

# **Dinâmica da composição espectral da radiação solar na superfície terrestre na cidade de Itacoatiara-Am**

Elessandra de Matos CLOVIS<sup>1</sup>, Fernando Fulgencio León AVILA<sup>2</sup>

<sup>12</sup>Universidade Federal do Amazonas – Instituto de Ciências Exatas e Tecnologia

Rua: Nossa Senhora do Rosário 3863, Tiradentes, Cep: 69100-000, Itacoatiara-Am, Brasil

E-mail: *emc\_ufam@hotmail.com*

## **Resumo**

Este relatório consta de duas partes: A primeira parte mostra um resumo de uma revisão bibliográfica sobre a radiação solar, suas características, fatores interferentes em sua propagação até a superfície da Terra e sobre os aparelhos utilizados para seu estudo. A segunda parte apresenta os resultados das medições solarimétricas experimentais realizadas, durante um período de 4 meses, ao nível da superfície da Cidade de Itacoatiara. Os resultados obtidos permitem chegar a interessantes conclusões sobre a viabilidade do uso de radiação solar como uma alternativa de energia limpa para esta região.

## **Abstract**

This report is composed by two parts: The first part shows a summary of a bibliography survey about the solar radiation, its characteristics, the interferences it suffers during its propagation to the surface of the Earth and the instruments and measurements involved in its quantitative analysis. The second part shows the results obtained during four months of solar global radiation measurements at the surface in the City of Itacoatiara. The results obtained made it possible to draw interesting conclusions about the availability of solar energy for the development of renewable and clean energy projects in this region.

**Keywords:** Solar energy, Solar radiation, Insolation, Piranograph, Radiometer.

## **1 Introdução**

O sol, principal fonte de energia, é considerado (Alves 2000) como uma gigantesca usina termonuclear, geradora e emissora de energia para o espaço sendo que parte desta é interceptada pela Terra. A radiação solar que atinge o topo da atmosfera terrestre provém da fotosfera solar que é uma camada tênue com

aproximadamente 300 km de espessura, com uma temperatura na superfície da ordem de 5800K.

A radiação solar é a energia radiante emitida pelo Sol. Essa radiação é de extrema importância para a vida na terra (Souza, 2005), pois é responsável pelos principais processos de ordem física, química e biológica, tanto animal quanto vegetal, bem como responsável direto na disposição da energia primária para todos os processos terrestres.

A irradiância (potência média por unidade de área) desta energia que chega ao topo da atmosfera terrestre é chamada de Constante Solar ( $S_0$ ) e, de acordo com dados recentes, a WMO (World Meteorological Organization: Organização Mundial de Meteorologia), adotou para  $S_0$  um valor de 1367 W/m<sup>2</sup>. Esta quantidade total de energia recebida pela Terra é determinada pela projeção da sua superfície sobre um plano perpendicular à propagação da radiação ( $\pi R^2$ , onde R é o raio da Terra). No entanto, como o planeta gira em torno do seu eixo, esta energia é distribuída, embora de forma desigual, sobre toda a sua superfície ( $4 \pi R^2$ ). Daí que a quantidade de radiação solar média recebida sobre a terra, designada por **insolação** seja 342 W/m<sup>2</sup>, valor correspondente a 1/4 da constante solar. Desta energia somente 25% (denominada de **insolação direta**) chega à superfície sem sofrer interferência pela atmosfera. Aproximadamente 26% está composto pela **radiação difusa**, que é a radiação solar que chega à terra após ter sido dispersada por moléculas de gases e aerossóis presentes na atmosfera. Os outros 49% restantes são reenviados (OMETTO, 1981) de diversas maneiras de volta para o espaço, ou para a atmosfera. Os valores exatos vão depender de fatores astronômicos, da transparência da atmosfera sobre o lugar e principalmente da nebulosidade da região.

Em termos de comprimentos de onda, a radiação solar ocupa a faixa espectral de 100 nm a 3000 nm, tendo uma máxima densidade espectral em torno dos 550 nm que corresponde principalmente à luz verde-amarelada. A parte mais alongada do espectro tem a sua máxima intensidade na banda dos infravermelhos próximos.

A quantidade total de radiação solar recebida não depende apenas da duração do dia, mas também da altura do sol, que varia com a latitude. No mês de Dezembro, a terra está mais perto do sol (Periélio) e mais afastada (Afélio) em Junho e a incidência de seus raios verticais ocorre entre  $23^{\circ}27'N$  e  $23^{\circ}27'S$ . A radiação que é absorvida pela superfície terrestre, como raios ultravioletas, por ser de comprimento de onda menor é responsável pela insolação.

Os fatores que podem influenciar na intensidade de radiação; seja direta ou difusa, tanto de forma negativa quanto positivamente; são a temperatura, a umidade do ar, a nebulosidade, a sazonalidade e o albedo de cada região. O município de Itacoatiara, com clima tropical úmido, característico da região Amazônica, possui uma localização que propicia a incidência de raios solares. Os dados de insolação existentes até o presente momento para este município foram obtidos a partir de modelos matemáticos que determinam, em todos os casos, somente valores médios mensais ou anuais (Tabelas 1 e 2).

