

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL

**INFLUÊNCIA DA COBERTURA DO CÉU NOS ALBEDOS DE
UMA REGIÃO DE CERRADO DA BAIXADA CUIABANA**

CRISTIANO ROCHA DA CUNHA

PROF. DR. OSVALDO BORGES PINTO JÚNIOR
ORIENTADOR

Cuiabá - MT, agosto de 2012.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL

**INFLUÊNCIA DA COBERTURA DO CÉU NOS ALBEDOS DE
UMA REGIÃO DE CERRADO DA BAIXADA CUIABANA**

CRISTIANO ROCHA DA CUNHA

*Dissertação apresentada ao Programa de Pós-
Graduação em Física Ambiental da
Universidade Federal de Mato Grosso, como
parte dos requisitos para obtenção do título de
Mestre em Física Ambiental.*

**PROF. DR. OSVALDO BORGES PINTO JUNIOR
ORIENTADOR**

Cuiabá – MT, agosto de 2012.

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

C972i Cunha, Cristiano Rocha da.
Influência da Cobertura do Céu nos Albedos de uma Região de
Cerrado da Baixada Cuiabana / Cristiano Rocha da Cunha. -- 2012
64 f. ; 30 cm.

Orientador: OSVALDO BORGES PINTO JUNIOR.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso,
Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Física
Ambiental, Cuiabá, 2012.
Inclui bibliografia.

1. Radiação refletida. 2. Índice de claridade do céu. 3.
Variabilidade.. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, Valdivino José da Cunha e Ana Paula Rocha da Cunha e a minha esposa e filha, Rute Almeida e Silva e Ester Almeida Cunha, os primeiros porque me educaram com muito amor e carinho, à minha esposa e filha porque fizeram da minha vida um eterno jardim de doçura e amor.

AGRADECIMENTOS

- Primeiramente a Deus, porque sempre me deu saúde, paz, perseverança e muito tem me abençoado como filho, como profissional, como marido e agora como pai.
- Aos meus queridos pais, Valdivino José da Cunha e Ana Paula Rocha da Cunha, pessoas que sempre estiveram ao meu lado, nos momentos bons e principalmente nos momentos difíceis.
- À minha doce e amada esposa, Rute Almeida e Silva, que sempre esteve do meu lado, me apoiando e me ajudando incondicionalmente e também me auxiliando nas correções gramaticais da dissertação.
- À minha doce filhinha, Ester Almeida Cunha, que veio ao mundo no auge dos meus estudos no mestrado e a partir daí, tudo em minha vida ficou melhor.
- À minha querida irmã Cristina Rocha da Cunha, que sempre me alegrou com sua presença e com seu grande carinho.
- Ao meu orientador, Prof. Dr. Osvaldo Borges Pinto Júnior pela orientação, pela amizade e pelos importantes ensinamentos.
- Ao grande Prof. Dr. José de Souza Nogueira, coordenador do PPGFA e a sua esposa, Prof. Dr^a. Marta C. J. A. Nogueira, pela amizade e pelos importantes conselhos dados durante suas aulas.
- À banca examinadora, Prof. Dr. José de Souza Nogueira e Prof. Dra. Maricéia Tatiana Vilani, pela leitura da dissertação e pelas importantes contribuições dada ao trabalho.
- À todos os professores do programa, Prof. Dr. Denilto Carlos Gaio, Prof. Dr. José de Souza Nogueira, Prof. Dr^a. Iramaia Jorge Cabral de Paulo, Prof. Dr^a. Carmen Eugênia Rodríguez Ortíz, Prof. Dr. Marcelo Scardi Biudes, Prof. Dr.

Carlo Ralph de Musis, Prof. Dr. Francisco de Almeida Lobo e Prof. Dr. José Holanda Campelo Júnior, todos deixaram um pouquinho de si, e a soma de cada uma de suas contribuições me fez um profissional melhor.

- Ao grande Cesário e a companheira Soilce, pessoas adoráveis que na secretaria do programa sempre me auxiliaram no que precisei.
- À todos os colegas da minha turma, pessoas adoráveis que se tornaram grandes amigos, Maísa, Paula, Pedro, Raphael, Renan, Saiane, Thomas, Vanessa, Victor Hugo, Vinícius.
- Ao meu grande amigo, Prof. Dr. Flair José Carrilho Sobrinho, que muito me ajudou no tratamento dos dados deste trabalho.
- Aos grandes parceiros e amigos, Prof. Msc. Thiago Rangel Rodrigues, Prof. Msc. Jonathan Willian Zangeski Novais e Prof. Msc. Leone Francisco Amorim Curado que muito me ajudaram na realização deste trabalho.
- Aos meus amigos, Prof^a. Msc. Amanda Finger e Prof. Msc. André Luiz Martins, pela ajuda na configuração da Dissertação.
- À Prof^a. Msc. Marlene Rodrigues, que não poupou esforços para adequação do meu horário de trabalho para que pudesse frequentar as aulas sem nenhum prejuízo.
- Aos meus colegas de trabalho do IFMT Campus Cáceres, que durante o período em que lá morei, muito me ajudaram na troca de horário de trabalho para que pudesse frequentar as aulas do mestrado sem prejuízo.

*“Não há nada bom nem mau a não ser estas duas coisas:
a sabedoria que é um bem e a ignorância que é um mal.”*

Platão

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE GRÁFICOS	ix
LISTA DE SÍMBOLOS	v
RESUMO	vi
ABSTRACT.....	vii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. PROBLEMÁTICA.....	1
1.1.1. Objetivo Geral	2
1.1.2. Objetivos Específicos	2
1.2. JUSTIFICATIVA.....	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1. RADIAÇÃO SOLAR E ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO	4
2.1.2. Radiação Fotossinteticamente Ativa (<i>PAR</i>)	6
2.1.3. Ondas de Infravermelho (<i>IV</i>)	7
2.2. LEI DE WIEN	8
2.3. LEI DE STEFAN-BOLTZMANN	8
2.4. RADIAÇÃO INCIDENTE SOBRE UMA SUPERFÍCIE	9
2.5. BALANÇO DE RADIAÇÃO	10
2.5.1. Balanço de Ondas Curtas (<i>BOC</i>).....	10
2.5.2. BALANÇO DE ONDAS LONGAS (<i>BOL</i>)	11
2.6. COBERTURA DO CÉU	12
2.7. DETERMINAÇÃO DA RADIAÇÃO GLOBAL.....	13
2.7.1. Estimativa da Radiação no Topo da Atmosfera	14
2.8. ALBEDO.....	15
2.8.1. Albedo de radiação global	16
2.8.2. Albedo de radiação <i>PAR</i>	16
2.8.3. Albedo de Radiação <i>IV</i>	17

3.	MATERIAIS E MÉTODOS	18
3.1.	LOCAL DE ESTUDO	18
3.2.	INSTRUMENTAÇÃO UTILIZADA	20
3.3.	TRATAMENTO DOS DADOS.....	22
3.3.1.	Integração das radiações incidente e refletida.....	22
3.3.2.	Estimativa da radiação incidente no topo da atmosfera	23
3.3.3.	Determinação dos Albedos de Radiação Global e <i>PAR</i>	23
3.3.4.	Albedo de Radiação IV	23
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	25
4.1.	Classificação da cobertura do céu	27
4.2.	DETERMINAÇÃO DOS ALBEDOS	27
4.3.	ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS.....	36
4.3.1.	ANÁLISE DA MÉDIA DOS INTERVALOS DE VARIAÇÃO DO ALBEDO DE RADIAÇÃO GLOBAL DO PERÍODO SECO	37
4.4.	ANÁLISE DA MÉDIA E INTERVALOS DE VARIAÇÃO DO ALBEDO DE RADIAÇÃO <i>PAR</i> NO PERÍODO SECO	38
4.5.	ANÁLISE DA MÉDIA E INTERVALOS DE VARIAÇÃO DO ALBEDO DE RADIAÇÃO IV NO PERÍODO SECO.....	38
4.6.	ANÁLISE DA MÉDIA E INTERVALOS DE VARIAÇÃO DO ALBEDO DE RADIAÇÃO GLOBAL NO PERÍODO CHUVOSO.	39
4.7.	ANÁLISE DA MÉDIA E INTERVALOS DE VARIAÇÃO DO ALBEDO DE RADIAÇÃO <i>PAR</i> NO PERÍODO CHUVOSO.	40
4.8.	ANÁLISE DA MÉDIA E INTERVALOS DE VARIAÇÃO DO ALBEDO DE RADIAÇÃO IV NO PERÍODO CHUVOSO.	42
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	44
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Espectro Eletromagnético	5
Figura 2. Intensidade da fotossíntese ao longo da radiação <i>PAR</i>	7
Figura 3. Representação esquemática do balanço médio de radiação de ondas curtas, na superfície terrestre (PEREIRA et. Al., 2002).	11
Figura 4. Localização da Fazenda Miranda.	19
Figura 5. Torre localizada na Fazenda Miranda.....	20
Figura 6. Piranômetro modelo LI200X (LI-COR Biosciences, Inc., Lincol, NE, USA)	21
Figura 7. Sensor Quantum (LI-190SA da Licor Inc.).	21
Figura 8. Distribuição do regime de precipitação no Período Seco (maio a outubro de 2009) e Período Chuvoso (novembro de 2009 a abril de 2010). .	25
Figura 9. Média diária das temperaturas dos períodos seco e chuvoso.....	26
Figura 10. Média diária da umidade relativa dos períodos seco e chuvoso. ..	26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Determinação do total de dias e suas coberturas.	27
---	----

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Representação do albedo de radiação global diário nos dias nublados e claro do período seco.	28
Gráfico 2. Representação da variação do albedo de radiação global diário nos dias parcialmente nublados do período seco.	29
Gráfico 3. Representação da variação do albedo de radiação <i>PAR</i> diário nos dias nublado e claro do período seco.	30
Gráfico 4. Representação da variação do albedo de radiação <i>PAR</i> diário nos dias parcialmente nublados do período seco.	30
Gráfico 5. Representação da variação do albedo de radiação <i>IV</i> diário nos dias nublados e claros do período seco.	31
Gráfico 6. Representação da variação do albedo <i>IV</i> para os dias P. Nublados do período seco.....	32
Gráfico 7. Representação da variação do albedo de radiação global para os dias claros e nublados do período chuvoso.	33
Gráfico 8. Representação da variação do albedo de radiação global para os dias parcialmente nublados do período chuvoso.....	33
Gráfico 9. Representação da variação do albedo de radiação <i>PAR</i> para os dias claros e nublados do período chuvoso.....	34
Gráfico 10. Representação da variação do albedo de radiação <i>PAR</i> para os dias parcialmente nublados.	34
Gráfico 11. Representação da variação do albedo de radiação <i>IV</i> para os dias claros e nublados do período chuvoso.....	35
Gráfico 12. Representação da variação do albedo <i>IV</i> para os dias parcialmente nublados.....	36
Gráfico 13. Indicação das médias e intervalos de confiança plotados para o albedo global do período seco.	37
Gráfico 14. Indicação das médias e intervalos de confiança plotados para o albedo <i>PAR</i> do período seco.....	38
Gráfico 15. Indicação das médias e intervalos de confiança plotados para o albedo <i>IV</i> do período seco.....	39

Gráfico 16. Indicação das médias e intervalos de confiança plotados para o albedo global do período chuvoso.....	40
Gráfico 17. Indicação das médias e intervalos de confiança plotados para o albedo <i>PAR</i> do período chuvoso.	40
Gráfico 18. Indicação das médias e intervalos de confiança plotados para o albedo <i>IV</i> do período chuvoso.	42

LISTA DE SÍMBOLOS

PAR	Radiação fotossinteticamente ativa
IV	Radiação infravermelho
E	Energia emitida
h	Constante de Plunk
F	Frequência
nm	Nanômetro (10^{-9} m)
v	Velocidade
Hz	Hertz
μm	Micrômetro (10^{-6} m)
T	Temperatura Absoluta
λ	Comprimento de onda
ε	Emissividade do um corpo
σ	Constante de Stefan-Boltzman
Q_d	Radiação direta
Q_c	Radiação difusa
Q_g	Radiação global
BOC	Balanço de ondas curtas
BOL	Balanço de ondas longas
R_n	Saldo de radiação
α	Albedo
α_G	Albedo de radiação global
α_{PAR}	Albedo de radiação PAR
α_{IV}	Albedo de radiação infravermelho
Q_a	Radiação de onda longa da atmosfera
Q_s	Radiação de onda longa da superfície
K_t	Índice de claridade
R_{gi}	Radiação global incidente no topo da atmosfera
R_o	Radiação global incidente na superfície terrestre
ϕ	Latitude
δ	Declinação solar
h_n	Ângulo horário
D_j	Dia Juliano

CUNHA, C. R.; **Influência da Cobertura do Céu nos Albedos de uma Região de Cerrado da Baixada Cuiabana**. 2012. 65p. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental), Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2012.

