de papelão com uma das faces prateadas. A lista de materiais utilizados e seus valores são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5- Tabela de material e custos do Forno Solar estilo painel, construído pela Turma A

<b>Objetos</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Valor /Unidade (R\$)</b>	<b>Valor Total (R\$)</b>
Bandejas Prateadas Grandes	04	2,50	10,00
Bandejas Prateadas Médias	01	1,70	1,70
Redomas de Acrílico	01	0,50	1,00
<b>Custo Total</b>			<b>12,70</b>

Fonte: O autor

Inicialmente os alunos grampearam as hastes de papelão de aproximadamente 10 cm de largura por 80 cm de comprimento nas bordas das quatro bandejas maiores. Essas hastes foram colocadas para que as bandejas pudessem ficar apoiadas e graduar o ângulo de incidência da luz solar sobre as bandejas e, conseqüentemente, garantir que luz fosse refletida para o centro do forno onde ocorreu o cozimento dos alimentos. Uma panela preta foi colocada ao centro do forno, coberta com a redoma transparente de acrílico.

Na montagem a bandeja média foi colocada no centro e contornada pelas outras quatro, com as hastes grampeadas. Esse tipo de forno é mostrado na Figura 21.

Figura 21 - Forno estilo painel construído pelos alunos



Fonte: O autor

A Turma B construiu o forno estilo caixa. Para esse tipo de forno foram usados três caixas de papelão e dois rolos de papel alumínio. A Tabela 6 mostra a relação de material e seus custos.

Tabela 6- Tabela de material e custos do Forno Solar estilo caixa

<b>Material</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Valor da Unidade</b>	<b>Valor Total</b>
Caixa de Papelão	Três de 50cm x 50cm	Pode ser encontrada em fábrica de reciclagem	Sem custo
Papel Alumínio	Dois rolos	R\$ 2,00	R\$ 4,00
Cola Branca	Um tubo grande	R\$ 8,00	R\$ 8,00
Tinta Preta	Uma lata pequena	R\$ 4,00	R\$ 4,00
<b>Custo Total</b>			<b>R\$ 16,00</b>

Fonte: O autor

A primeira caixa teve suas laterais revestidas internamente com papel alumínio, enquanto o fundo da caixa foi pintado com tinta preta.

As outras duas caixas foram recortadas e em seguida revestidas de papel alumínio para montar os painéis de reflexão que foram colocados em volta da primeira caixa, como pode ser observado na Figura 22.

Figura 22 - Forno estilo caixa construído pelos alunos da Turma B



Fonte: O autor

Um plástico transparente foi colocado sobre a panela, para garantir a passagem de luz e a retenção de calor (radiação infravermelha), aumentando a eficiência do forno.

O forno estilo parabólico foi construído pela turma C. Esse tipo de forno requer um tempo maior em sua confecção, devido à sua geometria. A construção deve ser bem precisa para que o foco não apresente distorção.

Como a produção de uma parábola é muito complicada de efetuar, o professor pesquisador propôs que utilizassem uma antena parabólica e revestissem-na com folhas de zinco, cortadas em forma de triângulos como mostra a Figura 23.

Figura 23 - Forno parabólico construído pelos alunos



Fonte: O Autor

Este forno teve um custo e um tempo de construção um pouco maior comparado com os demais, pois enquanto os fornos estilo caixa e painel levaram entre 1,5 h e 2,0 h, o forno parabólico levou duas manhãs, o equivalente a um dia inteiro de trabalho para sua construção.

O motivo do investimento neste tipo de forno foi tentar aumentar sua eficiência. O material e os respectivos custos estão expostos na Tabela 7.

Tabela 7 - Tabela de material e custos do Forno Solar estilo parabólico

Material	Quantidade	Valor por unidade	Custo Total
Sucata de antena parabólica	01	Sem custo	R\$ 0,0
Folhas de Zinco	02	R\$ 35,00	R\$ 70,00
Rebites	100	R\$ 0,05	R\$ 05,00
Suporte para panela	01	R\$ 15,00	R\$ 15,00
<b>Custo Total</b>			<b>R\$ 90,00</b>

Fonte: O Autor

#### 4.2.4 Cozinhando os alimentos

O cozimento dos alimentos foi o que causou mais ansiedade e curiosidade, tanto por parte dos alunos, como por parte da comunidade do colégio, professores e funcionários, em geral.

- a) **Cozimento do Arroz:** Para cozinhar no forno solar os alimentos devem ser preparados de forma diferente que no fogão convencional. No caso do arroz deve ser colocado de molho em água fria por no mínimo 6 horas antes do cozimento. Os alunos prepararam o arroz em casa levando no outro dia pela manhã e às 09:15h da manhã teve início o cozimento e às 10:30h o arroz estava pronto, levando uma hora e quinze minutos para ficar pronto.
- b) **Cozinhando cuscuz:** Para cozinhar o cuscuz os alunos pediram à cozinheira do colégio que preparasse a massa, mas segundo as instruções do professor de Física, pois a massa do cuscuz deve ser um pouco mais molhada que no cozimento em fogão normal e deve ser preparada em média quatro a seis horas antes do cozimento para que fique em repouso. Isso foi feito pela manhã para ser cozido a tarde. A massa pronta, foi colocada no forno solar estilo painel às 13:00h e às 13:15h as aulas tiveram início. Foi pedido aos alunos com a autorização dos professores de cada sala que a cada 45 minutos



verificassem o ponto de cozimento do cuscuz e às 15:30 h o cuscuz estava pronto levando duas horas e trinta minutos de cozimento.