A **radiação global** (composta pela insolação e pela radiação difusa), a radiação difusa no plano horizontal e a radiação direta normal são os parâmetros que comumente são medidos. O conhecimento do comportamento da Radiação Solar Global ( $R_g$ ) e do balanço de radiação (O balanço de radiação em uma determinada superfície é a diferença entre toda a energia radiante recebida e perdida pela superfície) é primordial para o entendimento da disponibilidade de energia para os

diversos processos de um sistema climático. Com um histórico dessas medidas, pode-se determinar a viabilidade da instalação de sistemas termosolares e fotovoltaicos em uma determinada região. Assim, as medições solarimétricas na superfície terrestre são da maior importância e interesse para aplicações de energia solar e também a outros estudos relacionados à variabilidade climática.

Segundo (CARVALHO *et al.* 2002); (CUSTODIO *et al.* 2002) e (VIEGAS *et al.* 2002) a radiação solar incidente de ondas curtas em Rondônia/ RR, no período seco possuem valores médios maiores que no período úmido, onde tais valores estão plausíveis de acordo com Aguiar *et al.* (2006), que mostraram um valor médio em torno de 207 W/m<sup>2</sup> na estação seca e 188 W/m<sup>2</sup> na estação chuvosa.

Segundo (COSTA *et al.* 2011 ); (FIGUEIRA *Et al.* 2011 ); (SANTOS *et al.* 2011 ) e (SILVA *et al.* 2011), a radiação solar na cidade de Manaus/Am, é mais intensa no período de 11 as 14 horas, onde o balanço radiativo apresentou média de 285 W/m<sup>2</sup>. Durante suas medições houve relevantes variações devido à alta nebulosidade e umidade do ar.

Muniz (MUNIZ, 2012) observou que na região amazônica, a quantidade de energia disponível no sistema floresta-atmosfera pode promover a mudança de fase da água afirmando que a Amazônia seja uma fonte de umidade em escala global, como é apontado em vários trabalhos científicos. (QUERINO *Et al.* 2010 ); (MOURA *et al.* 2010); (S. QUERINO *et al.* 2010) ; (RADOW *et al.* 2010) e (FILHO *et al.* 2010), verificaram que cerca de 35% da radiação incidente atinge a superfície interna da floresta de mangue e que esse valor reduziu-se para apenas 15% no período chuvoso. Isso ocorre devido às variações das condições de transmissividade atmosférica, (Kt). Eles observaram a grande dependência que a penetração dos raios

solares tem o ângulo zenital solar ( $Z$ ) com as estações do ano, onde se constatou uma redução de até 66% entre os períodos seco e chuvoso.

Portanto, os estudos de balanço de radiação para a Região Amazônica, as medições de radiação global, direta e difusa, tanto sobre a copa das árvores, quanto na superfície possuem valores altamente relevantes. A causa da variação de intensidade desses parâmetros está relacionada aos fatores climáticos característicos da região como a umidade, a sazonalidade, o albedo e ao índice de claridade,  $K_t$ . Este parâmetro definido como a razão entre  $R_g$  e a radiação solar que chega ao topo da atmosfera ( $R_o$ ) varia de acordo com a transparência da atmosfera, e isso acarretará no aumento ou na redução das componentes direta ou difusa da radiação solar que atinge a superfície, possibilitando a classificação do céu quanto a sua nebulosidade.

Levando em consideração este fato, o presente trabalho teve como objetivo geral determinar a intensidade da radiação solar global ao nível da superfície terrestre na Cidade de Itacoatiara, através da coleta e análise estatística de dados obtidos com aparelhos de medição de radiação global. Vale destacar que o presente projeto tinha como objetivo inicial estudar a dinâmica da composição espectral da radiação na superfície terrestre da Cidade de Itacoatiara, porém, o aparelho de medição necessário para este tipo de medição não podia ser adquirido a um preço menor de USD \$5000, o que nos obrigou a mudar o objetivo inicial para um estudo da disponibilidade de radiação solar global nesta cidade. Na realidade, pensamos que talvez foi melhor cumprir com esta segunda versão do objetivo, pois o que é mais importante para estimar a viabilidade de desenvolver projetos de utilização de energia solar é precisamente a disponibilidade de radiação solar e não as características espectrais da radiação, pelo menos numa primeira etapa das pesquisas.

## **2 Fundamentação Teórica**

### **2.1 Radiação Solar**

A radiação solar é a energia adiante emitida pelo sol. O sol emite esta radiação em todos os comprimentos de onda, se comportando como um corpo negro. Um corpo negro é um corpo que hipoteticamente é um ideal absorvedor e emissor de radiação. Toda e qualquer energia que lhe é incidida, este absorve e emite na mesma proporção que a recebe.

As várias formas de radiação, caracterizadas pelo seu comprimento de onda, compõem o espectro eletromagnético. As características da radiação emitida por um corpo negro, como o sol, podem ser estudadas através do uso das leis da radiação comentadas brevemente a seguir.

Assim, de acordo com a lei de Kirchhoff, para um dado comprimento de onda e uma dada temperatura, a absorvidade de um corpo é igual a sua emissividade. Todo bom absorvedor é um bom emissor.