RESUMO

A energia que existe na superfície da Terra para utilização dos processos físicos, químicos e biológicos não é integralmente aquela que o Sol disponibiliza durante o dia. Parte desta energia é devolvida ao espaço através da reflexão. Para isso, há uma dependência da atmosfera juntamente com as nuvens, que são as primeiras a realizarem essa devolução. Logo após, vem a cobertura terrestre que possui características particulares e realizam a outra parte da reflexão. Neste trabalho, objetivou-se estudar a influência da cobertura do céu na variabilidade do coeficiente de reflexão das radiações global, fotossinteticamente ativa (*PAR*) e infravermelho (*IV*), durante dois períodos, seco e chuvoso, de uma região de cerrado *stricto sensu* da baixada cuiabana, no período de maio de 2009 a abril de 2010. O estudo mostrou que a cobertura do céu não contribuiu para a variação do albedo de radiação global durante os períodos estudados, já para a reflexão da radiação *PAR* e *IV*, a atmosfera só influenciou numa variabilidade durante o período chuvoso. Quanto a esta mudança proporcionada pela cobertura apenas no período de chuvas, acredita-se que para a reflexão da radiação *IV* a presença de mais umidade na atmosfera e na superfície foliar tenha contribuído, já para a radiação *PAR*, é pertinente pensar que a própria mudança na intensidade da mesma em condições de diferentes tipos de cobertura no período chuvoso, possa ter afetado o mecanismo fotossintético da vegetação, alterando assim a reflexão da radiação *PAR*.

Palavras-chave: Radiação refletida, índice de claridade do céu, variabilidade.

CUNHA, C. R.; **Influence of Sky coverage in the variability of albedo in a savannah region of Cuiabá lowlands.** 2012. 65p. Dissertation (Master's in Environmental Physics). Institute of Physics. Federal University of Mato Grosso. Cuiabá, 2012.

ABSTRACT

The energy that exists on Earth's surface for the physical use, chemical and biological agents is not entirely one that provides the sun during the day. Part of this energy is returned to space by reflection. For this, there is a dependency of the atmosphere with clouds, which are the first to realize that return. Soon after comes the land cover that has particular characteristics and perform the other part of the reflection. This work, aimed to study the influence of sky coverage in the variability of the reflection coefficient of the global radiation, photosynthetic active radiation (*PAR*) and infrared (IR) during two periods, the dry and rainy in a region of the cerrado sensu strict downloaded of Cuiabá. The study showed that the sky coverage did not contribute to the variation of albedo global radiation during the periods studied, as for the reflection of *PAR* and IV, only influenced the atmosphere in variability during the rainy season. The change provided by this coverage only during the rainy season, it is believed that for the reflection of IR radiation to the presence of more moisture in the atmosphere and the leaf surface has contributed already to the *PAR*, it is pertinent to think that the change itself the same intensity under conditions of different types of coverage in the rainy season may have affected the mechanism of photosynthetic vegetation, thus altering its reflection of *PAR*.

Keywords: Reflected radiation, clearness index of the sky, variability.

1. INTRODUÇÃO

1.1. PROBLEMÁTICA

O aquecimento global é um assunto que nos últimos anos vem sendo abordado pela mídia em geral. O derretimento das calotas polares, alguns incêndios em áreas de preservação, extinção de algumas espécies. Tudo isso constitui alguns problemas ambientais observados.

Sobre a origem de tais problemas pouco ainda se pode afirmar, se são antropogênicos ou causas naturais. O Estado de Mato Grosso vem ocupando espaço na mídia dado ao grande número de queimadas, ao aumento de temperatura de algumas regiões e também a ocorrência de anos com maior período de estiagem.

Dessa forma, pode-se afirmar que para regiões que tem como base econômica o agronegócio, é fundamental a compreensão de como se comportam as variáveis meteorológicas como vento, umidade relativa do ar, temperatura do ar, regime de chuvas e outras informações a mais.

Em Mato Grosso, dado ao grande número de agriculturas existentes, a demanda da energia solar durante o ano é essencial para a ocorrência dos processos biológicos, da formação dos períodos de chuva e da manutenção de uma temperatura que permita a cultura dessas lavouras.

Nessa lógica, sabemos que o comportamento da superfície quanto à capacidade da mesma em devolver parte dessa energia ainda não está de todo

esclarecida. Isso porque essa capacidade depende de muitas variáveis, dentre elas, o tipo de vegetação que constitui a área em estudo, a coloração da vegetação, o índice de área foliar, a umidade retida pelos vegetais e outros.

Como em Mato Grosso existem os biomas Cerrado, Pantanal e Floresta Amazônica, não se sabe ainda se há influência da cobertura do céu nos albedos de radiação global, *PAR* e infravermelha.

Sabe-se que toda forma de energia, que é aproveitada na superfície da Terra, tem como fonte o Sol. Porém, mais de 50% dessa energia é devolvida ao espaço através da reflexão. A energia proveniente do Sol chega à Terra em forma de ondas eletromagnéticas, sua transformação em calor e outras formas de energia depende do tipo de interação que ela tem com a superfície.

O albedo é um coeficiente que mede o percentual de energia que é devolvido ao espaço. Como o mesmo sofre variações durante o ano, a quantidade de energia disponível na superfície sofre variações. Logo, a temperatura na superfície pode variar junto com esta grandeza.

1.1.1. Objetivo Geral

O trabalho tem como objetivo verificar se há influência da claridade do céu na variação dos albedos de radiação global, *PAR* e infravermelho (IV) nos períodos seco e chuvoso em uma região de cerrado mato-grossense. Com base nesse objetivo, elencamos, abaixo, os objetivos específicos:

1.1.2. Objetivos Específicos

Realizar a estimativa do índice de claridade do céu no local de estudo, fazendo a classificação dos dias em claro, nublado e parcialmente nublado.

Determinar o valor diário do albedo de radiação global, *PAR* e IV dentro de cada período, levando em consideração o céu claro, parcialmente nublado e nublado.

Encontrar um intervalo de confiança via método *bootstrap* a fim de verificar se houve ou não variação do albedo sob diferentes coberturas.

1.2. JUSTIFICATIVA

No Estado de Mato Grosso, as estações do ano não são bem definidas. Por isso, muitas pesquisas ambientais preferem dividir o ano em dois períodos, seco e chuvoso. Durante o período seco, não se observam todos os dias claros. A ocorrência de cobertura parcial ou total do céu neste período se dá pela presença de aerossóis, fumaça na atmosfera devido ao grande número de queimadas nessa época do ano e a ocorrência de poucas precipitações.

No período chuvoso, alguns veranicos também são frequentemente observados. Isso quer dizer que esse período não é integralmente composto de dias cobertos ou parcialmente cobertos. Sendo assim, a intensidade da radiação na superfície é variável dentro dos períodos seco e chuvoso. Muitas pesquisas ambientais que dependem do albedo estimam o valor do mesmo, sem considerar a cobertura do céu nos períodos estudados. Porém, se a influência de tal cobertura for significativa, é importante levar em conta esse comportamento dinâmico do céu.

Em muitas literaturas, é comum a presença de gráficos que mostram a variação do albedo durante o dia. Nesses gráficos, a reflexão assume menor valor por volta do meio dia. Apesar de esse horário ser um momento de intensa radiação solar, o albedo varia com a declinação solar, sendo, portanto, maior no início e final do dia.

Como o albedo sofre variações horárias e ao longo do ano, e a intensidade da radiação solar também varia durante o ano, é pertinente pensar que a cobertura do céu dentro de cada período pode influenciar na variabilidade dessa grandeza.

Para discutir tal questão, a presente pesquisa foi realizada numa região de cerrado da Baixada Cuiabana, localidade composta por pastagem. Convém lembrar que a escolha desse bioma foi em função de haver muitas plantações no Estado que são feitas neste tipo de região, logo, as informações sobre o cerrado são de grande valia para a comunidade científica e para os agricultores.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. RADIAÇÃO SOLAR E ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO

A fonte primária de toda a energia disponível nos processos naturais que ocorrem na superfície da Terra é o Sol. Para Kichhoff et al. (2000), a produção de energia de tal estrela é um fator constante, mas a intensidade que alcança a superfície da Terra em um ponto qualquer sofre variação. Desse modo, segundo Leitão et al. (2000), todos os fenômenos físicos, químicos, físico-químicos e biológicos ocorridos no solo estão direta ou diretamente relacionados com a quantidade de radiação solar incidente sobre sua superfície.

Sabe-se que as ondas eletromagnéticas irradiadas do Sol possuem comprimentos de onda que compõe todo o espectro, as que possuem maior energia são aquelas de elevada frequência. Assim, a energia de uma onda eletromagnética pode ser calculada pela equação 1.

$$E = h.F \quad (1)$$

Onde E é a energia da onda dada em Joule, h é a constante de Plank ($h = 6,626.10^{-34}$ J.s) e F é a frequência em Hertz.

A (Figura 1) representa o espectro em ordem crescente de frequência e energia.

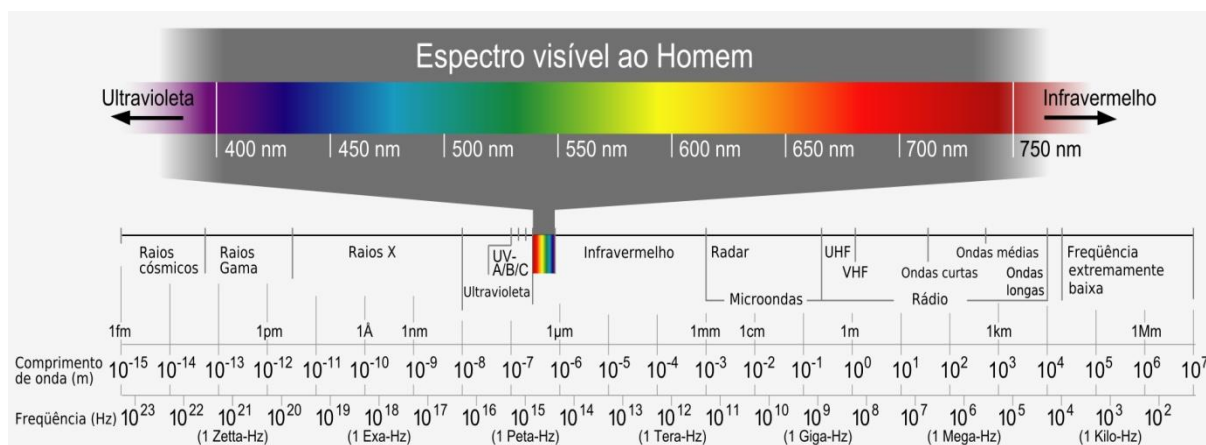


Figura 1. Espectro Eletromagnético

Fonte: www.fisicaseemmisterios.webnode.com.br, imagem retirada em 09/08/11

Neste espectro, as ondas de comprimentos limitados pelos valores de 220 nm até 400 nm são chamadas de ultravioleta (UV), já aquelas limitadas pelo comprimentos de 400 nm à 700 nm correspondem à luz visível.

No início do espectro visível, a partir do 400 nm, o olho humano é sensibilizado para a cor azul, na medida que se aumenta o comprimento de onda, a sensação já é do verde, amarelo, laranja e vermelho. Na faixa do vermelho, em valores a partir de 700 nm, o olho já não consegue mais visualizar estas ondas.

Quando uma radiação eletromagnética atravessa um determinado meio, sua velocidade mantém-se constante, seu valor máximo ocorre quando este meio é o vácuo, cuja intensidade é $3 \cdot 10^8$ m/s. A velocidade das radiações eletromagnéticas pode ser determinada pela Equação 2.

$$v = \lambda \cdot f \quad (2)$$

Nesta equação, v é a velocidade da radiação dada em m/s, λ é o comprimento de onda dado em m e f a frequência dada em Hz. Sendo a velocidade da radiação constante, o comprimento de onda e a frequência da radiação se comportam de maneira inversamente proporcional, ou seja, quanto maior o comprimento de onda, menor a frequência da radiação e vice-versa.

2.1.1.1. Ondas Curtas

As ondas curtas constituem quase a totalidade de emissão do espectro solar, seu comprimento de onda varia de 280 nm até 4000 nm. São ondas altamente energéticas dado ao elevado valor de sua frequência.

2.1.1.2. Ondas Longas

Os comprimentos de onda limitados pelos valores de 4000 à 130000 nm, que são emitidos por corpos cujas temperaturas são iguais as do meio ambiente, constituem-se uma parte do espectro que são chamados de ondas longas. Essa radiação possui elevados comprimentos de onda. Como a velocidade da radiação eletromagnética é constante, verifica-se através da equação 2 que sua frequência é reduzida, e, de acordo, com a equação 1 essas ondas não são muito energéticas.