- c) **Cozimento de chuchu, cenoura e beterraba:** Como o cozimento no forno solar requer o uso de pouca água foi proposto aos alunos que cozinhassem legumes como chuchu, beterraba e cenoura, pois nesse caso, não haveria perdas de nutrientes e vitaminas para a água. Então a partir das 13:30h, teve início o cozimento de chuchu, cenoura e beterraba, com o auxílio do professor. O professor cortou os legumes em rodela que foram colocadas em uma única panela sem água, e levado ao forno solar estilo painel. Observando um início de ressecamento em alguns legumes, foram acrescentados cerca de 20ml de água, para evaporar e umedecer o ambiente interno da panela evitando que ocorresse ressecamento com os demais legumes. Às 14:50h, os legumes estavam completamente cozidos, ou seja, levou uma hora e vinte minutos para o cozimento total.

Uma curiosidade observada durante a degustação dos alimentos, foi o receio de algumas pessoas, inclusive alguns professores, acerca do cozimento através da energia solar, pois tinham receio de que os alimentos aquecidos pelo calor do sol gerar alguma patologia, como dor de garganta por exemplo. Esse tipo de atitude baseada em mitos é uma evidência de que a crença popular ainda é muito presente mesmo em ambientes escolares, mesmo entre alguns professores.

- d) **Cozimento de macarrão instantâneo:** O macarrão instantâneo deve ser quebrado e colocado com a mesma quantidade de água que vem em suas instruções. Este levou o tempo de trinta e dois minutos, pois foi colocado ao forno solar estilo caixa às 09: 20h e às 09: 52h estava pronto.
- e) **Fazendo café:** O café foi colocado no forno estilo caixa às 09: 52h e às 10: 30h estava pronto levando trinta e oito minutos para ficar pronto.
- f) **Fritando ovos:** O ovo frito é muito simples de preparar, deve-se passar manteiga na frigideira e deixar aquecer, quando toda manteiga derreter deve-se quebrar o ovo e colocar na frigideira. Essa foi uma das partes mais interessantes, pois os alunos marcaram de tomar o café da manhã no colégio com os ovos fritos no forno solar parabólico. A fritura de dois ovos ao mesmo tempo levou onze minutos.
- g) **Cozinhando feijão:** Para cozinhar o feijão o procedimento foi semelhante ao do arroz: o feijão foi colocado de molho em água oito horas antes do cozimento. A quantidade de água deve ser menor do que a utilizada quando se cozinha no fogão convencional, a água deve apenas cobrir os grãos. O cozimento do feijão levou duas horas. Como o dia estava um pouco nublado, o feijão não cozinhou completamente. Os alimentos e seus

respectivos tempos de cozimento estão organizados na Tabela 8.

Tabela 8- Tabela com turmas tipos de Forno, alimentos e respectivos tempos de cozimento

Turmas	Tipo de Forno	Alimentos	Tempo de Cozimento (h)
Turma A	Painel	Cuscuz	02: 30
			01:20
		Chuchu	01:20
		Beterraba	01:20
		cenoura	
Turma B	Caixa	Arroz	01: 15
		Macarrão instantâneo	32 min
		café	
			38 min
Turma C	Parabólico	Ovos	11 min;
		Feijão	2: 00 h

Fonte: O Autor

#### 4.2.5 Usando o forno solar como laboratório

A etapa seguinte foi calcular a potência e o rendimento do forno, usando as leis da Termodinâmica. Esse processo foi executado nos fornos estilo painel e parabólico, sendo adotado o mesmo procedimento para os dois.

Para calcular o rendimento primeiramente foi calculada a potência útil usando a Equação 22.

$$P_u = \frac{dQ}{dt} \quad (22)$$

Para fins didáticos, considerou-se o forno solar como um corpo negro ideal, por esse motivo foi utilizado a estimativa do valor médio anual da radiação solar incidente no estado do Ceará que segundo Costa (2009, p. 345) é de 215 W/m<sup>2</sup>. Com esse dado foi calculada a área do forno solar e feita a proporção direta. Como o forno em questão tinha uma área irradiada pelo sol de 1,0 m<sup>2</sup>, encontrou-se sua potência total, (potência deposita no forno)

está destacada na equação 23.

$$P_t = 215W \quad (23)$$

Dessa forma chegou-se a potência total  $P_T$  do forno estilo painel.

Para calcular a potência útil, o forno painel foi montado na quadra do colégio pela manhã, para fazer os experimentos. O experimento consistiu em aquecer 400g de água que estava com temperatura inicial de 33°C. A água foi aquecida por 16 minutos até que entrasse em equilíbrio térmico com o forno. Os dados coletados são mostrados na Tabela 9.

Tabela 9 - Tabela de coleta de dados para cálculo da Potência do Forno estilo painel

Massa (g)	Variação de Tempo (s) $\Delta t$	Temperatura Ambiente ou Inicial $T_0$ (°C)	Temperatura Final (Forno) $T_f$ (°C)	Variação de Temperatura $\Delta T$ (°C)	Substância	Calor Específico
<b>400</b>	960	33	61	28	Água	1,0Cal/g°C

Fonte: O Autor

Com os dados calculou-se o calor absorvido pela água, utilizando a Equação 24

$$Q = m.c.\Delta T = 47040 \text{ J} \quad (24)$$

Com o calor absorvido pela água foi calculada a potência útil como destaca a Equação 25.

$$P_u = \frac{Q}{\Delta t} = 49W \quad (25)$$

Com as duas potências calculadas o passo seguinte foi calcular o rendimento do forno painel. Com o valor obtido para as potências útil  $P_u = 49W$  e a potência total  $P_T = 215W$  foi calculado o rendimento com a Equação 26.

$$\eta = \frac{P_u}{P_T} = 22,79\% \quad (26)$$

Este resultado significa que de toda energia recebida pelo Sol, o forno transforma em calor útil 22,79%.