A lei de Wien relaciona a temperatura do corpo negro à máxima radiância espectral por ele emitida. Já a lei de Stefan-Boltzmann descreve a irradiância ou intensidade total da energia emitida por um corpo negro, já integrado sobre todo o espectro eletromagnético, como função de sua temperatura. Assim de acordo com a figura (1) pode-se observar que a lei de Planck descreve a radiância espectral emitida por um corpo negro como função de sua temperatura e do comprimento de onda e sua explicação tem sido a mais adequada para descrever o comportamento espectral da radiação deste corpo.

Embora o espectro eletromagnético seja contínuo, nomes diferentes são atribuídos a diferentes intervalos porque seus efeitos, geração, medida e uso são diferentes. A maior parte da energia radiante do sol está concentrada nas partes visível e próximo do visível do espectro. O 43% da energia contida no total do espectro eletromagnético corresponde à radiação visível, 49% corresponde ao infravermelho e 7% está no ultravioleta, deixando menos de 1% para a parte emitida em forma de raios X e outros tipos de radiação.

## 2.2 Medição de Radiação Solar

As componentes de radiação solar que estão sujeitos às medições para fins meteorológicos, e que são de uso mais comum, são as seguintes (OWM, 1996):

- radiação solar direta medida a incidência normal,
- radiação solar global recebida sobre uma superfície horizontal,
- radiação solar difusa,
- radiação solar (direta, global e difusa) medidas em porções definidas no espectro.

A radiação solar global ( $R_g$ ) é entendida como a soma da radiação difusa ( $R_c$ ) com a radiação direta ( $R_d$ ), (OMETO, 1981):

$$R_g = R_c + R_d \quad (1)$$

Os valores desta grandeza, em unidades de potência por unidade de área ( $\text{Watts/m}^2$ ), e a integral desta grandeza em intervalos de tempo finitos (unidades de  $\text{J/m}^2$ ), foram medidos para caracterizar a região onde está situada a Cidade de Itacoatiara, quanto à disponibilidade de energia solar, de acordo com a equação (2).

$$Q = \int_0^t R_g(t') dt' \quad (2)$$

### 2.3 Instrumentos Solarimétricos

A classificação dos instrumentos está baseada em diferentes critérios como precisão e grau de calibração, o tipo de variável que se pretende medir, o campo de visão, a resposta espectral, o emprego principal a qual se destina.

**O heliógrafo** é um instrumento que registra a duração do brilho solar. A radiação solar é captada por uma esfera de cristal de 10 cm de diâmetro e projetada sobre uma fita que, pela ação da radiação, é enegrecida. O comprimento da zona enegrecida nesta fita exposta a radiação solar mede o número de horas de insolação. A troca do heliograma é diária assim como a limpeza de impurezas, de orvalho ou chuva da esfera de vidro. Ele é instalado em base sólida de alvenaria, evitando assim proximidade de obstáculos para não ocorrer sombreamento. Existem 3 tipos de heliogramas (tiras retas, curvas curtas e curvas longas). Cada um é colocado em tempo pré-determinado.

**Tubo solarímetro:** usa o mesmo princípio dos piranômetros, porém com as termopilhas instaladas numa placa retangular e longa, permitindo uma melhor amostragem espacial. O sinal gerado é captado por um sistema automático de aquisição de dados.

**Os pireliômetros** são instrumentos que medem a radiação direta. Ele se caracteriza por apresentar uma pequena abertura de forma a "visualizar" apenas o disco solar e a região vizinha denominada circunsolar. O instrumento segue o movimento solar, sendo constantemente ajustado para focalizar melhor a região do



sensor. Muitos destes hoje são autocalibráveis apresentando precisão na faixa de 5% quando adequadamente utilizados para medições. Este instrumento possui um elevado custo.

**O Piranógrafo ou actinógrafo** (Figura 3) é um instrumento que mede a radiação solar global. Este possui um elemento sensível à radiação solar, coberto por uma cúpula de vidro, o qual aciona um sistema de alavancas que registra a energia sobre um papel (actinograma ou diagrama) colocado sobre um tambor acionado por um mecanismo de relojoaria. Ele é instalado em uma área descoberta para que não haja sombreamento sobre a cúpula de vidro. Sua precisão encontra-se na faixa de 15 a 20% e é considerado um instrumento de terceira classe.

**O radiômetro ou piranômetro** (Figura 2) é um instrumento que mede o fluxo de radiação ou a intensidade de radiação eletromagnética através da conversão desta energia em energia elétrica e, assim como o piranógrafo, este também mede a radiação solar global. O elemento sensível à radiação solar consiste em uma termopilha que mede a diferença de temperatura entre duas superfícies, uma pintada de preto e outra pintada de branco igualmente iluminada. A expansão sofrida pelas superfícies provoca uma diferença de potencial que, ao ser medida, mostra o valor instantâneo da energia solar. Outro modelo é o que utiliza uma célula fotovoltaica de silício monocristalino, que responde à absorção de energia, gerando uma corrente elétrica proporcional à irradiância solar. Segundo (VICTORIA,2008.), os piranômetros com sensores fotoelétricos apresentam um bom desempenho nas medidas de radiação global e difusa. Embora de menor exatidão, quando comparadas com as medidas realizadas com piranômetros de sensores de termopilhas, tais medidas, por serem consideradas de boa qualidade, podem colaborar para aumentar o

banco de dados de radiação, visto que poucas estações medem radiação difusa, devido ao alto custo de aquisição e manutenção dos equipamentos de segunda classe.