De acordo com Randow et al. (2006), o fluxo de radiação de onda longa proveniente da atmosfera é uma importante componente da troca radiativa no nível da superfície, e esta, por sua vez, é uma importante componente do balanço de energia.

2.1.2. Radiação Fotossinteticamente Ativa (PAR)

Sabe-se que os vegetais são seres autótrofos, isto é, produzem o seu próprio alimento através da síntese de carbono na presença de luz. Esse evento é chamado de fotossíntese. Tendo em vista isso, Monteith (1972) afirma que tal processo necessita de uma faixa do espectro da radiação solar compreendido entre os comprimentos de onda de 400 a 700 nm. Tal radiação também é chamada de luz visível ou simplesmente radiação *PAR*.

Segundo Ramos et al. (2010), a folha reflete menos que 15% da energia incidente, transmite um percentual mais ou menos igual ao refletido e absorve quase todo o restante desta radiação. Isso quer dizer que esse comportamento é generalizado, oscila entre as espécies e depende das condições da cultura.

De acordo com Taiz e Zieger (2004), toda a energia necessária para a realização da fotossíntese é proveniente da radiação solar. A atividade fotossintética das plantas não é a mesma ao longo do espectro visível. Tal processo anabólico

possui picos ao redor dos comprimentos de onda que correspondem às cores azul e vermelha respectivamente, como podemos observar na (Figura 2).

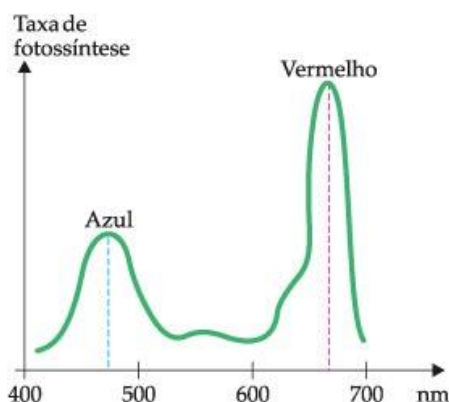


Figura 2. Intensidade da fotossíntese ao longo da radiação PAR.

Fonte: <http://www.vestibulandoweb.com.br/biologia/teoria/fatores-limitantes-fotossintese.asp>, imagem retirada em 14/11/11.

Conforme Spolador (2005), o regime da radiação PAR dentro dos dosséis de floresta exerce um papel importante com relação às mudanças de arquitetura das florestas e às trocas de massa e energia entre a floresta e a atmosfera. O autor afirma ainda que esta radiação é a força motriz para manutenção dos ciclos de carbono, nitrogênio e água nas florestas.

2.1.3. Ondas de Infravermelho (IV)

É sabido que as ondas de infravermelho são aquelas que possuem comprimento de onda variando de 0,7 a 3,0 μm . Elas são as responsáveis pelo Efeito Estufa na Terra. Segundo Sellers (1965), da energia infravermelha total, emitida pela Terra, apenas cerca de 9% escapa para o espaço, ficando o restante retido na atmosfera.

Segundo a Lei de Wien, todo corpo que possui temperatura emite ondas eletromagnéticas. Essas ondas possuem comprimento inversamente proporcional à sua temperatura. Assim, corpos de baixa temperatura, na escala dos que estão na superfície da Terra, emitem onda cujo comprimento está dentro do infravermelho. Como afirma Filho e Abreu (2010), esse tipo de radiação possui dificuldades em deixar a atmosfera, porque alguns gases, como o gás carbono (CO_2), gás metano (CH_4), e vapor d'água (H_2O), entre outros gases traço, são bastante transparentes à

passagem da radiação solar (principalmente a visível). Desse modo, a atmosfera oferece grande resistência à passagem da radiação infravermelha.

2.2. LEI DE WIEN

A Lei de Wien estabelece que o produto da temperatura absoluta de um corpo pelo comprimento de onda da radiação que ele emite é constante, como mostra a Equação 3.

$$T\lambda_{m\acute{a}x.} = \text{constante} = 2,898.10^6 \text{ mm.K} \quad (3)$$

Na equação, T corresponde a temperatura absoluta do corpo e $\lambda_{m\acute{a}x.}$ corresponde ao comprimento de onda de máxima emissão do corpo. Segundo Pereira et. al. (2002), essa lei é fundamental para entender o balanço de radiação na superfície da Terra.

Tendo em vista que a temperatura média terrestre é algo em torno de 300K e que a temperatura da superfície solar é aproximadamente 6000K, usando a Lei de Wien, sabe-se que o comprimento de onda emitido pela terra tem $\lambda_{m\acute{a}x.} = 10000 \text{ nm}$. Esse valor no espectro eletromagnético corresponde às ondas de infravermelho. O Sol por sua vez tem $\lambda_{m\acute{a}x.} \cong 500 \text{ nm}$, que no espectro corresponde à radiação visível. Como quase toda energia emitida pelo Sol está abaixo de 3000 nm, a radiação emitida pelo mesmo é chamada de ondas curtas, já a radiação terrestre de ondas longas.

2.3. LEI DE STEFAN-BOLTZMANN

De acordo com a Lei de Stefan-Boltzmann, todo corpo que possui temperatura diferente do zero absoluto (0K) é um emissor de ondas eletromagnéticas. A energia emitida por estes corpos é proporcional à quarta potencia de sua temperatura absoluta e também depende do poder de emissão do corpo. Tal energia pode ser calculada pela Equação 4.

$$E = \varepsilon \sigma T^4 \quad (4)$$

Onde E é a energia emitida em W/m^2 e ε é o poder de emissividade do corpo. Essa emissividade geralmente varia de 0,95 a 1,0. Para fins agrometeorológicos, adota-se o valor unitário sem incorrer grandes erros, mesmo porque a temperatura do objeto é sempre um valor médio (PEREIRA et. al., 2002). A letra grega σ representa a constante de Stefan-Boltzmann, cujo valor é $\sigma = 5,67.10^{-8} \text{ W/m}^2.\text{K}^4$ ou $\sigma = 4,903.10^{-9} \text{ MJ/m}^2.\text{d.K}^4$.

2.4. RADIAÇÃO INCIDENTE SOBRE UMA SUPERFÍCIE

De acordo com Borges et al. (2009), a radiação que chega à superfície da Terra, como já visto até então, é proveniente do Sol. No entanto, até que esta chegue à superfície, ela pode ou não sofrer interposição de algumas barreiras como nuvens ou aerossóis.

Nessa lógica, a radiação que incide em um anteparo e não sofre nenhuma ou pouca atenuação ao atravessar a atmosfera é chamada de radiação direta. A mesma é representada por Q_d . Quando a radiação incidente é atenuada por alguma barreira, recebe o nome de radiação difusa e é representada por Q_c . Consoante Drechmer (2005), quando o céu estiver completamente coberto, a radiação global será praticamente difusa, já em dias claros será praticamente direta.

Ao longo de um dia, uma superfície poderá estar exposta aos dois tipos de radiação. Portanto, a soma geométrica das radiações direta Q_d e difusa Q_c constituirá a radiação global Q_g . Nestas condições, a radiação global pode ser quantificada pela equação 5, conforme abaixo.

$$Q_g = Q_d + Q_c \quad (5)$$

Para medir a radiação solar utilizam-se alguns aparelhos para este fim específico. Esses são denominados solarímetros. Alguns solarímetros muito utilizados são piranômetro e saldo radiômetro. O primeiro mede a energia incidente na superfície; o segundo o saldo de radiação disponível.

2.5. BALANÇO DE RADIAÇÃO

É sabido que todos os processos vitais que ocorrem na superfície da Terra dependem direta ou indiretamente da energia proveniente do Sol. Entretanto, esta ao chegar à Terra precisa ser particionada. Como já visto anteriormente, o comprimento de onda da radiação vinda do Sol corresponde às ondas curtas (Lei de Wien) dada a elevada temperatura de sua superfície. Quando esta radiação interage com a superfície terrestre, os corpos absorvem um pouco desta radiação e a outra parte é refletida, todavia, com comprimento de onda maior, ondas longas (ANDRE et al., 2010)

A quantidade de energia que de fato resta na superfície da Terra para a ocorrência dos eventos físicos e biológicos depende do saldo de radiação, que é aquilo que restou após a ocorrência de todas as reflexões possíveis. Desse modo, para se determinar este saldo é necessário fazer um balanço das ondas que vem do Sol (ondas curtas) e das ondas emitidas pelos corpos terrestres (ondas longas).

Nesse sentido, o resultado do balanço de ondas é o saldo de energia (R_n) que ficará disponível na superfície. Enfim, isso será dado pela soma de dois balanços, o de ondas curtas que será representado por BOC , e o de ondas longas indicado por BOL .

2.5.1. Balanço de Ondas Curtas (BOC)

O balanço de ondas curtas é a contabilidade da energia proveniente do Sol que fica disponível na superfície da Terra, ou seja, é a diferença entre a energia que chega e a que sai. Sendo assim, os componentes que influenciam neste balanço de ondas são: superfície, atmosfera e nuvens (ARAUJO e SOUZA, 2010).

Quando a radiação solar entra na atmosfera terrestre, uma parte desta energia é absorvida, e o restante é refletido para o espaço. Neste fenômeno de reflexão, a presença de nuvens e aerossóis é imprescindível (ECHER et al., 2006).

Na Figura 3 pode-se visualizar uma ilustração da reflexão média na superfície da terrestre.

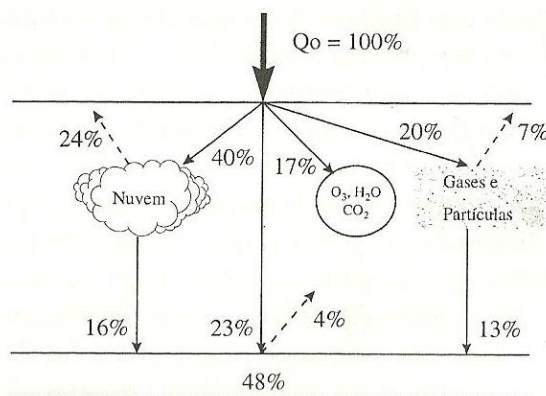


Figura 3. Representação esquemática do balanço médio de radiação de ondas curtas, na superfície terrestre (PEREIRA et. Al., 2002).

Na figura 3, percebe-se que do total da energia que incide sobre a superfície da atmosfera cerca de 52% é refletida. Isso com a contribuição das nuvens, aerossóis, gases traços e também com a superfície terrestre. Essa capacidade de reflexão se deve ao albedo da superfície incidente.

De tal modo, o balanço de ondas curtas pode ser obtido com a equação 6, logo abaixo.

$$BOC = Q_g(1 - \alpha) \quad (6)$$

Na equação Q_g é a radiação solar global e α é o albedo da superfície em questão.

2.5.2. BALANÇO DE ONDAS LONGAS (BOL)

A superfície da Terra ao receber radiação solar sofre um leve aquecimento. Então, a existência de uma temperatura reduzida faz com que tal superfície emita ondas cuja energia é proporcional à quarta potência da temperatura, consoante a Lei de Stefan Boltzman. De acordo com a Lei de Wien, a classificação qualitativa destas ondas permite que as mesmas sejam consideradas Ondas Longas. Assim, a emissão desse tipo de onda ocorre inicialmente na superfície terrestre.

Dessa forma, o Balanço de Ondas Longas em uma superfície será então o saldo de energia que restará após a entrada e saída desta no sistema. Para isso, podemos quantificar essa energia com a Equação 7, a seguir.

$$BOL = Q_a - Q_s \quad (7)$$

Na equação acima, Q_a representa o fluxo de energia radiante que a atmosfera emite na direção da superfície. Tal radiação depende da temperatura do ar e da quantidade de vapor d'água que este retém, haja vista que a presença da água na atmosfera faz da mesma uma boa absorvedora de ondas longas (DUARTE e FRANÇA, 2009).

Na Equação 7, Q_s representa o fluxo de energia que a superfície emite para a atmosfera. A quantidade de energia que sai da superfície, segunda a Lei de Stefan Boltzman, depende de sua temperatura e da sua emissividade. Quanto ao sinal de Q_s e Q_a , a entrada de energia no sistema será sempre positiva e a saída será negativa.

2.6. COBERTURA DO CÉU

A radiação que chega até a superfície da Terra não é a mesma que incide acima da atmosfera. Parte desta radiação ao interagir com a massa ótica é refletida para o espaço, outra parte é absorvida, e o restante é transmitido através do ar até incidir sobre a superfície (OLIVEIRA, 2010).