O procedimento do cálculo da potência do forno estilo parabólico foi o mesmo. As condições de tempo estavam pouco melhores comparadas com as condições do tempo no desenvolvimento do forno painel.

Para o cálculo da potência útil do forno parabólico foi repetido o mesmo procedimento do forno painel, com alguns valores diferentes, como a temperatura inicial da água e o tempo para o equilíbrio térmico.

Foram utilizadas 400g de água, em temperatura inicial de 34°C, a água foi aquecida por 16 minutos. Os valores obtidos podem ser visualizados na Tabela 10.

Tabela 10 - Tabela de dados para o cálculo da potência do forno estilo parabólico

Massa (g)	Variação de Tempo (s) $\Delta t$	Temperatura Ambiente ou Inicial $T_0$ (°C)	Temperatura Final (Forno) $T_f$ (°C)	Variação de Temperatura $\Delta T$ (°C)	Substância	Calor Específico
400	840	34	65,5	31,5	Água	1,0Cal/g°C

Fonte: O Autor

Efetuada o mesmo procedimento do forno estilo painel foi obtida a quantidade de calor absorvida pela água

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T = 52920J \quad (27)$$

Utilizando o calor absorvido e o tempo decorrido para o aquecimento, calculou-se a potência útil obtendo o valor:

$$P_u = \frac{Q}{\Delta t} = 63W \quad (28)$$

Para o cálculo da potência total, primeiro foi calculada a área do forno parabólico encontrando uma área de 2,26 m². O valor da potência total foi calculado com o mesmo procedimento, ou seja, fazendo a proporção direta com os dados obtidos por Costa (2009) essa potência é dada pela equação 29.

$$P_T = 485,9 \text{ W} \quad (29)$$

Em seguida foi calculado o rendimento do forno parabólico usando a equação do rendimento, substituindo os valores obtidos para as potências  $P_u = 63 \text{ W}$  e  $P_T = 485,9 \text{ W}$ .

$$\eta = \frac{P_u}{P_T} = 12,96\% \quad (30)$$

Tem-se então o rendimento do forno parabólico.

#### ***4.2.6 Apresentação do forno solar a uma comunidade de trabalhadores rurais do município de Quixeramobim***

Esta etapa da pesquisa consistiu em fazer uma visita a uma comunidade de trabalhadores rurais e apresentar os resultados encontrados com o cozimento de alimentos e o melhor tipo de forno encontrado. A intenção desta visita era conscientizar as famílias de trabalhadores a utilizarem o forno solar para reduzirem o consumo de lenha, e também mostrar para os alunos participantes da pesquisa que os conteúdos de Física estudados em sala de aula podem ser aplicados na prática e contribuir positivamente para a sociedade, ou seja, tentar mostrar que o aluno com bons conhecimentos em Física pode ajudar a trazer melhorias para sua comunidade.

O critério utilizado para a escolha da comunidade foi a distância à cidade, dando preferência a uma comunidade do Movimento dos Sem Terra (MST), já estabilizada, que fica a apenas 11 km da cidade de Quixeramobim. Outro ponto que influenciou, foi o fato de essa comunidade usar em sua grande maioria lenha como fonte de energia para cozinhar alimentos.

A comunidade consta de aproximadamente 20 famílias, tendo como fonte de renda principal a agricultura. Em sua maioria os moradores da comunidade são alfabetizados e uma minoria de analfabetos. São dados fornecidos pelo presidente da comunidade, os jovens são destacados para a cidade de Quixeramobim para cursarem o ensino médio, ou seja, é uma comunidade comprometida com a educação. Em seguida foi feito contato com o presidente da comunidade, a visita foi marcada para o dia nove de março de 2014, data que gerou grandes expectativas e ansiedade aos alunos participantes da pesquisa.

Após marcar a data e o local da visita, teve início a montagem do material da apresentação pelo professor pesquisador e seus alunos. Foi montado um material em slides com os resultados encontrados e construído um protótipo do forno solar estilo caixa para demonstração. Em seguida foi feita uma divisão da apresentação, onde cada aluno ficou responsável para apresentar uma parte da pesquisa. O professor pesquisador iria apenas mediar a apresentação.

#### **4.2.7 Coleta de dados**

Quanto à coleta de dados para se chegar a uma conclusão precisa da pesquisa, foram utilizadas três estratégias, duas destas aplicadas aos alunos e uma aplicada aos trabalhadores da comunidade onde o forno foi apresentado. A primeira estratégia foi escolher uma entre as três turmas participantes da pesquisa (turma experimental) que estudou os conteúdos de Física com o forno solar servindo de laboratório. E uma turma que não participou dos experimentos (turma controle), esta última estudou os mesmos conteúdos mas de forma tradicional sem o uso do forno solar. Em seguida foi aplicada uma mesma avaliação para as duas turmas e comparados os resultados.

Para coletar as impressões dos alunos no que diz respeito ao grau de satisfação com a forma como os conteúdos foram ministrados, sobre a metodologia aplicada para explicar e apresentar esses conteúdos usando o forno solar, foi utilizado um questionário onde os mesmos colocaram e destacaram suas impressões, satisfações ou, se for o caso, decepções ou desaprovações. Esse questionário é apresentado no Apêndice A.

Para coletar as impressões dos trabalhadores rurais foi feita uma entrevista não-estruturada após a apresentação, para coletar as impressões que o forno solar causou aos membros da comunidade.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esse capítulo trata dos resultados e discussões. Aqui são destacados todos os resultados coletados na pesquisa, seus significados e contribuições para o ensino de Física. Este capítulo dará ênfase a três partes principais. A primeira chamará atenção para o desempenho das turmas experimentais e controle, a segunda apresenta as impressões dos alunos que trabalharam com o forno solar e a terceira destaca os resultados da visita dos alunos a comunidade de trabalhadores rurais.