#### **4 Materiais e Métodos**

Os dados de insolação foram obtidos com dois instrumentos de medição: um radiômetro Modelo HD2102.1 com uma sonda de medição radiométrica modelo LP471RAD, (Figura 2) e com um piranógrafo Modelo R. Fuess-Berlin-Steglitz (Figura 3).

O piranógrafo permitiu obter actinogramas com registros contínuos da radiação global por períodos de uma semana, isto é, cada actinograma tem uma duração de uma semana.

A sonda radiométrica usada capta radiação no intervalo espectral de 400 nm até 1050 nm, o que significa que é capaz de registrar a energia contida em toda a parte visível do espectro e também de uma pequena porção da parte infravermelha do espectro eletromagnético. Tem uma incerteza na calibração menor que um 5%, o que garante resultados confiáveis se comparados com as variações sofridas pela intensidade da radiação global que chega à superfície nesta região que é de uma grande variabilidade como pode ser apreciado nos resultados mostrados nos actinogramas.

O radiômetro permitiu obter valores instantâneos da radiação global (expressados em  $\text{Watts/m}^2$ ) a cada um segundo que foram transferidos para um computador, onde foram armazenados e processados estatisticamente.

O radiômetro também permitiu coletar dados da Quantidade de Energia ( $J/m^2$ ) que chega à superfície da terra por unidade de área, através de um processo de integração dos valores de radiação global que é realizado pelo Software DELTALOG9, segundo o procedimento matemático mostrado na eq. (2), adquirido junto com o radiômetro e a sonda de medição. O intervalo de tempo selecionado entre os limites da integral foi de 7 minutos e os dados foram coletados numa zona descoberta próxima à Terminal Rodoviária da Cidade de Itacoatiara a intervalos de 30 minutos, desde às 9 horas até às 16 horas, nos dias 2, 14, 15, 16, 22 e 23 de junho e o dia 4 de julho. Os dias foram selecionados aleatoriamente e para cobrir um período de um mês. Não foi possível fazer medições deste tipo nos meses anteriores pelas demoras ocorridas durante o processo de aquisição do radiômetro, que foi comprado através de uma firma Italiana com representação no Brasil.

As medições com o piranógrafo foram realizadas numa área descoberta do ICET/UFAM, diariamente, durante um período de três meses (de Abril à Junho de 2013). O local selecionado foi o mesmo durante todo este período. Como os actinogramas obtidos com o piranógrafo são registros relativos da radiação global, isto é, não oferecem os valores absolutos de  $R_g$ , os actinogramas foram calibrados usando como critério de comparação os dados coletados pelo radiômetro HD2102.1. A comparação desses registros dos dois instrumentos foi realizada usando vários registros realizados pelos dois instrumentos em iguais condições de medição: mesmo dia, mesma hora e com uma distância de 10 cm entre o piranógrafo e a sonda de medição radiométrica do piranômetro.

## **5 Resultados e Discussão**

A Figura 4 mostra um fragmento de um actinograma obtido com o piranógrafo utilizado no projeto. No actinograma aparece o registro da radiação global ao nível da superfície da terra numa área descoberta do ICET/UFAM para os dias 9, 10, 11 e 12 do mês de maio de 2012. O registro mostrado na Figura corresponde praticamente à metade de um actinograma, pois cada um deles tem o registro completo para uma semana( sete dias). Como resultado destas medições foi coletado um total de 7 actinogramas para os três meses de estudo, pois alguns dos actinogramas tiveram que ser desprezados por causa de alguma perturbação, como por exemplo o vazamento da tinta da pena causada pela entrada de umidade na parte onde está o tambor com a fita. Como podem ser apreciados, os actinogramas são registros relativos da quantidade de energia que está chegando à superfície por unidade de tempo e por unidade de área, isto é, não permitem determinar de forma direta qual é o valor de essa grandeza, porém, eles permitem ter uma ideia sobre a variabilidade dessa grandeza num determinado dia e, depois de calibrar (colocar esses actinogramas numa escala calibrada usando os dados obtidos por outro instrumento calibrado), eles também constituem um importante registro absoluto dos valores da radiação global. A trecho plano que aparece na parte inferior entre cada sequencia de picos corresponde ao horário noturno, em que a quantidade de radiação que recebe a superfície é mínima. As sequencias de picos entre uma noite e a seguinte, mostra, na quase totalidade dos actinogramas, que a variabilidade da disponibilidade de radiação é muito grande nesta região, como o senso comum conhece. A comparação destes actinogramas obtidos com o piranógrafo, com os obtidos com o piranômetro (Figura 7) em igualdade de condições de medição permitiram validar os resultados mostrados nos actinogramas do piranógrafo e ter uma ideia quantitativa da disponibilidade de

radiação global média durante o período de medição, porém, essa quantidade vai depender da parte do pico, entre dois noites consecutivas, que o interessado quiser tomar. Esta parte do estudo não deu tempo para concluir, porém, os resultados obtidos com o piranômetro (do tipo mostrado na Figura 7) permitem obter de maneira absoluta esta estatística, que será comentada um pouco mais para frente.