Diante disso, se não houvesse atmosfera, se a Terra estivesse na posição intermediária do afélio e periélio e a posição do Sol coincidissem com o seu zênite, a incidência perpendicular de energia sobre um ponto na superfície do Planeta proporcionaria uma intensidade de 1393 W/m^2 , ou $2879,28 \text{ cal/d.cm}^2$. Tal intensidade é chamada de constante solar.

Quando o céu está na condição de claro, isto é, sem nuvens, a radiação incidente sobre a superfície da Terra é praticamente direta. Essa ocorrência é observada nos períodos secos. Contudo, pode-se também perceber radiação praticamente direta nos períodos chuvosos, dado à ocorrência de alguns veranicos. Escoberto et al. (2007) em um trabalho realizado com dados da Estação de Radiometria Solar da UNESP - Botucatu descobriu importantes correlações do índice K_t com radiações de diferentes comprimentos de onda.

Quando o céu apresenta um número significativo de nuvens, na maioria das vezes no período chuvoso, esta configuração recebe o nome de *nublado* ou *parcialmente nublado*. Neste momento, grande parte da incidência de energia na superfície terrestre se dá por radiação difusa, lembrando que no período seco também se observa este tipo de cobertura pela existência de nuvens e também de fumaça.

Para a determinação da cobertura do céu, será utilizada a Equação 8.

$$K_T = \frac{R_{gi}}{R_o} \quad (8)$$

Nessa equação, R_{gi} representa a radiação global incidente na superfície em estudo. R_o representa a radiação incidente acima da atmosfera (constante solar). Sendo assim, o valor de K_T pode variar de 0 até 1. Na realização deste estudo, a classificação da cobertura do céu (K_T) será baseada no trabalho de Dalacorte et al. (2004). No intervalo de $0 \leq K_T < 0,3$ será definido o como *céu nublado*, entre $0,3 \leq K_T \leq 0,65$ como *céu parcialmente nublado* e entre $0,65 < K_T \leq 1$ como *céu limpo*.

2.7. DETERMINAÇÃO DA RADIAÇÃO GLOBAL

Para a determinação da radiação global incidente sobre a superfície, faz-se necessário uma integração térmica. Nesta, a energia incidente que geralmente é dada em W/m^2 precisa ser convertida em $MJ/m^2.dia$. Dessa forma, as aferições da potência pela área são programadas no *datalogger* em fração de segundos, sendo computada a sua média a cada meia hora e salva na memória para visualização do pesquisador.

De posse das potências por superfície, calcula-se a integração com a conversão do tempo para segundos. Após a sua somatória ao longo de cada dia tem-se a energia dada em $MJ/m^2.dia$. Essa energia será o numerador para o cálculo do Índice de Claridade K_t .

2.7.1. Estimativa da Radiação no Topo da Atmosfera

O movimento de translação da Terra, ao longo do ano, é bem comportado e previsível. Em vista disso, como a sua intensidade de radiação é constante e conhecida, pode-se estimar o valor da intensidade da radiação solar no topo da atmosfera (Q_0) de uma localidade qualquer através da Equação 9.

$$Q_0 = 37,6 \left(\frac{d}{D}\right)^2 \left[\frac{\pi}{180^\circ} hn \cdot \text{sen}\phi \cdot \text{sen}\delta + \cos\phi \cdot \cos\delta \cdot \text{sen}hn \right] \quad (9)$$

Nesta equação, a letra grega ϕ (fi) representa a latitude do local, que é a distância angular do equador aos polos. Seu valor pode variar de 0 a $\pm 90^\circ$, sendo este valor positivo para locais no Hemisfério Norte e negativos para localidades no Hemisfério Sul.

A letra grega δ (delta minúsculo) representa o valor da declinação solar, que é a distância angular do equador ao paralelo do astro. Seu valor pode variar de 0 a $\pm 23,45^\circ$. Os valores positivos e negativos não dependem da latitude da localidade, mas sim da data, no ano em que está se medindo a declinação, a mesma pode ser calculada pela equação 10.

$$\delta = 23,45 \cdot \text{sen} \left[\frac{360}{364} (284 + DJ) \right] \quad (10)$$

Nesta equação, DJ representa o Dia Juliano, que se refere a uma contagem numérica do dia sem considerar o mês, por exemplo, o dia 10/01 seria o Dia Juliano 10, já o dia 01/02 seria o Dia Juliano 32, e assim por diante.

O termo hn da equação da radiação representa o valor do ângulo horário do nascer do Sol, que pode ser determinado pela equação 11.

$$hn = \arccos[-\tan\phi \cdot \tan\delta] + 0,83 \quad (11)$$

O valor 0,83 inserido na equação é devido ao fenômeno da refração, pois o Sol nasce antes um pouco do valor calculado e se põe um pouco depois.

A fração $\frac{d}{D}$ representa a razão entre a distância média entre o Sol e a Terra (150 milhões de km ou 1 UA “ unidade astronômica”) e a distância média no dia considerado. Esta fração, no cálculo da estimativa da radiação no topo da Atmosfera, aparece ao quadrado dada a sua dedução, a mesma pode ser calculada pela Equação 12.

$$\left(\frac{d}{D}\right)^2 = 1 + 0,033 \cdot \cos\left(\frac{DJ \cdot 360}{365}\right) \quad (12)$$

2.8. ALBEDO

Segundo Souza et al. (1999), um dos componentes mais importantes do balanço de radiação, que é caracterizado pelas condições de reflexão da superfície, é o albedo. Esta grandeza mede a quantidade de radiação em percentual que é devolvida ao meio.

De acordo com Pereira et al. (2007), o albedo está diretamente relacionado com as trocas de energia e afeta os regimes radiativos, ocasionado variações na temperatura, modificações no clima local e mudanças no balanço de energia.

Quando se considera a Terra como um todo, a parcela de energia que a mesma devolve ao espaço constitui o albedo planetário. Para Veissid e Pereira (2000), cerca de 30% da energia radiante do Sol que incide sobre a Terra é refletida de volta ao espaço. Segundo os autores, a variação temporal do albedo planetário da Terra é importante na monitoração das mudanças climáticas globais, visto que o balanço energético global entre o fluxo de radiação solar incidente no topo da atmosfera e o que é devolvido ao espaço externo controla, em última instância, a temperatura média da atmosfera.

Quando se pretende medir o albedo de uma determinada superfície, deve-se levar em consideração não só o tipo de vegetação que a define, mas também a época ou a estação do ano em que as aferições estão sendo feitas. Tudo isso, porque o albedo depende de variáveis como o IAF (Índice de Área Foliar), a coloração das folhagens da vegetação, a umidade retida pelo vegetal, dentre outras (BRAGA et al., 2009; VILVA e VALERIANO, 2003; SOUZA et al., 2010; FILHO et al., 2006)

2.8.1. Albedo de radiação global

O albedo da Radiação Global mede a parcela da radiação global que é devolvida para a atmosfera. Seu valor varia de acordo com a mudança sofrida pela superfície. Conforme Leitão e Oliveira (2000), o albedo sofre mudanças ao longo dos estádios de crescimento e desenvolvimento das culturas estudadas. Em experimento feito por estes pesquisadores com plantio de amendoim, o albedo variou de 29,8% no início da cultura para 18,6% no final do desenvolvimento da espécie. Para o cálculo do albedo, utiliza-se a equação 13.

$$\alpha_G = \frac{R_{gr}}{R_{gi}} \quad (13)$$

Nesta equação, α_G representa o albedo, que é geralmente expresso em %. A radiação global refletida aparece no numerador e é indicada por R_{gr} , já a radiação global incidente R_{gi} está no denominador. Vale a pena ressaltar que devido a declinação solar o albedo sofre variação também durante o dia, tendo seu valor maior próximo ao início e final do dia e menor entorno do meio dia.

2.8.2. Albedo de radiação PAR

Nas superfícies vegetadas existe uma grande demanda de energia *PAR*, porque é ela a responsável pelo processo anabólico da fotossíntese. Segundo Barniet al. (1995), a otimização desta energia por parte da planta não requer apenas a abundância deste tipo de radiação. Mas de acordo com o autor, um outro importante fator são valores significativos do *IAF*.

A grandeza que mede o percentual de radiação *PAR* devolvida é o albedo deste tipo de energia. O mesmo varia dentro dos períodos seco e chuvoso dado a uma mudança que a superfície pode sofrer. Em um trabalho feito por Couto (2009), o albedo da radiação *PAR* oscilou de 2% entre os meses de fevereiro a março para 6% entre setembro a outubro. Segundo o autor, esse coeficiente de reflexão aumentou numa escala interanual após um período de três anos de queda contínua da precipitação. Isso mostra a dependência que a grandeza possui da relação entre a precipitação e o crescimento e desenvolvimento da cobertura em questão.

Para o cálculo deste coeficiente de reflexão, basta fazer a razão entre as radiações PAR refletida pela incidente, como se pode visualizar na Equação 14.

$$\alpha_{PAR} = \frac{PAR_r}{PAR_i} \quad (14)$$

Nesta equação, PAR_r indica a radiação fotossinteticamente refletida e PAR_i a radiação incidente.

2.8.3. Albedo de Radiação IV

O sol emite radiação em praticamente todos os comprimentos de onda. A abrangência do seu espectro vai de 0,15 até 4,0 μm . Dentro deste intervalo, cerca de 52% das ondas que chegam a superfície terrestre estão na faixa espectral do infravermelho, cujo comprimento de onda está limitado de 0,7 a 3,0 μm (VAREJÃO-SILVA, 2006).

O albedo da radiação infravermelha, quando comparado aos albedos de radiação global e PAR , é o maior de todos. Leitão et al. (2002), em um estudo de albedo em três regiões de floresta, encontrou para estas localidades um maior valor de albedo IV durante todo o dia. Conforme o autor, a variação que este pode sofrer do período da manhã para o período da tarde, apesar da declinação solar ser a mesma, pode estar relacionada com o grau de umidade na superfície das folhas que diminui no período da tarde.

Para o cálculo do albedo de radiação IV, basta dividir a radiação refletida pela incidente, como mostra a equação 15.

$$\alpha_{IV} = \frac{IV_r}{IV_i} \quad (15)$$

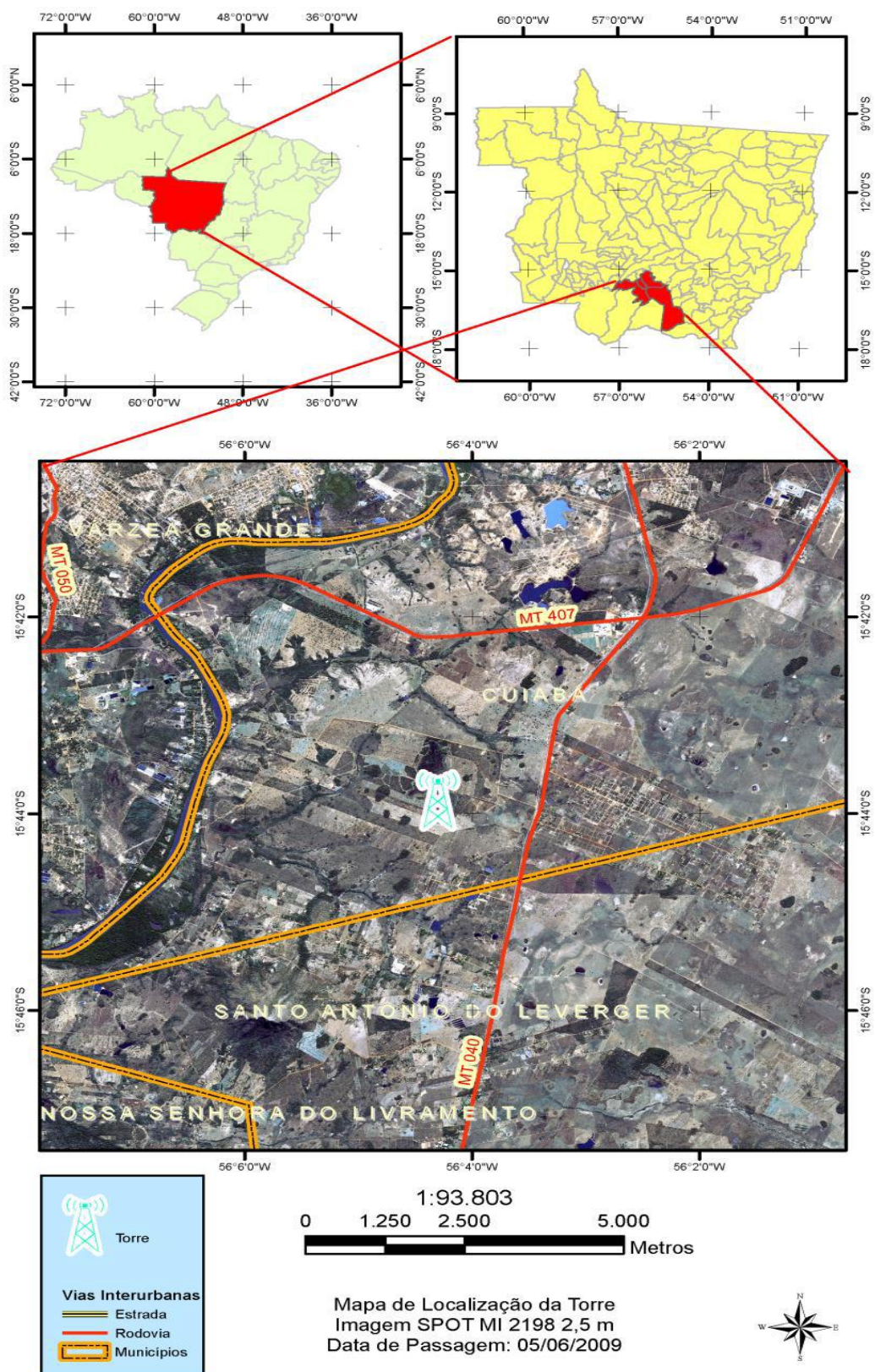
Nesta equação, IV_r representa a radiação infravermelha refletida, IV_i a incidente e α_{IV} é o albedo IV.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. LOCAL DE ESTUDO

O local de estudo do presente trabalho é um sítio experimental, situado na divisa da cidade de Cuiabá com o município de Santo Antônio de Leverger. Trata-se de uma propriedade particular conhecida como Fazenda Miranda, estado de Mato Grosso - Brasil, situada a 15 km sul da capital (15°43' Sul e 56°04' Oeste), com altitude média de 157m em uma faixa de transição entre o Cerrado e o Pantanal, com vegetação característica de Cerrado (Figura 4).