Para investigar o desempenho do forno solar como ferramenta pedagógica no ensino de Física, foram comparados os resultados da avaliação das turmas controle e experimental.

Das turmas participantes da pesquisa, uma delas foi chamada de turma controle. Denominada turma D, essa turma estudou os mesmos conteúdos que a turma experimental, mas sem utilizar o forno solar como laboratório. Enquanto que a turma experimental denominada turma C estudou os mesmos conteúdos que a turma D, e utilizou o forno solar como laboratório.

Para manter a imparcialidade, foram escolhidas turmas do mesmo colégio para compor as turmas controle e experimental. As aulas foram ministradas pelo professor pesquisador para ambas as turmas. Em seguida foi aplicada a mesma avaliação nas duas turmas e comparados os resultados. As notas da turma controle e experimental encontram-se na Tabela 11.

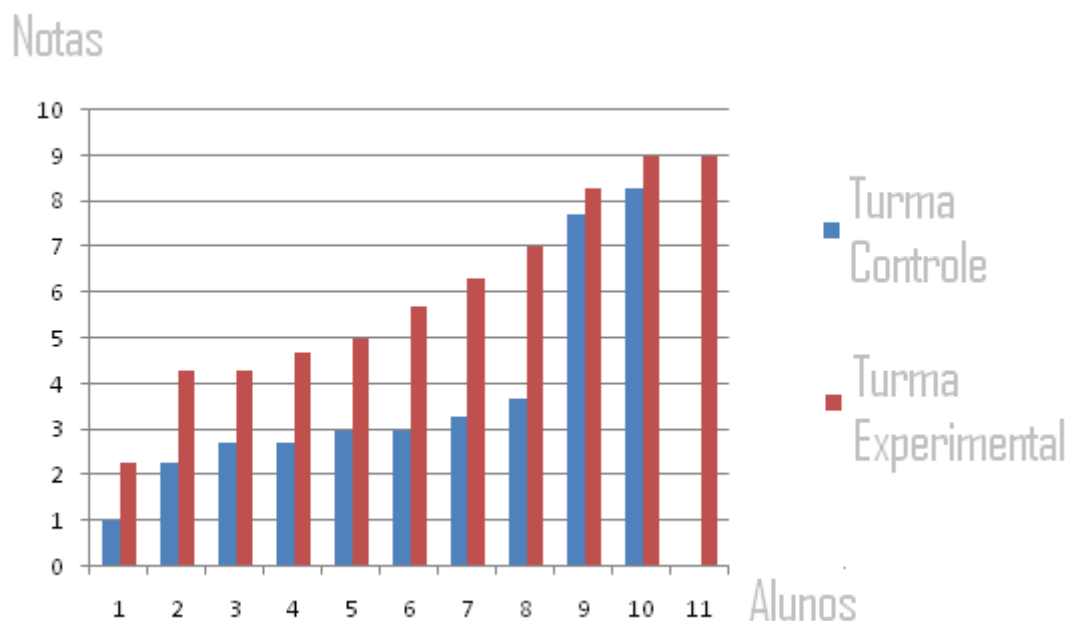
Tabela 11 – Tabelas com as notas em ordem crescente da turma controle (a) experimental (b)

NOTAS DA TURMA CONTROLE		NOTAS DA TURMA EXPERIMENTAL	
ALUNOS	NOTAS	ALUNOS	NOTAS
1	1,0	1	2,3
2	2,3	2	4,3
3	2,7	3	4,3
4	2,7	4	4,7
5	3,0	5	5,0
6	3,0	6	5,7
7	3,3	7	6,3
8	3,7	8	7,0
9	7,7	9	8,3
10	8,3	10	9,0
(a)		11	9,0
		(b)	

Fonte: O autor

Observando o gráfico comparativo das notas das turmas controle e experimental na Figura 24, pode-se perceber que a turma experimental teve um desempenho na avaliação, superior à turma controle.

Figura 24 – Gráfico comparativo das notas da turma controle em azul e da turma experimental em vermelho.



Fonte: O autor

Esse resultado destaca que o forno solar pode ser uma ferramenta poderosa no ensino de Física, para os conteúdos de Óptica e Termodinâmica, pois os resultados da turma experimental (que utilizou o forno solar) foram superiores à turma controle (que não usaram o forno) na avaliação submetida.

Um dos objetivos do trabalho era investigar o impacto que o forno solar iria causar na forma como os alunos viam a Física, ou seja, se o contato com o forno solar fez com que os alunos tivessem maior ou menor identificação com a disciplina. Para isso foi aplicado um questionário aos alunos que trabalharam com o forno solar, com questões objetivas e subjetivas, para tentar coletar essas informações.

Quando os alunos foram indagados com a pergunta: Todos os alunos indagados marcaram que sim e escreveram textos justificando suas respostas, um dos textos está destacado abaixo:



Sim, pois sem o forno solar eu nunca iria saber que na Física poderia transformar energia luminosa em energia térmica, a partir de meus conhecimentos sobre o forno solar comecei a olhar de outra forma a Física.

No texto escrito pelo aluno, pode-se perceber que a contribuição do forno solar foi além do conteúdo ensinado. Isso fica claro no trecho “...a partir de meus conhecimentos sobre o forno solar comecei a olhar de outra forma a Física”. Neste trecho observa-se que o aluno desenvolveu uma visão bem mais ampla da Física comparada a que ele tinha antes do contato com o forno solar.