As Figuras 5 e 6 mostram os resultados das medições de Q (Quantidade de Energia solar global) em  $\text{kJ/m}^2$  presente na superfície da terra numa área descoberta ao lado da Terminal Rodoviária da Cidade de Itacoatiara. Estas medições foram realizadas com o radiômetro HD2102.1 com sonda de medição radiométrica modelo LP471RAD a cada 30 minutos, começando pela manhã e terminando pela tarde, para examinar a disponibilidade de energia durante a parte mais ensolarada do dia. Os períodos de medição foram sempre de 7 minutos porque, num dos dois modos de operação do radiômetro, ele para de forma automática aos 8 minutos de funcionamento para economizar a energia de sua bateria interna. Os dados registrados na Figura 5, correspondente ao dia 2 de junho, dão como resultado uma disponibilidade média de energia de  $3,401054 \times 10^4 \text{ kJ/m}^2$ , entanto que os dados reportados na Figura 6, correspondente ao dia 4 de julho, dão como resultado uma disponibilidade média de energia de  $8,212796 \times 10^5 \text{ kJ/m}^2$ . O último destes dois dias teve uma grande variabilidade em relação à disponibilidade de energia solar, porém em quantidades sempre maiores que o dia 2 de junho que foi levemente ensolarado. Como foi comentado na seção de materiais e métodos, também foram realizados registros de esta disponibilidade de energia para os dias 14, 15, 16, 22 e 23 de junho. Os gráficos não foram incluídos neste relatório por razões de espaço.

A Figura 7 mostra os resultados das medições de radiação solar global em unidades de potencia por unidade de área, obtidos também com o radiômetro HD2102.1 usando a sonda de medição radiométrica modelo LP471RAD. Foram realizados em total 6 registros de este tipo, dos quais mostra-se um exemplo nesta Figura 7. Nestes registros, obtidos com uma sonda e um aparelho calibrado pelo próprio fabricante e com uma rapidez de resposta muito grande ao estímulo, podem ser vistos, com toda clareza, os intervalos de pouca ou de muita variabilidade da disponibilidade de radiação, bem como os valores absolutos instantâneos de potencia da radiação por unidade de área. Os valores médios nos seis registros realizados nos dias 6, 7, 9 e 11 de julho são apresentados na Tabela 3, junto com a data, hora e número de amostras tomadas para fazer a estatística. A média para o mês de julho, de acordo com os dados da última coluna da Tabela 3 resulta ser de  $0,29 \text{ kW/m}^2$ , valor que difere do valor reportado para o mês de julho na estatística de 22 anos reportado pela NASA para o mês de julho nesta região que é de  $0,63 \text{ kW/m}^2$ . Não podemos dar, por enquanto, nenhuma explicação para esta divergência, o que indica que este tipo de estudos deverá continuar.

Finalmente, desejamos comentar que os dados coletados durante a realização desta pesquisa permitem extrair mais informação e ainda algumas outras conclusões que não são colocadas neste relatório por falta de tempo, mas que estão disponíveis para consulta em futuras pesquisas nesta área.

### **3 Agradecimentos**

Primeiramente a Deus pela vida. À FAPEAM pela bolsa concedida. À Universidade Federal do Amazonas pelo apoio financeiro e também espaço cedido para a realização deste trabalho. Ao professor orientador, e ao aluno de licenciatura em Física do IFAM - Manaus, Alysson Bhrian Muniz, pelo apoio teórico através do seu trabalho concedido sobre Balanço de energia em uma superfície vegetada.

### **4 Bibliografia Citada**

1. ALVES, et al, N. G. Meteorologia Básica a Aplicações. Viçosa/MG; UFV, 200.448p.
2. ARYA, S. Pal. *Introduction to Micro meteorology. 2nd ed. Academic Press: Califórnia*, 2001.
3. IQBAL, M. An introduction to solar radiation. New York: Academic Press, 1983. 390 p;
4. Carvalho, L. R.; Viegas, J.2002. Analise do comportamento de variáveis meteorológicas em áreas de pastagem e floresta na região da Amazônia. Universidade Federal do Amazonas. 1-5;
5. Conforte, J. C.;Ferreira, N. J.; Santos,C. C.2003. Características da nebulosidade média, Belo- Horizonte. Anais, XI SBSR-INEP, p.1145-1151;
6. Costa, P. S.; Figueira, W. S; Santos, R.M.N.; Silva, J.V, 2011. Avaliação dos Componentes do Balanço de Radiação e energia para a Estação Meteorológica da EST/UEA, em Manaus-Am. 1-4 p.