O solo desta área é caracterizado por ser pouco espesso, imperfeitamente drenado, concrecionário e com superfície cascalhenta, PLINTOSSOLO PÉTRICO, podendo ocorrer locais com a presença de solos LITÓLICOS DISTRÓFICOS (EMBRAPA,2003). A Figura 4 mostra uma localização da área de estudo, já a figura 5 uma foto da torre instalada na localidade para a coleta de dados.



Fonte: Wagner Rodrigues.

Figura 4. Localização da Fazenda Miranda.



Figura 5. Torre localizada na Fazenda Miranda

3.2. INSTRUMENTAÇÃO UTILIZADA

Neste trabalho, alguns instrumentos instalados na torre foram imprescindíveis para a realização da pesquisa, dentre eles podemos destacar dois piranômetros modelo LI200X (LI-COR Biosciences, Inc., Lincoln, NE, USA), figura 6, instalados a 5 m de altura, um voltado para cima para captar a radiação global incidente e outro voltado para baixo para captar a radiação global refletida. Estes aferem a radiação cujo comprimento de onda está entre 400 a 1100 nm.



Figura 6. Piranômetro modelo LI200X (LI-COR Biosciences, Inc., Lincol, NE, USA)

Para a aferição da radiação *PAR*, também foram utilizados dois sensores quantum LI190SB (LI-COR Biosciences, Inc., Lincoln, NE, USA) Figura 7, também instalados a 5m de altura, um voltado para cima para captar a radiação *PAR* incidente e outro voltado para baixo para captar a radiação *PAR* refletida. O espectro de captação deste sensor é de ondas de comprimento entre 400 a 700nm.



Figura 7. Sensor Quantum (LI-190SA da Licor Inc.).

A precipitação pluviométrica (ppt) foi medida por meio de um pluviômetro de báscula modelo TR-525M (Texas Eletronics, Inc., Dallas, TX, USA) instalado a 5 m de altura do solo.

3.3. TRATAMENTO DOS DADOS

A planilha de dados coletados pelo datalogger realizou a leitura dos mesmos a uma frequência de 10 Hz, fazendo sua média a cada 30 segundo. Após a realização das médias dos valores encontrados, os mesmos foram armazenados a cada 30 minutos. Para este trabalho, os únicos dados utilizados foram a radiação global incidente e refletida, aferidas em W.m^{-2} . A radiação *PAR* incidente e refletida foi coletada em $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{seg}^{-1}$. Já a radiação IV foi obtida através da radiação global e *PAR*. A radiação no topo da atmosfera foi estimada e a precipitação foi aferida em mm pelo pluviômetro.

As radiações globais incidentes e refletidas já estavam na unidade pretendida para a integração diária da energia. Porém, a radiação *PAR* não estava em W.m^{-2} . Para a conversão da unidade $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{seg}^{-1}$ para W.m^{-2} , foram multiplicados os valores da radiação fotossinteticamente ativa incidente e refletida pelo fator 0,2177.

O sensor que mede a radiação *PAR* faz uma leitura dos fótons que são ativos para a fotossíntese, ou seja, fótons que tenham comprimento de onda entre 0,4 e 0,7 μm . Como não se sabe o número exato da quantidade de fótons e seus respectivos comprimentos de onda, utilizou-se um comprimento de onda médio de 0,55 μm . De posse desta informação e das Equações 1 e 2, calculou-se a energia de 1 μmol de fótons, encontrando a seguinte relação:

$$1\mu\text{mol} = 0,2177 \text{ J}$$

Logo, o fator 0,2177 foi o utilizado na conversão das radiações *PAR* da unidade de $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{seg}^{-1}$ para W.m^{-2} .

3.3.1. Integração das radiações incidente e refletida

A planilha com os dados de radiação global, *PAR* e IV incidente e refletida, agora já aferidas em W.m^{-2} , foi integrada em cada dia e com seu valor expresso em $\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$. Para isso, após a integração, os valores foram multiplicados por

900.10^{-6} , que corresponde a conversão dos 30 minutos para segundos e da energia de joule para Mega joule.

3.3.2. Estimativa da radiação incidente no topo da atmosfera

A radiação global incidente no topo da atmosfera foi estimada pela Equação 9. Nesta foi considerado a latitude (ϕ) do local, valor em graus correspondente a 15,7315. Determinou-se também a declinação solar (δ) com a equação 10, e o valor do ângulo horário do nascer do sol (h_n) com a Equação 11. O valor quadrado da distância média entre a Terra e o Sol pela distância real em determinado Dia Juliano $\left(\frac{d}{D}\right)^2$ foi obtido com a equação 12. Após estes cálculos, o valor estimado da radiação solar (Q_0) no topo atmosférico ao longo dos dias foi obtido com a equação 9, já em $\text{MJ.dia}^{-1}.\text{m}^{-2}$.

3.3.3. Determinação dos Albedos de Radiação Global e PAR.

Após a separação e classificação das coberturas dos dias dentro de cada período, foi calculado o albedo da radiação global e PAR para os dias nublados, parcialmente nublados e claros do período seco e depois do período chuvoso.

Utilizando os dados de radiação incidente $k \downarrow$ e da radiação refletida $K \uparrow$ foram determinados os albedos de radiação global com a equação 13, e o albedo PAR com a equação 14.

3.3.4. Albedo de Radiação IV

Para a obtenção da radiação infravermelha incidente e refletida no topo da cobertura foi utilizada a metodologia proposta por Leitão et al. (2002) e também usada por Correia et al. (2002). Nesse método, a radiação infravermelha foi obtida pela diferença entre a radiação global ($Kb \downarrow$) e a radiação fotossinteticamente ativa ($PARb \downarrow$), incidentes sobre a vegetação, obedecendo a equação 16.

$$IV \downarrow = Q_g \downarrow - PAR \downarrow \quad (16)$$

A radiação refletida também foi obtida de maneira similar, como mostra a Equação 17.

$$IV \uparrow = Q_g \uparrow - PAR \uparrow \quad (17)$$

Ao final, de posse das radiações IV incidente e refletida, foi obtido o albedo de radiação infravermelha com a Equação (15).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A pesquisa realizada nesta região levou em conta dois períodos sazonais. Período seco de 2009, compreendido entre os meses de maio a outubro, e período chuvoso, compreendido entre os meses de novembro a abril de 2010. Trabalhos realizados por Antunes Junior (2010) e por Rodrigues (2011), na mesma região, mostraram que as variáveis meteorológicas possuem um comportamento bem distinto nestes períodos. Dessa forma, a sazonalidade foi dividida conforme o regime de precipitação, Figura 8, haja vista que nestes períodos considerados, há uma correlação da precipitação com a umidade do solo.

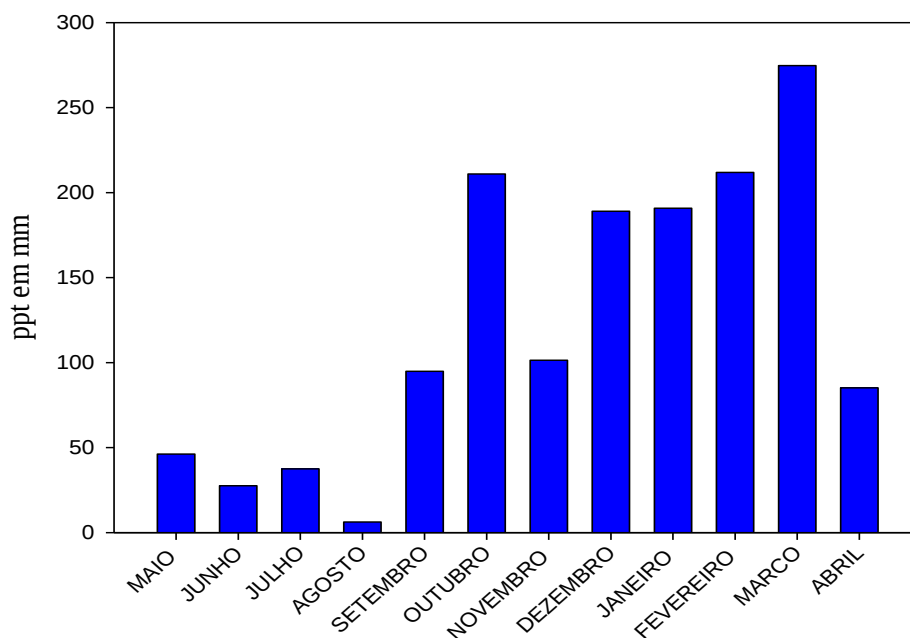


Figura 8. Distribuição do regime de precipitação no Período Seco (maio a outubro de 2009) e Período Chuvoso (novembro de 2009 a abril de 2010).

O Período Seco apresentou uma precipitação cuja média foi de 71 mm/mês, já o período chuvoso teve uma média de 176 mm/mês.

Com relação à temperatura, o período seco só teve maiores temperaturas ao final do mesmo, momento que se iniciaram as chuvas, como se pode observar na Figura 9.

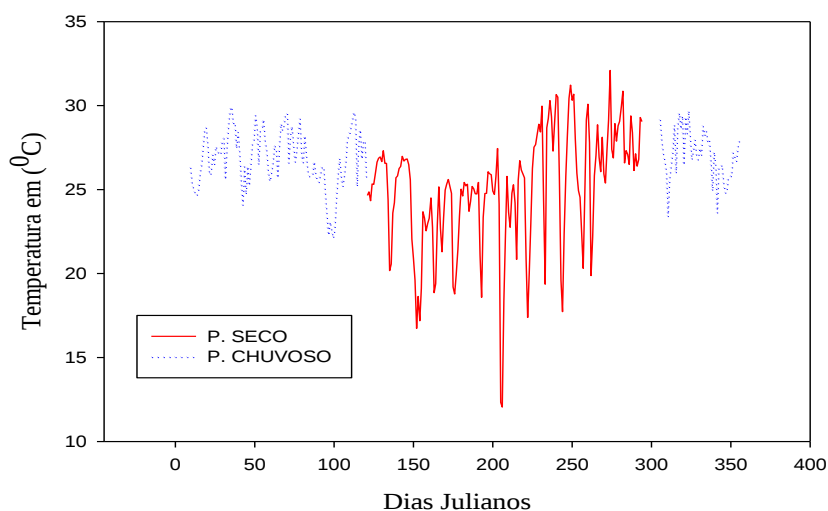


Figura 9. Média diária das temperaturas dos períodos seco e chuvoso.

Já a umidade relativa do ar, manteve-se menor na maioria dos dias do período seco, como se observa na Figura 10.