Uma segunda pergunta feita aos alunos foi: que contribuições o forno solar trouxe para você, em termos de aprendizagem em Física e seu papel como cidadão? Os textos foram diversos, mas sempre com relatos bem semelhantes. Foi escolhido o seguinte texto para representar um pouco do que os demais destacaram: “Facilitou a compreensão das leis da Termodinâmica. Como cidadão me ensinou a usar a ciência para ajudar as comunidades menos favorecidas”. Neste texto observa-se que o contato com o forno solar e sua apresentação a uma comunidade de trabalhadores rurais, fez a visão do aluno transcender os limites do conteúdo e da sala de aula, fazendo-o perceber que o conhecimento em Física pode contribuir de forma significativa para a sociedade.

Um fato importante que ocorreu, foi quando um aluno que trabalhou com o forno solar, após certo tempo, entrou em contato com o professor pesquisador através de uma rede social e lembrou os momentos em que trabalhava com o forno solar. O aluno na conversa destacou: “Nunca vou me esquecer daquele forno”. Então o professor pergunta se ele gostou do forno solar e o mesmo responde: “Adorei, ainda sei como enunciar a segunda lei da Termodinâmica; não existe máquina térmica que transforme todo seu calor em trabalho”.

Esse depoimento mostra que os conteúdos trabalhados com o forno solar foram absorvidos pelo aluno em forma de conhecimento, ou seja, o aluno não esquece com facilidade. Mesmo depois do aluno egresso é provável que o conteúdo permaneça vivo em sua memória.

Um fato importante é que 91,67 % dos alunos marcaram a opção com a afirmação: o forno solar me fez refletir melhor sobre o a aplicação da Física na prática, ou seja, o trabalho com o forno fez os alunos refletirem dobre a aplicação da Física no cotidiano, isso se deu através da aplicação pratica que foi o próprio forno solar.

Já a opção; após o trabalho com o forno solar passei a compreender melhor os

conceitos das leis da Termodinâmica. Essa opção foi marcada por 100% dos alunos, com esse resultado fica claro o papel do forno solar como ferramenta pedagógica no ensino da Termodinâmica.

A intenção da visita à comunidade de trabalhadores foi apresentar os resultados coletados com o cozimento dos alimentos e conscientizar as famílias dos trabalhadores a utilizarem o forno solar e reduzirem o consumo de lenha. E também mostrar aos alunos participantes da pesquisa que os conteúdos de Física estudados em sala de aula podem ser aplicados na prática e contribuir positivamente para a sociedade. Os preparativos causaram muita ansiedade a turma, que tentava cada vez mais se aprofundar no conteúdo da apresentação.

Um ponto que chamou atenção foi a curiosidade dos moradores da comunidade que aguardavam os alunos.

Os alunos apresentaram, através de slides, os tipos de alimentos, seu tempo de cozimento, os tipos de forno solar e sua forma de construção. Após a apresentação o professor pesquisador fez uma entrevista não estruturada com alguns moradores.

Quando o professor pesquisador indagou sobre o que tinha chamado mais atenção na apresentação, uma moradora destacou que o que lhe chamou mais atenção foi o forno solar parabólico. Ela destacou que o forno parabólico tinha um custo mais elevado, mas era melhor. Um grupo destacou que iria usar o forno solar em suas pescarias, pois enquanto estavam pescando, poderiam deixar os peixes cozinhando no forno solar.

O professor alfabetizador da comunidade assistiu à apresentação na comunidade e em depoimento destacou que não lembrava mais nada dos conteúdos de Física estudados por ele no ensino médio, mas se as aulas de Física da sua época tivessem sido vivenciadas daquela forma como foram com o forno solar, talvez ele tivesse aprendido muito mais. Segundo ele, a vivência dos conteúdos na prática, como foi o caso do forno, ajuda na compreensão e assimilação dos conteúdos na prática.

## 6 CONCLUSÃO

Esse capítulo destaca as conclusões da pesquisa em três pontos: conclusão referente aos resultados do forno solar como ferramenta pedagógica no ensino de Física, como ferramenta para cozinhar alimentos, e como um potencial instrumento para comunidades de trabalhadores rurais na redução do consumo de lenha e gás.

Um dos objetivos deste trabalho foi testar o forno solar como ferramenta pedagógica no ensino de Física. Para isso foram utilizadas algumas estratégias, como a utilização do forno solar como laboratório nas aulas de Óptica e Termodinâmica exposto nos capítulos 4 e 5 deste trabalho.

Os resultados obtidos com o forno solar como ferramenta no ensino de Física foram significativos. Isso ficou claro em vários pontos, nas notas obtidas na avaliação, nos relatos e textos escritos como respostas do questionário aplicado.

Na avaliação proposta, os alunos da turma experimental tiveram média de notas bem superior à turma controle, ou seja, os alunos que trabalharam com o forno solar tiveram desempenho melhor que os alunos que não trabalharam com o forno solar. Isso se deve ao fato de que o forno solar foi utilizado como laboratório desenvolvendo experimentos nas aulas de Calorimetria, Óptica e Termodinâmica.

Outro resultado importante, foi o fato de que o forno solar desenvolveu nos alunos uma visão bem mais ampla da Física. Em seus relatos, ficou claro que esses conteúdos passaram a serem vistos como uma fonte de pesquisa que pode ser utilizada para ajudar a sociedade, que é um de seus papéis no currículo escolar. De acordo com os relatos, antes do forno solar eles não tinham essa visão. Disso infere-se que o contato dos alunos com o forno solar fez com que eles refletissem sobre a aplicação da Física na prática.

Ao cozinhar alimentos, foi observado que determinados tipos de alimentos levaram um tempo maior quando comparado com o tempo de cozimento no fogão convencional. Como exemplo, o macarrão instantâneo, cuscuz, café e feijão.