7. Martins, F.R.; Pereira, E. B; Colle, S, 2005. Mapas de irradiação solar para o Brasil-Resultados do projeto SWERA, Goiânia. Anais. XIISIMPÓSIO DE MONITORAMENTO REMOTO. INEP, p.3137-3145;
8. Marques Filho, A.O.; Dallarosa, R.G. 2000. Interceptação de radiação solar e distribuição espacial de área foliar em floresta de terra firme da Amazônia Central. *Acta Amazonia*, 30 (3):453-470;
9. Marques Filho, A.O.; Dallarosa, R.G. 2001. Atenuação de radiação solar e distribuição vertical de área foliar em floresta Reserva Jaru, Rondônia, Brasil. *Acta Amazonia*, 31(1): 39-59;
10. Neto, A. A.C.2007. *Estudo Bioclimático no Campus da UFMT*. Dissertação de Mestrado em Física e meio Ambiente. Instituto de Ciências Exatas e da Terra/Fundação Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá. 177p;
11. OMETTO, J.C. Bioclimatologia vegetal. São Paulo. Agronomia Ceres, 1981,; p,413;
12. PEIXOTO, J. P and A. G. Oort, 1992. Physics of Climate. American Institute of Physics. New York, US. Pp.520;
13. Risol, 1999. Terminologia, deficiones y simbologia. Energias renovables y médio ambiente. Vol 8. Junio del 2000. Pp- 29-30;
14. SILVA, A. B. S. M. **Balanco de radiação sobre uma superfície vegetada.** Iniciação Científica (Graduação) – Licenciatura em Física. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas: Manaus. 2012.
15. SILVA, D. R. **Análise Harmônica da radiação solar global mensal na região de Pelotas-RS.** Pelotas, 2003. 79 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) Faculdade de Meteorologia, Universidade Federal de Pelotas, 2003.



16. Sentelhas, Paulo C.; Angelocci, Luiz R. Radiação Solar e Balanço de Energia. LCE 306-Meteorologia Agrícola. USP, 2009;
17. UFPR, 2006. Apostila de Meteorologia.  
<http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap5/cap5-6.html>. Acesso em 30/08/2012;
18. VALLIATI, M.I.; RICIERI, R.P.; SANTOS, R.F. Modelo de Estimativa da irradiação Solar Global para a região de Cascavel. Anais: ISIMPÓSIO DE ENERGIA NA AGRICULTURA, Botucatu: UNESP- FCA-Grafica e Editora Tiponic, 1999. V. 2, p.395-402;
19. VICTORIA, I M. B. **Medição da Radiação Solar Global e Difusa Utilizando Piranômetros com Sensores Fotoelétricos**. 2008. 95f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Meteorologia. Faculdade de Meteorologia. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas;
20. Wandelli, E.V.; Marques Filho, A.O. 1999. Medidas de radiação solar e índice de área foliar de coberturas vegetais. *Acta Amazonica*, 29(1): 57-78;
21. World Meteorological Organization(WMO), 1996. Guide to meteorological instrument and methods of observation. Sixth edition, WMO, number 08, Suíça.

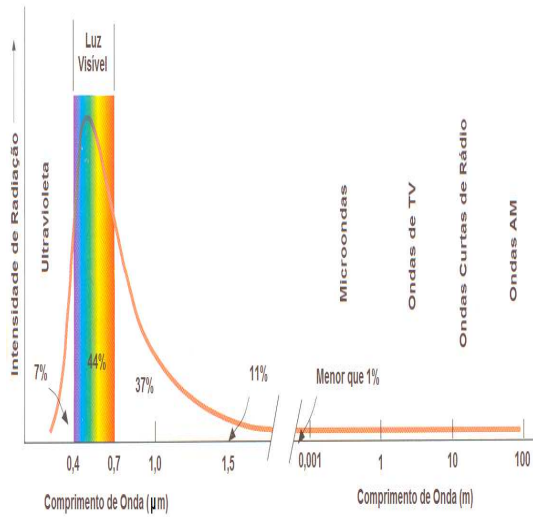
## 5 Tabelas

<b>Tabela 1. Médias mensais de insolação incidente numa superfície horizontal ao meio dia (<math>\text{kW/m}^2</math>) Fonte: NASA</b>												
Lat -3 Lon -58	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
22-year Average	0.53	0.51	0.54	0.53	0.54	0.57	0.63	0.70	0.73	0.71	0.64	0.56

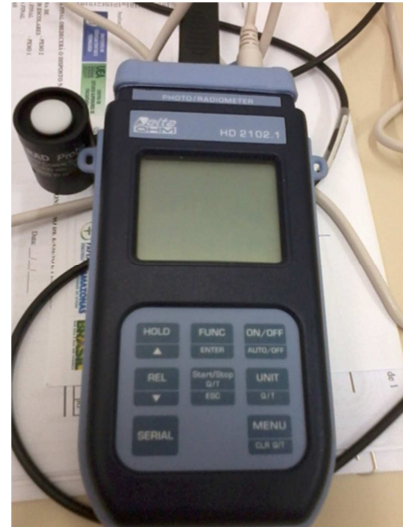
<b>Tabela 2. Média mensal de radiação direta normal (<math>\text{kWh/m}^2/\text{dia}</math>). Fonte: NASA</b>													
Lat -3 Lon -58	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual Average
22-year Average	3.04	2.74	2.61	2.87	3.39	4.18	4.82	5.06	4.92	4.46	3.97	3.49	3.80