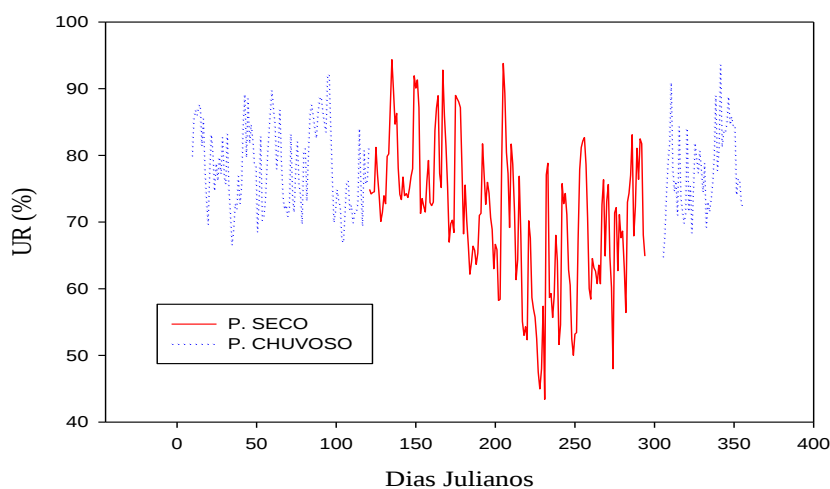


Figura 10. Média diária da umidade relativa dos períodos seco e chuvoso.

4.1. Classificação da cobertura do céu

O trabalho teve início com a integração da radiação global incidente e com a estimativa da radiação no topo da atmosfera. Com a obtenção do índice K_t , a cobertura do céu foi encontrada para os períodos seco e chuvoso, conforme a Tabela 1.

Tabela 1. Determinação do total de dias e suas coberturas.

Classificação do dia	Período Seco (Total de 184 dias)	Período Chuvoso (Total de 163 dias)
<i>Dias Claros</i> ($K_t < 0,3$)	25	4
<i>Dias P. Nublados</i> ($0,3 \leq K_t \leq 0,65$)	134	139
<i>Dias Nublados</i> ($K_t > 0,65$)	25	20

O período de estudo contou apenas com 347 dias, os dias que não apareceram no estudo foram momentos em que o equipamento estava recebendo manutenção.

Na maior parte dos dias do período estudado, as coberturas do céu foram Parcialmente Nublados, porém foram observados os três tipos de cobertura. No entanto, o Período Seco teve um maior percentual de dias nublados, 14%. Em compensação, o período chuvoso teve menos dias claros, 3%.

4.2. DETERMINAÇÃO DOS ALBEDOS

Após a classificação da cobertura do céu para todos os dias do período seco e chuvoso, determinou-se o albedo de radiação global, radiação *PAR* e radiação *IV*. Para cada conjunto de dias de mesma cobertura, pelos gráficos a seguir, pode-se notar que os mesmos variam de forma diferente ao longo dos períodos. No Gráfico 1, temos a representação de como variou o albedo global diário ao longo dos 25 dias nublados e 25 dias claros.

O gráfico representa uma tendência de redução do albedo no intervalo compreendido entre os Dias Julianos 140 e 240. Tal comportamento pode estar associado ao momento mais expressivo do período seco, haja vista que tais intervalos se referem aos meses de maio a agosto, período de reduzida precipitação e de perda de folhas por parte da cobertura, que tem a intenção de, com isso, evitar a perda de água.

O período que compreende os Dias Julianos 260 e 300 possui uma tendência de aumento do albedo. Tal período se refere aos meses de setembro a outubro, momento de expressivo aumento de precipitação e início do período chuvoso. Esse instante é marcado pelo nascimento de novas folhas por parte da vegetação, o que pode estar associado a essa inversão de comportamento do albedo. Mas em todas as situações, percebe-se, pelo gráfico, que a cobertura proporcionou valores distintos do albedo de radiação global no período seco.

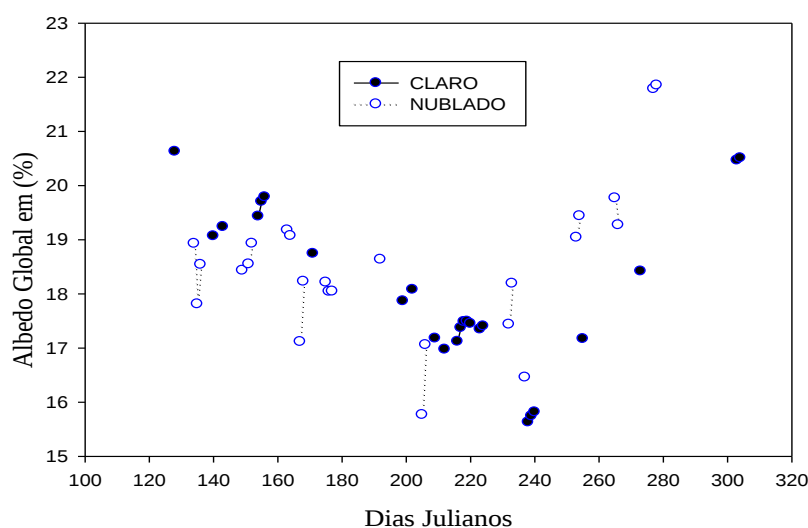


Gráfico 1. Representação do albedo de radiação global diário nos dias nublados e claro do período seco.

Os dias parcialmente nublados foram maioria do período seco. Sendo assim, não foi possível a plotagem de seus valores junto ao albedo global dos dias claro e nublado. No Gráfico 2, podemos observar como este albedo varia ao longo dos 134 dias do período seco.

É pertinente ressaltar que apesar de possuir valores diferentes para esse tipo de cobertura, tal albedo possui também uma tendência de redução no auge do

período seco e depois uma tendência de aumento no início do período chuvoso, conforme o Gráfico 1.

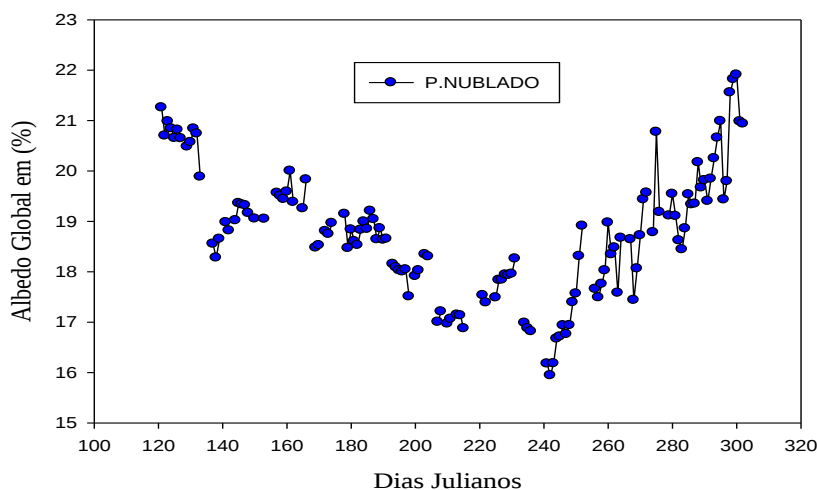


Gráfico 2. Representação da variação do albedo de radiação global diário nos dias parcialmente nublados do período seco.

A representação do albedo de radiação *PAR* também possui uma aparência um pouco diferenciada ao longo dos dias claros e nublados do período seco. O Gráfico 3 representa a variação do mesmo ao longo dos dias sem cobertura e completamente cobertos.

O comportamento do albedo de radiação *PAR* é bem diferente do albedo de radiação global, já que o gráfico mostra uma tendência de aumento do mesmo entre os Dias Julianos 200 e 240. Esse momento correspondente ao auge do período seco, compreendendo o período de final de julho a início de setembro, instante em que o albedo *PAR* já inicia uma tendência de diminuição. Isso coincide com o início da precipitação.

Como no mês de agosto a cobertura vegetal se protege quanto à perda de água, é possível pensar que o aumento da reflexão da radiação fotossinteticamente ativa indica uma redução no processo anabólico da fotossíntese, pois, ao se iniciar a precipitação, o albedo *PAR* tende a diminuir, indicando uma maior captação da radiação fotossintética por parte da vegetação.

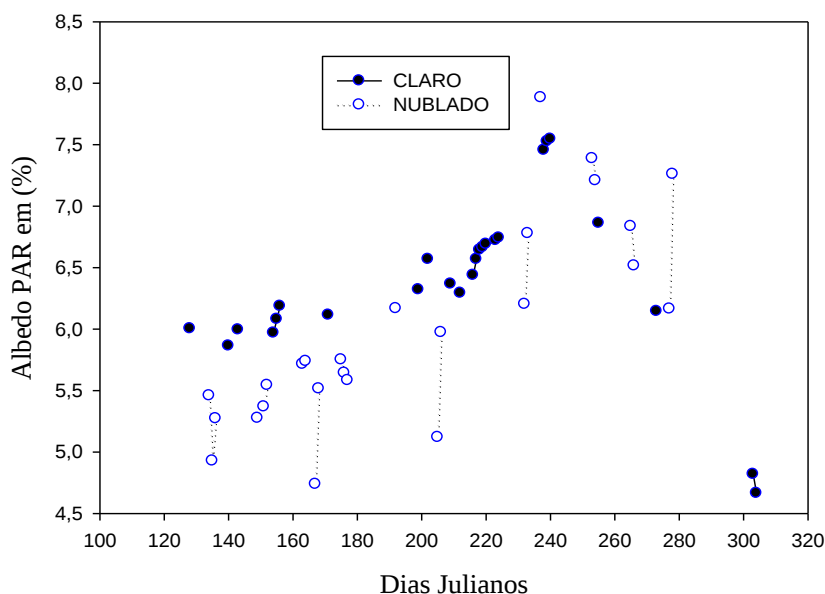


Gráfico 3. Representação da variação do albedo de radiação *PAR* diário nos dias nublado e claro do período seco.

Para os dias parcialmente nublados, percebe-se também que o albedo *PAR* diário sofre oscilações ao longo destes. O Gráfico 4 mostra esta variação, mas, em termos de comportamento, é semelhante ao Gráfico 3.

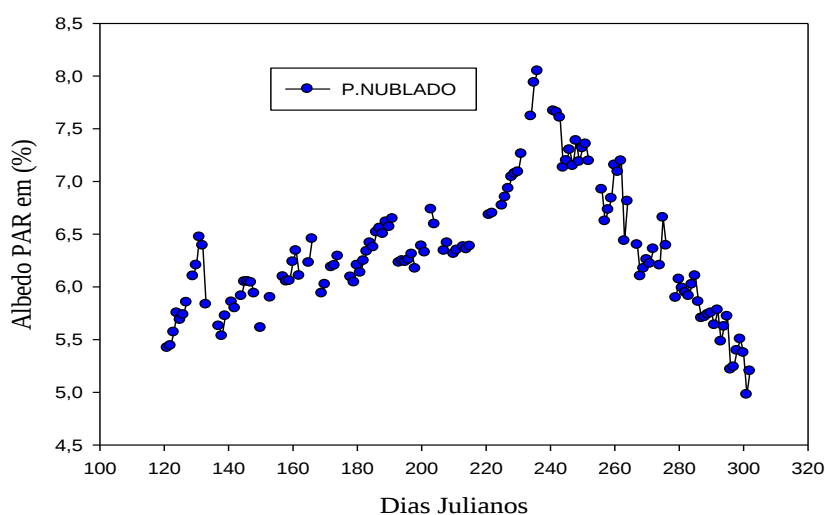


Gráfico 4. Representação da variação do albedo de radiação *PAR* diário nos dias parcialmente nublados do período seco.

No Gráfico 5, foi representada a variação do albedo da radiação IV dos dias nublado e claro. A observação do comportamento destas grandezas em dias de

coberturas diferente mostra que existiram momentos em que seus valores quase foram equivalentes. Em outros momentos, os albedos IV sob coberturas distintas apresentaram uma leve diferença. Entretanto, é possível também notar que em um dado instante o aumento do mesmo é percebido para ambas as coberturas.

Os albedos IV também sofreram uma tendência de redução entre os Dias Julianos de 140 a 240, comportamento parecido com o albedo global. Como tudo isso se dá no clímax da seca e também num momento de umidade relativa do ar bem reduzida, acredita-se que a pequena interação da radiação IV com a pouca quantidade de vapor d'água na atmosfera explica esse comportamento.

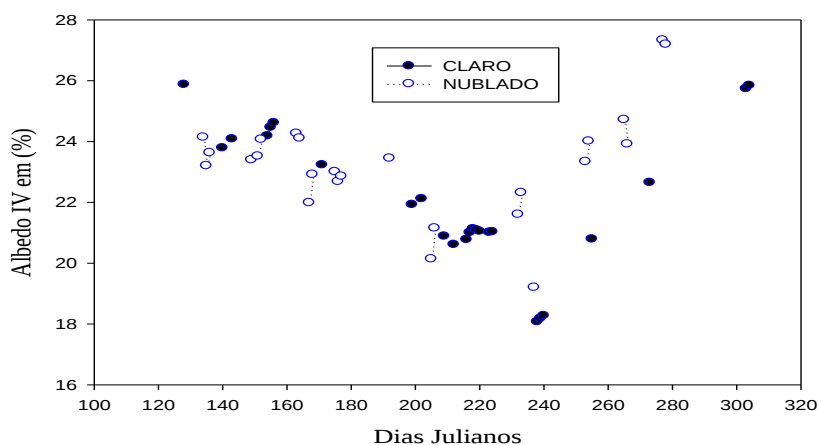


Gráfico 5. Representação da variação do albedo de radiação IV diário nos dias nublados e claros do período seco.