O macarrão instantâneo levou 32 minutos para ficar pronto, enquanto seu tempo de cozimento previsto para o fogão convencional é de 3 minutos. Desconfia-se que o tempo de cozimento foi superior devido à substituição de espelhos por papel alumínio na construção do forno estilo caixa. Com essa substituição, perde-se em reflexão reduzindo a potência do forno

solar. Por esse motivo o macarrão teve um tempo de cozimento superior ao tempo estimado. Pelos mesmos motivos o cuscuz e o café levaram mais tempo que o esperado.

Já o feijão foi colocado no forno parabólico, mas não ficou totalmente cozido, levando 2 horas para atingir este estado. Observam-se dois agravantes, o tempo que estava um pouco nublado, e a substituição dos espelhos por placas de zinco, com isso o forno perde em reflexão e reduziu sua potência.

O motivo da substituição dos espelhos por papel alumínio no forno caixa e a substituição dos espelhos por placas de zinco no forno parabólico, teve a intenção de minimizar os custos, porém ao se reduzir os custos perdeu-se em potência.

Foram obtidos resultados consideráveis no cozimento de legumes, ovos e arroz. Esses alimentos tiveram tempo de cozimento bem próximos ao esperado se comparado com o tempo de cozimento do fogão convencional, mesmo sendo utilizadas as mesmas condições e substituição de espelhos por papel alumínio e zinco. Um fator importante foi o tempo totalmente favorável, ou seja, sem nuvens.

Durante a apresentação dos resultados encontrados com cozimento de alimentos à comunidade de trabalhadores rurais e os tipos de fornos utilizados, foi aberto a perguntas e esclarecimentos aos moradores.

A apresentação fez a comunidade refletir sobre a utilização do forno solar, pois, alguns moradores relataram que iriam usar o forno solar em suas pescarias, para preparar o peixe na margem do rio, pois enquanto estavam pescando poderia deixar os peixes cozinhando no forno solar. Essa parte retrata a intenção da comunidade em começar a utilizar o forno, primeiramente de forma experimental, e em seguida, dependendo dos resultados a utilização para seu uso doméstico.

Um forno em particular chamou mais a atenção da comunidade, o forno parabólico, ao serem indagados por que motivo esse forno chamou mais atenção, a resposta foi simples: “é maior e cozinha mais rápido”.

A atitude do professor e dos alunos em utilizarem o forno solar poderá fazer as famílias da comunidade optarem pela utilização do forno, economizando lenha e gás.

## 7 PRODUTO EDUCACIONAL

Para que esse trabalho possa contribuir para a prática de outros colegas professores ou interessados no assunto, foi desenvolvido um blog para que essa experiência seja compartilhada com os interessados. Esse blog foi montado e é o produto educacional dessa dissertação.

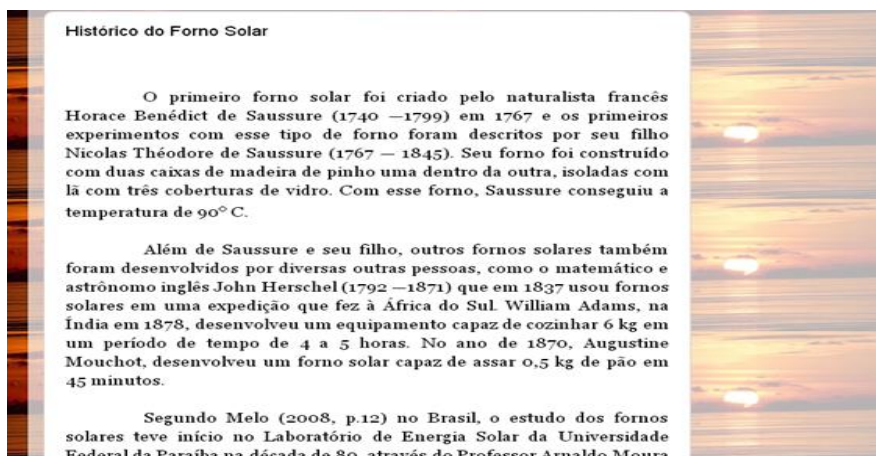
Intitulado *Ensinando e Cozinhando com o Sol* e com endereço <http://ensinandoecozinhandomocosol.blogspot.com.br/>, tem informações atuais sobre os fornos solares, onde e como estão sendo utilizados, essas informações são exibidas com uso de textos, imagens e vídeos.

Como o Sol e sua energia são também objetos dessa dissertação o blog contém informações sobre o Sol sua formação, energia produzida e irradiação. Funcionará também como uma fonte de informação para quem deseja construir e utilizar o forno solar, tanto como ferramenta no ensino de Física, quanto sua utilização para cozinhar alimentos ou para geração de energia elétrica.

Foi escolhido partes do texto desta dissertação para compor o blog juntamente com links extras de sites especializados no assunto, na intenção de informar e conscientizar a população do uso de energias solar e demais energias renováveis. A primeira publicação do blog fala sobre sua importância e a inspiração de sua criação.

Em seguida vem a publicação de um pequeno histórico do forno solar destacando o desenvolvimento dos primeiros fornos solares. A Figura 25 destaca essa publicação.