<b>Tabela 3. Valores médios de radiação solar global <math>R_g</math> (<math>\text{W/m}^2</math>), medidos com o radiômetro HD2102-1 usando a sonda LP471RAD, n mês de julho de 2013.</b>				
Registro	Dia	Quantidade de amostras	Horário.	$R_g$ ( $\text{W/m}^2$ )
1	6	703	15:20 – 16:20	138,12
2	7	177	10:30 – 11:30	70,06
3	7	561	12:34 – 14:08	252,67
4	9	224	13:44 – 14:06	275,23
5	11	246	12:29 – 13:31	454,67
6	12	137	12:28 – 13:03	521,98

## 6. FIGURAS



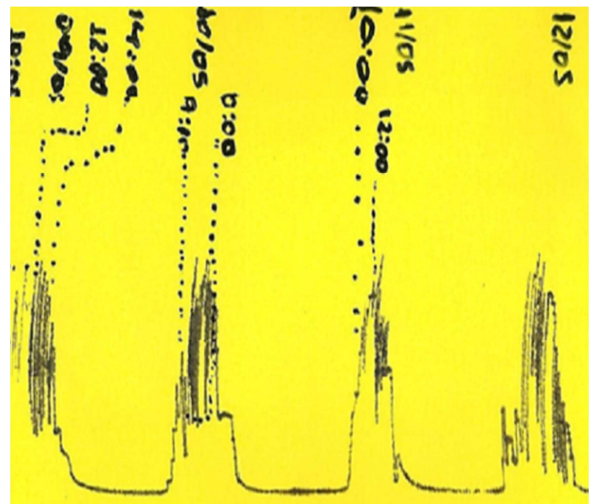
**Figura 1:** Espectro eletromagnético da radiação de um corpo negro. Lei de distribuição de Planck.



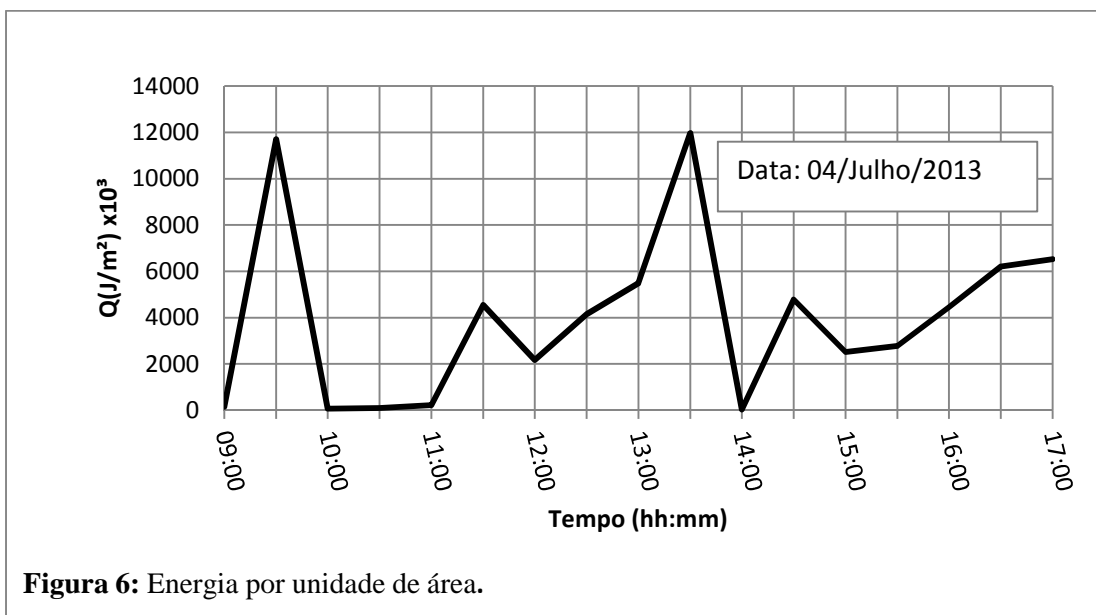
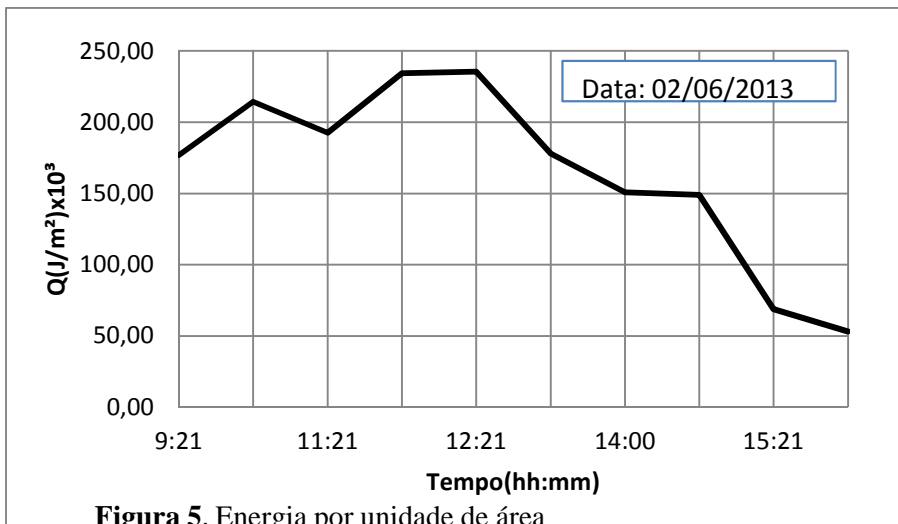
**Figura 2:** Radiômetro Modelo HD2102.1 com sonda radiométrica LP 471 RAD.