Para os dias parcialmente nublados do período seco, também pode ser observado uma variação do albedo ao longo desse momento, como se percebe no Gráfico 6.

O mesmo comportamento de tendência de redução e depois de aumento, pode até ser visualizado nitidamente. Quanto aos valores do albedo IV sob as três coberturas, percebe-se que são distintos.

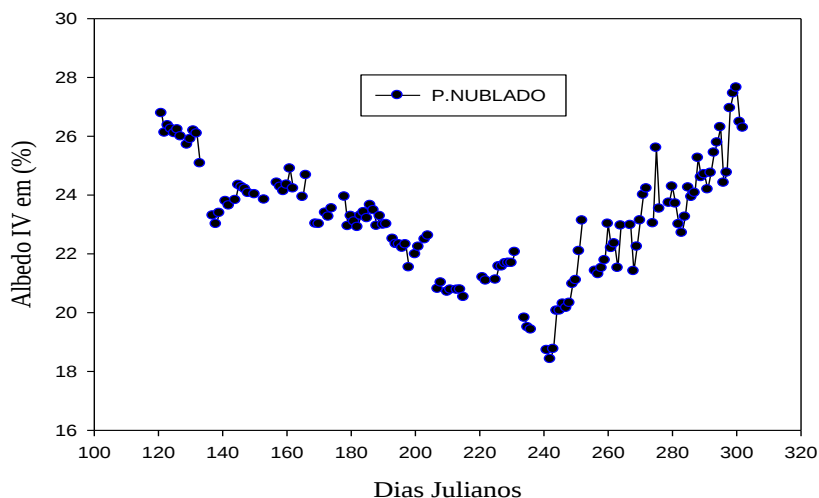


Gráfico 6. Representação da variação do albedo IV para os dias P. Nublados do período seco.

No período chuvoso, a quantidade de dias claros foi bem pequena, apenas 4 dias, já o número de dias nublados um pouco maior, 20 dias, e os dias com cobertura parcial foram também maioria neste período, 139 dias.

Nos Gráficos 7 e 8, temos o albedo de radiação global para diferentes claridades. Dado ao início do período chuvoso no final do ano 2009 e sua continuação no início do ano de 2010, verifica-se uma região vazia no centro do gráfico, isso dado ao reinício da contagem dos dias julianos.

As análises dos Gráficos mostram uma tendência de redução do albedo global entre os Dias Julianos de 1 a 50 e depois uma tendência de aumento entre os dias 51 e 85. Esses dias compreendem os meses de janeiro, fevereiro e março. Nesse período foram verificados os momentos de maior precipitação do período chuvoso, onde foram registrados precipitações de 191, 212 e 274 mm respectivamente, precipitações que foram maiores que a média do período chuvoso que foi de 176 mm.

Essa grande quantidade de chuva pode ter contribuído para a mudança de coloração do solo e da própria vegetação, pois, caso se verifique mudanças na coloração da superfície, isso pode afetar diretamente o albedo.

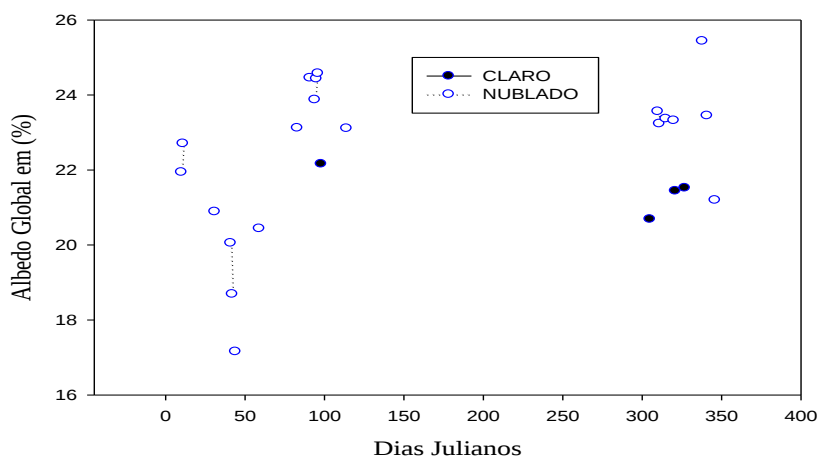


Gráfico 7. Representação da variação do albedo de radiação global para os dias claros e nublados do período chuvoso.

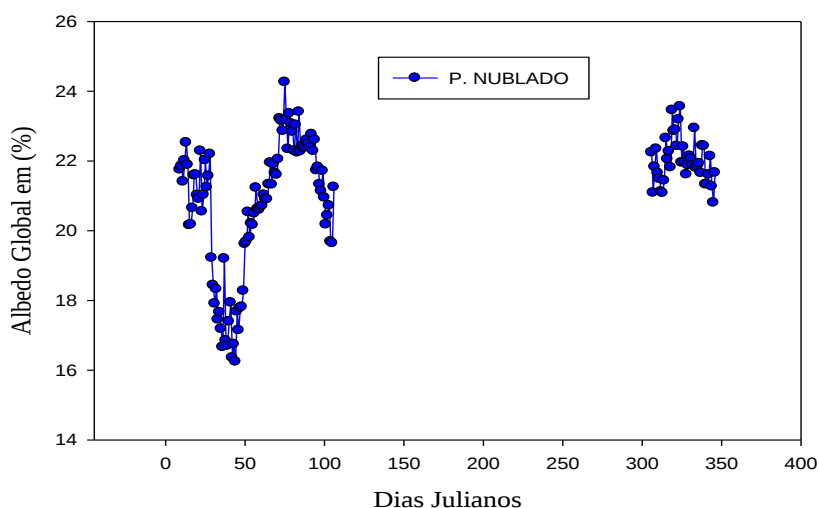


Gráfico 8. Representação da variação do albedo de radiação global para os dias parcialmente nublados do período chuvoso.

O albedo de radiação *PAR* também sofre variações no período chuvoso. Sua amplitude de variação foi maior nos dias nublados. No entanto, também variou nos dias claros e parcialmente nublados. Os Gráficos 9 e 10 mostram como os mesmos se comportaram na presença e na ausência de cobertura.

No início do período chuvoso, Dias Julianos de 300 a 355, os albedos da radiação *PAR* possuem valores menores do que no final do período entre os dias 9 e 120. Isso pode estar associado ao fato da existência de uma atividade fotossintética

intensa, tendo em vista a umidade do ar já se reestabelecendo paralelo ao surgimento de folhas novas.

Já a partir do Dia Juliano 50, o albedo *PAR* começa a aumentar dentro do período chuvoso, o que pode indicar uma redução da atividade de síntese de carbono.

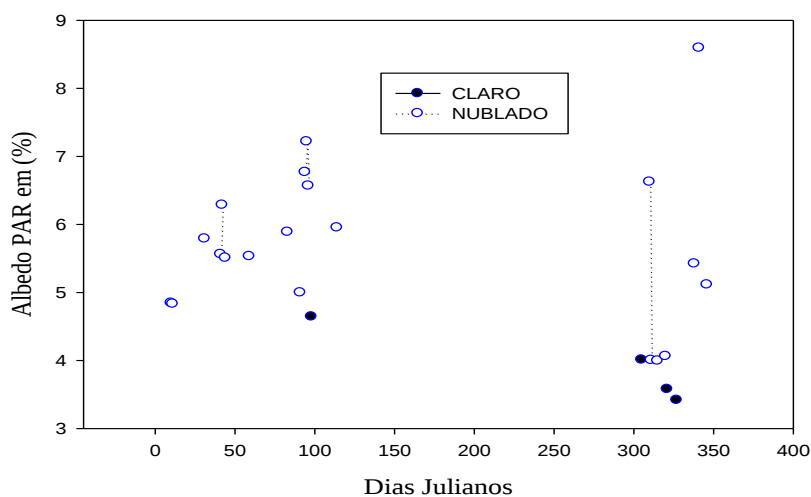


Gráfico 9. Representação da variação do albedo de radiação *PAR* para os dias claros e nublados do período chuvoso.

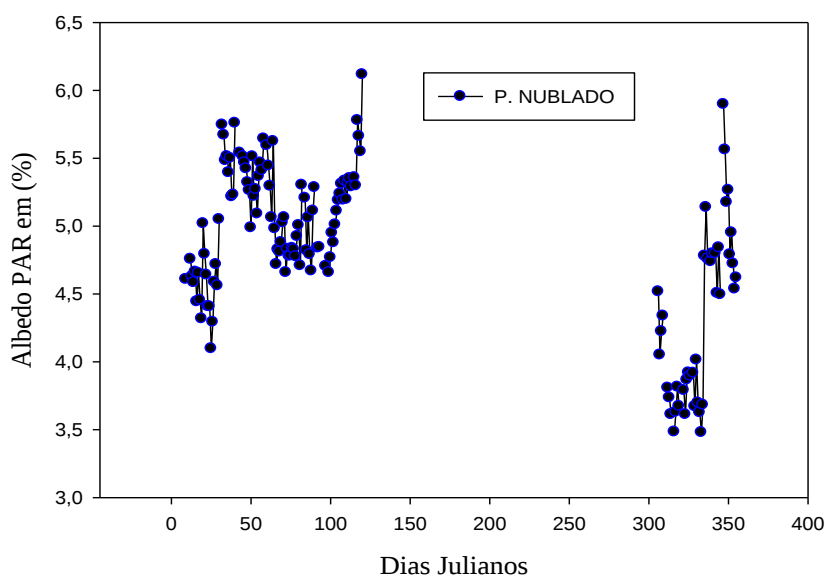


Gráfico 10. Representação da variação do albedo de radiação *PAR* para os dias parcialmente nublados.

O albedo de radiação IV também teve um comportamento de oscilação. Sua amplitude de variação foi maior nos dias nublados. Pela análise gráfica, percebe-se que durante os Dias Julianos que estão entorno do dia 50 compreendem os meses de fevereiro e março. Esses foram os meses que se registrou o maior número de precipitação, sendo assim, uma redução do albedo IV indicaria uma maior retenção desta radiação na superfície. O que é bem compreensível, uma vez que já se sabe da grande interação que há entre a radiação IV e o vapor d'água.

Os Gráficos 11 e 12 mostram como se deram estas oscilações sob diferentes coberturas.

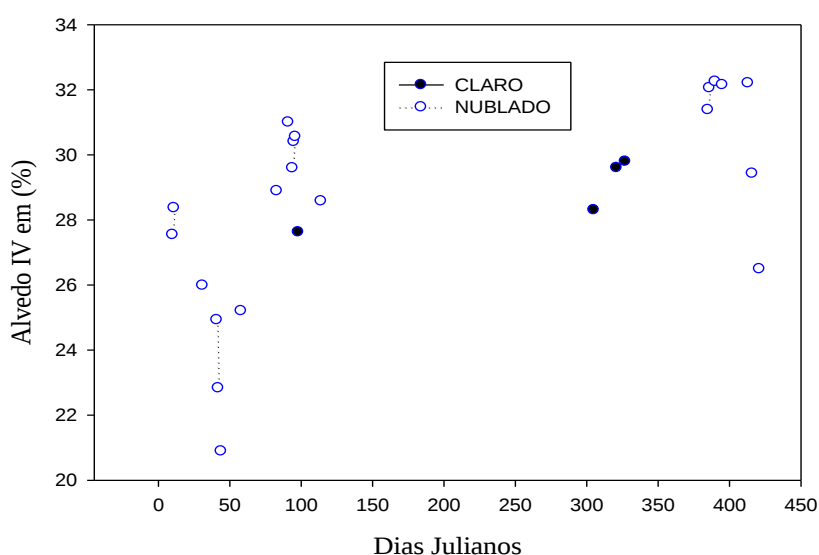


Gráfico 11. Representação da variação do albedo de radiação IV para os dias claros e nublados do período chuvoso.