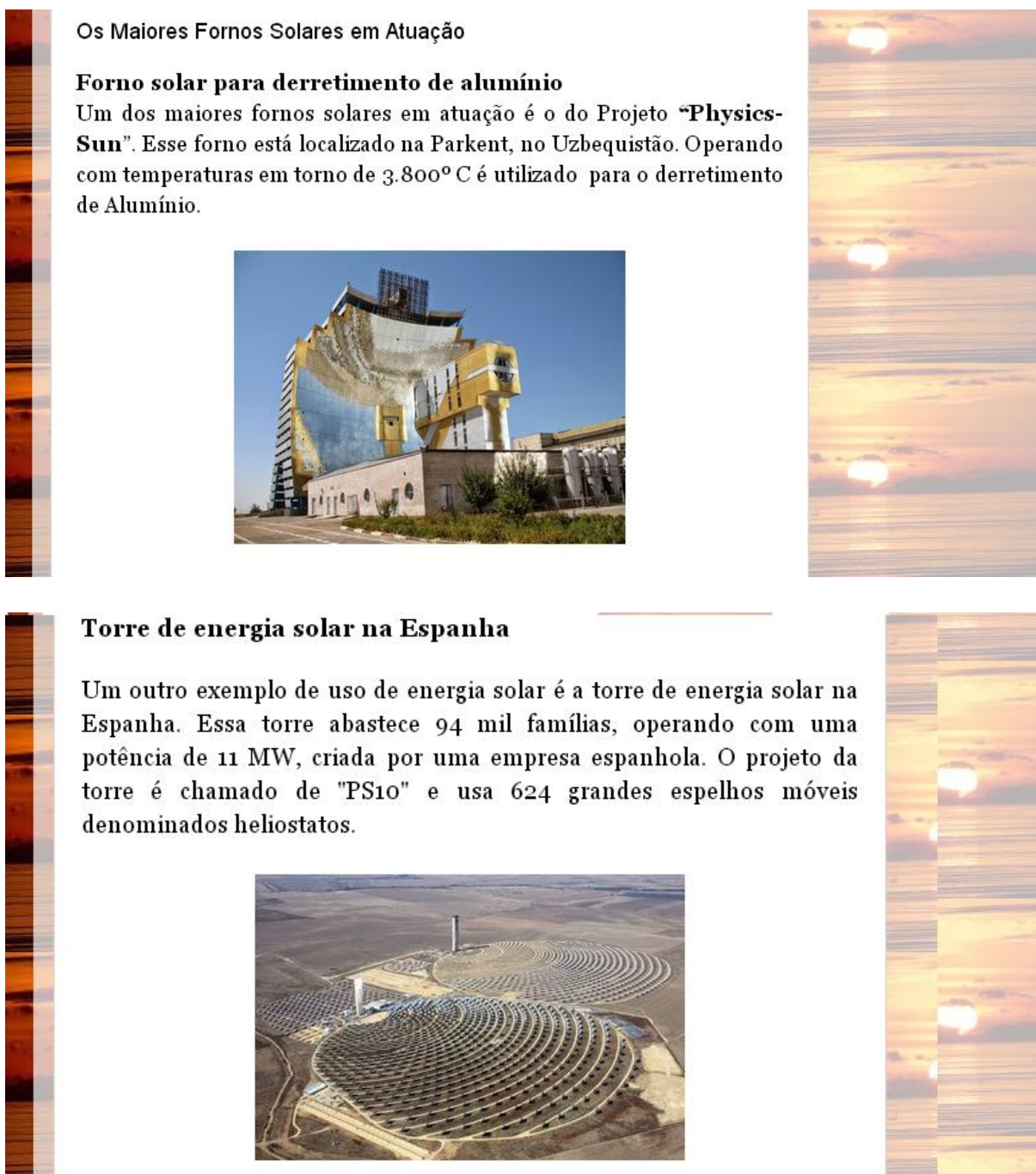
Figura 25- Publicação sobre o histórico do forno solar



Fonte: O autor

Na sequência vem uma publicação sobre os maiores fornos solares em atuação. Nesta publicação é destacado o forno solar de Parkent, no Uzbequistão utilizado para derreter alumínio e a torre de energia solar na Espanha que gera energia para 64 mil famílias. A figura 26 destaca essa publicação.

Figura 26 – Publicação sobre os maiores fornos solares em atuação.



Fonte: O autor



Foi feita uma publicação sobre o potencial de energia solar do Brasil, nesta publicação destacam-se os aspectos que fazem do Brasil um dos maiores potenciais de energia solar do mundo. Como sua posição geográfica e destacando o mapa de irradiação. A Figura 27 destaca essa publicação.

Figura 27 – Publicação sobre o potencial solar do Brasil



Fonte: O autor

A penúltima publicação destaca a visita dos alunos a comunidade de trabalhadores rurais para apresentação do forno solar. Nesta publicação foram apresentados os motivos da visita e algumas fotos do momento. Esta publicação pode ser observada na Figura 28.

Figura 28 – Publicação sobre a apresentação do forno solar a uma comunidade de trabalhadores rurais



Fonte: O autor

Na ultima publicação foi destacado o vídeo da implantação do forno solar no sertão da Paraíba na comunidade de Uiraúna. Esse vídeo apresenta a utilização do forno solar pela comunidade de trabalhadores rurais, por iniciativa do padre do município. A figura 29 apresenta essa publicação.

Figura 29 – Publicação sobre a utilização do forno solar no sertão da Paraíba



Fonte: O autor

Esse blog será atualizado periodicamente com outras publicações relevantes sobre o assunto. Posteriormente serão postadas informações de como preparar os alimentos para cozinhar com o forno solar, tempo de cozimento dos alimentos, quais as melhores épocas e horários para se utilizar com o forno solar, que tipos de alimentos podem ser cozinhados no forno etc. Será feita publicações sobre experimentos usando o forno solar como laboratório no ensino de Física.

O objetivo é que esse blog sirva de apoio a professores que queiram usar o forno com fins didáticos como também para dar suporte aqueles que por ventura venham a usar o forno solar para cozinhar alimentos.



## REFERÊNCIAS

ARAÚJO A. C.; MENESES, O.L. **Estimativa de Radiação Solar Via Modelagem Atmosfera de Mesoescala Aplicada à Região Nordeste do Brasil**. Revista Brasileira de Meteorologia, v.24, n.3, 339-345, 2009.