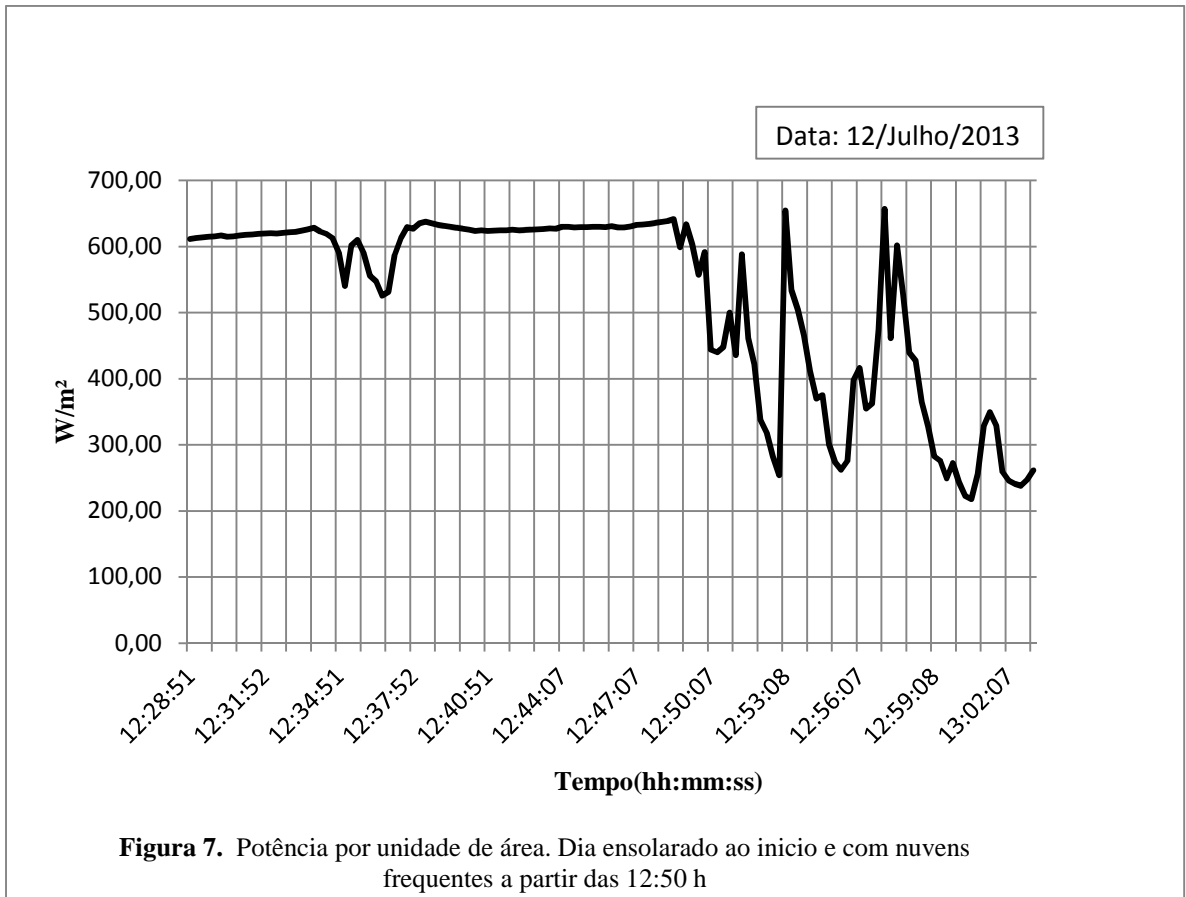


**Figura 3:** Piranógrafo Modelo R. Fuess-Berlin-Steglitz



**Figura 4:** Fragmento de actinograma mostrando o registro durante quatro dias.





## 7. Cronograma de Atividades

Nº	Descrição	Ago 2012	Set	Out	Nov	Dez	Jan 2013	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul
1	Revisão Bibliográfica sobre o tema	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
2	Treinamento no uso dos instrumentos							x	x				
3	Medição da intensidade e duração da radiação solar global.									x	x		
4	Coleta/armazenamento de dados.										x	x	x
5	Análise e redução de dados.											x	x
6	Análise estatística dos dados.												x
7	Elaboração do Resumo e Relatório Final (atividade obrigatória)												x
8	Preparação da Apresentação Final para o Congresso (atividade obrigatória)												x