Brasil. Ministério de Minas e Energias-MME. **Balanço Energético Nacional 2007 ano base 2006: sumário executivo**. Rio de Janeiro. Empresa de Pesquisas Energéticas EPE, 2007.

BONADIMAN H.; NONENMACHERO S. E. B. **O Gostar e o Aprender no Ensino de Física: Uma proposta Metodológica**. Cad. Bras. Ens. Fís., v. 24, n. 2: p. 194-223, ago. 2007.  
BURATTINI, Maria Paula T. de Castro. **Energia: Uma Abordagem Multidisciplinar**. São Paulo: Editora da Física, 2008.

BURATTINI. **Maria Paula T. de Castro. Energia: uma abordagem multidisciplinar**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2008.

Canactech. **Maior usina de energia solar do mundo**. Disponível em:  
<<http://canaltech.com.br/noticia/sustentabilidade/Maior-usina-de-energia-solar-do-mundo-e-inaugurada-na-California/#ixzz3OAWe02Mi>>. Acesso em 20 dez. 2012

Ciência Viva. **Construção e avaliação de desempenho de fornos solares**. Disponível em:  
<<http://www.cienciaviva.pt/rede/himalaya/home/indice.asp>>. Acesso em 18 dez. 2011.

Fórum . Vol. 4, No 01, 2011– Mudanças climáticas e impacto nas cidades. **O POTENCIAL DOS SETORES URBANOS BRASILEIROS PARA A GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA DE FORMA INTEGRADA AS EDIFICAÇÕES**. Disponível em: <<http://www.forumpatrimonio.com.br/print.php?articleID=203&modo=1#>> Acesso em 18 de junho 2013

MELO A. V. Projeto, **Construção e Análise de Desempenho de um Forno Solar Alternativo Tipo Caixa a Baixo Custo**. Dissertação de Mestrado do Curso de Pós - Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2008.

NUSSENZVEIG, H. Moysés. **Curso de Física Básica. Fluidos Oscilação Calor e Ondas**. 2. São Paulo: Edgard Blucher, 2002.

Observatórios Virtuais. **O meio interestelar**. Disponível em:  
<<http://www.astro.iag.usp.br/~jane/aga215/apostila/cap14.pdf>> Acesso em 18 de junho 2013

OLIVEIRA, Silva; HENRIQUES, Ranchel. **Mudanças Climáticas**. Brasília: MEC, SEB, MCT, EAB, 2009.

PEREIRA, M. R. F; ABREAL, L. S; RUTHER, R. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. São Jose dos Campos: INPE, 2006.

PORFÍRIO, S. C. A; **ESTIMATIVA DE IRRADIAÇÃO SOLAR DIRETA NORMAL MEDIANTE SATÉLITE: UM ESTUDO PARA O NORDESTE BRASILEIRO.** Dissertação de Mestrado do Curso de Pós - Graduação em Meteorologia – Publicado por: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE-2012

Preservação Brasil. **Os 10 países que mais produzem energia solar do mundo.** Disponível em: <<http://preservacaobrasil.blogspot.com.br/2013/04/os-10-paises-que-mais-produzem-energia.html>>. Acesso em 10 dez. 2013

SILVA, Adriana. **Nossa Estrela o Sol.** São Paulo: Editora da Física, 2006.

SILVA, M. A. Varejão. **Meteorologia e Climatologia.** Recife: Versão Digital. 2005.

Solar Cookes International. Harnessing the sun to benefit people and the environment - See more at. Disponível em: < [fhttp://www.solarcookers.org/](http://www.solarcookers.org/)> Acesso em 18 de dez. 2013

TEIXEIRA, M.S.A; VITAL, M.L.S; **Atividades Experimentais no Ensino de Física:Diferentes Enfoques, Diferentes Finalidades.** Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 25, no. 2, Junho, 2003.

**APÊDICE****APÊDICE A – QUESTIONÁRIO APLICADO A TURMA DE 2º ANO DE ENSINO MÉDIO QUE TRABALHOU COM O FORNO SOLAR (TURMA EXPERIMENTAL)**

**Nome do aluno (opcional):** \_\_\_\_\_

**Professor: José Souto Sarmento**

01. O Forno Solar mudou de alguma forma a sua visão sobre a Física?

( ) Sim.

Justifique \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

( ) Não

Justifique \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

02. Que contribuições o Forno Solar trouxe para você em termos de aprendizagem em Física e seu papel como cidadão?

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

03. Em relação as aulas de Física você pode citar algumas mudanças positivas ou negativas causadas pelo Forno Solar?

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

04. Marque as alternativas que melhor representam suas impressões sobre ao Forno Solar.

- ☐ ( ) O Forno Solar me fez refletir melhor sobre a aplicação da Física na prática.
- ☐ ( ) O Forno Solar não me trouxe nada de novo.
- ☐ ( ) Após o trabalho com o Forno Solar passei a ter mais envolvimento nas aulas de Física.
- ☐ ( ) O Forno me fez refletir que com o conhecimento de Física que adquirir no colégio, posso contribuir na sociedade de forma positiva.
- ☐ ( ) O Forno nada me fez refletir sobre meu papel de cidadão.
- ☐ ( ) Tenho vontade de aplicar o Forno em mais comunidades.
- ☐ ( ) Após o trabalho com o Forno Solar passei a compreender melhor os conceitos das leis da termodinâmica.
- ☐ ( ) O Forno não contribuiu em relação a meu aprendizado.
- ☐ ( ) O Forno fez com que as aulas de Física se tornaram mais lucrativas e dinâmicas.
- ☐ ( ) Na minha opinião a comunidade de trabalhadores ficou bem empolgada.
- ☐ ( ) Na minha opinião o Forno não influenciou a comunidade.