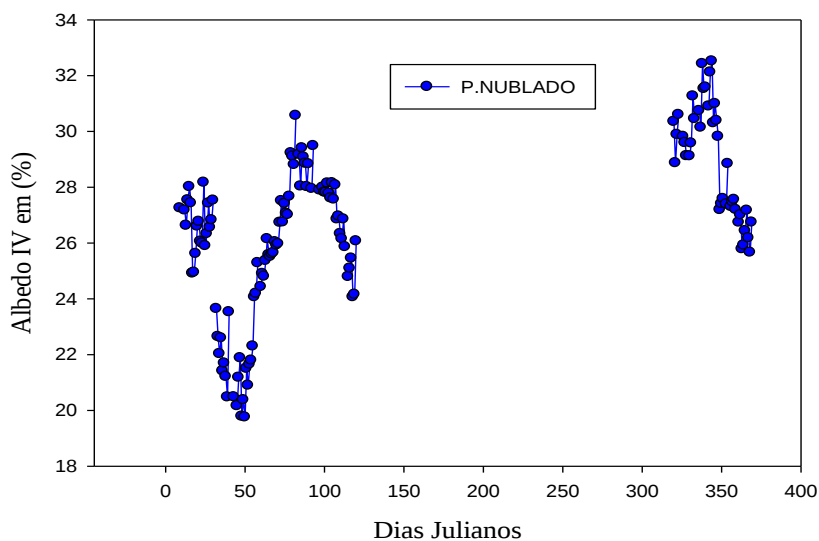


Gráfico 12. Representação da variação do albedo IV para os dias parcialmente nublados.

4.3. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

Para a análise estatística dos dados, foi utilizado o método *bootstrap*¹. Tal método foi criado por Bradley Efron (1979). Essa técnica utiliza da amostra, computando suas médias por diversas vezes, em que combina a retirada de alguns dados e a repetição de outros dados. O método gera um intervalo com nível de confiança de 95 %, com um valor de média, limites inferior e superior e desvio padrão.

Neste trabalho foram estimados os intervalos de confiança para cada albedo calculado, dentro de cada período, considerando as três condição de cobertura do céu. Na estimativa, o método trabalhou com uma reamostragem de 1000 valores. Os parâmetros gerados foram a média juntamente com o intervalo de confiança e o

¹ Apesar do Método *bootstrap* ser antigo, a utilização do mesmo ainda é muito comum em várias pesquisas de mestrado e doutorado, mostrando sua viabilidade na reamostragem de dados. Nesta pesquisa, utilizou-se o Excel para obter o intervalo de confiança deste método.

desvio padrão, mas para a análise só se levou em conta a média e o intervalo de confiança.

Para Cesário e Barreto (2003), quando se pretende construir um intervalo de confiança, a utilização do método *bootstrap* é uma alternativa computacionalmente intensiva e eficiente. Como nesse estudo existem amostras bem pequenas, as diversas vezes que o método realiza para a geração dos intervalos torna o mesmo bem seguro, dado o elevado número de combinações que esse realiza.

4.3.1. ANÁLISE DA MÉDIA DOS INTERVALOS DE VARIAÇÃO DO ALBEDO DE RADIAÇÃO GLOBAL DO PERÍODO SECO

Para determinar se houve variação do albedo de radiação global, levando-se em conta a cobertura do céu no período seco, foi calculado via método bootstrap, as médias e os intervalos de confiança deste coeficiente de reflexão.

Através da análise do gráfico 13, percebe-se que a cobertura do céu não influenciou a variação do albedo global para o período seco, visto que os intervalos de confiança para as três coberturas possuem intersecções.

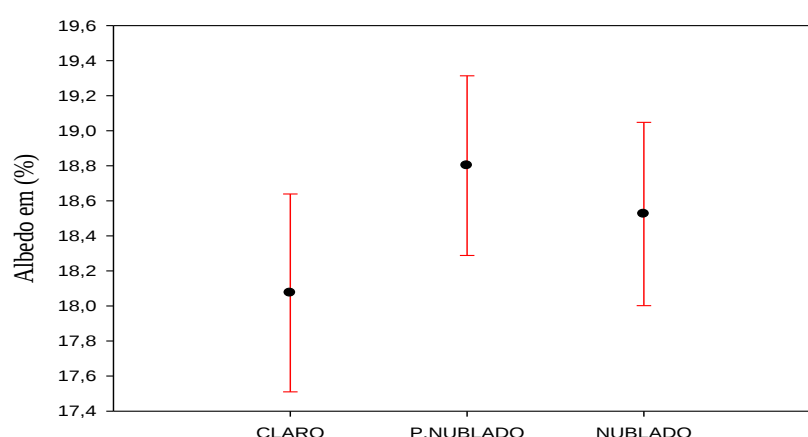


Gráfico 13. Indicação das médias e intervalos de confiança plotados para o albedo global do período seco.

4.4. ANÁLISE DA MÉDIA E INTERVALOS DE VARIAÇÃO DO ALBEDO DE RADIAÇÃO *PAR* NO PERÍODO SECO

O Albedo da radiação *PAR* também teve seus intervalos de confiança obtidos pelo método *bootstrap*, através da análise do Gráfico 14, nota-se que para este coeficiente a cobertura do céu também não influenciou significativamente o seu valor, inclusive a plotagem gráfica se assemelha um pouco com o albedo global.

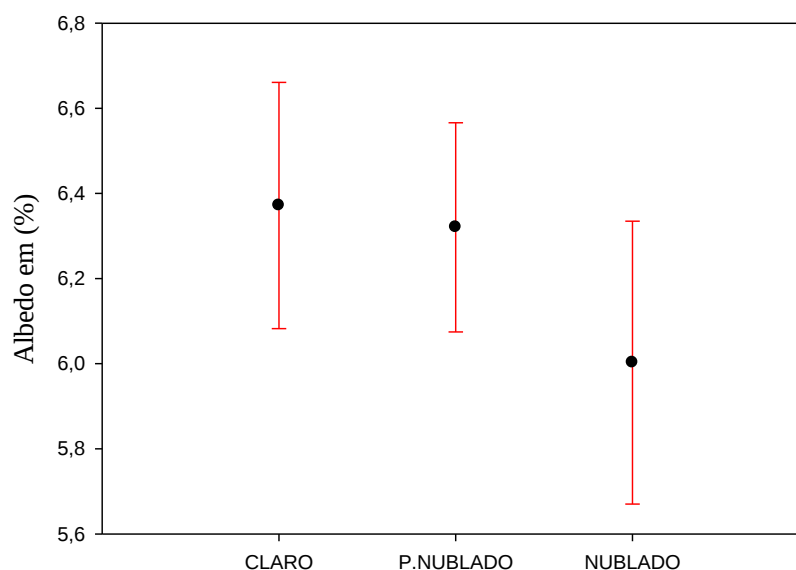


Gráfico 14. Indicação das médias e intervalos de confiança plotados para o albedo *PAR* do período seco.

4.5. ANÁLISE DA MÉDIA E INTERVALOS DE VARIAÇÃO DO ALBEDO DE RADIAÇÃO IV NO PERÍODO SECO

Para o período seco, as radiações IV incidente e refletida foram calculadas com a metodologia proposta por Leitão et al. (2002), após a determinação da radiação incidente e refletida e o cálculo do albedo IV, foi calculado o limite de confiança para os coeficientes de reflexão para cada tipo de cobertura do céu, como mostra o Gráfico 15.

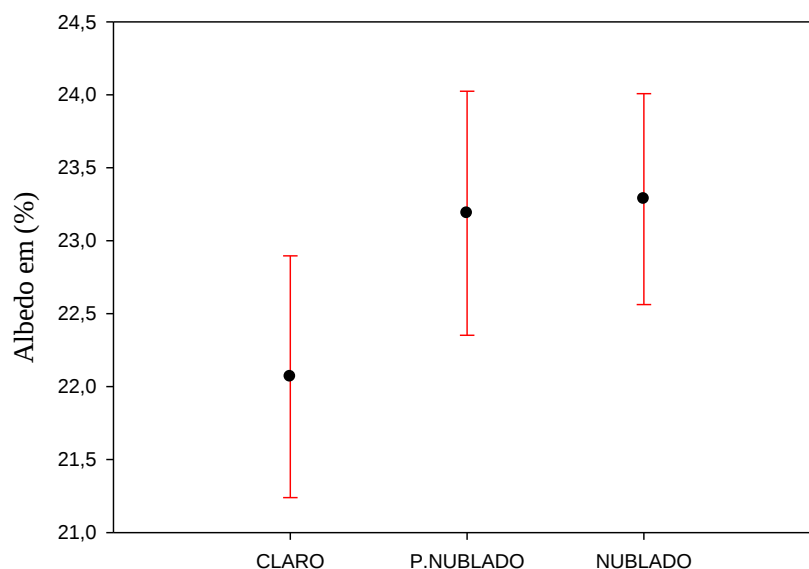


Gráfico 15. Indicação das médias e intervalos de confiança plotados para o albedo IV do período seco.

Através da análise do gráfico, conclui-se que para o período seco, a cobertura do céu não influenciou a variação do albedo IV.

4.6. ANÁLISE DA MÉDIA E INTERVALOS DE VARIAÇÃO DO ALBEDO DE RADIAÇÃO GLOBAL NO PERÍODO CHUVOSO.

No período seco não foram observados nenhuma influencia das nuvens na variabilidade do albedo, já no período chuvoso, a cobertura do céu influenciou dois albedos. O albedo global permaneceu sem influencia das nuvens, como mostra o Gráfico 16, os dias claros foram aqueles em que o intervalo de variação do albedo foi o mais estável dado à proximidade de seus limites.

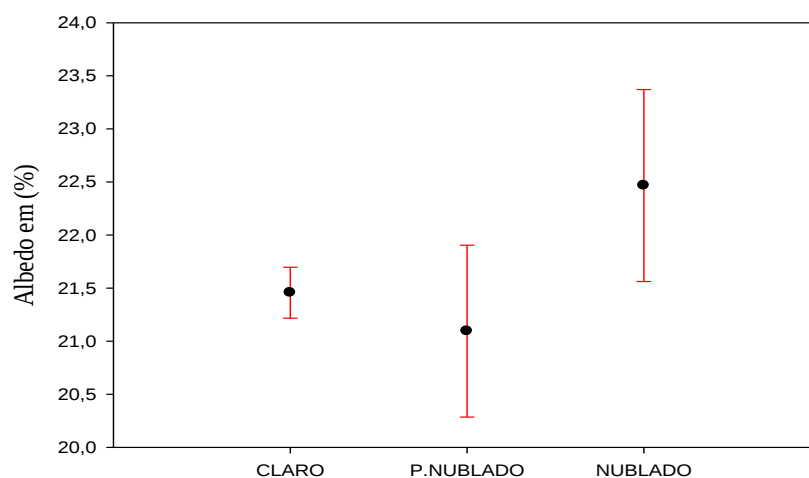


Gráfico 16. Indicação das médias e intervalos de confiança plotados para o albedo global do período chuvoso.

4.7. ANÁLISE DA MÉDIA E INTERVALOS DE VARIAÇÃO DO ALBEDO DE RADIAÇÃO *PAR* NO PERÍODO CHUVOSO.

O albedo de radiação *PAR* sofreu interferência da cobertura do céu durante o período chuvoso, como podemos observar no Gráfico 17. Os limites de confiança deste coeficiente foram distintos para as três coberturas do céu.

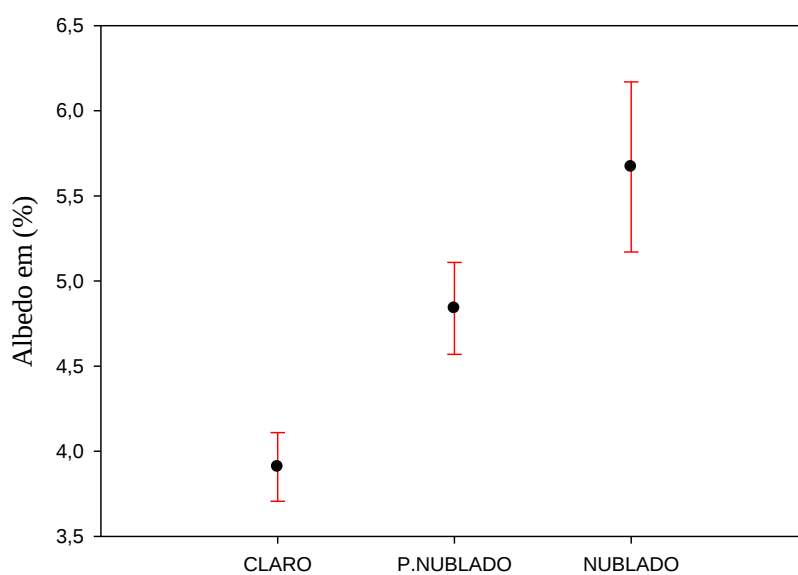


Gráfico 17. Indicação das médias e intervalos de confiança plotados para o albedo *PAR* do período chuvoso.

Alguns trabalhos, como (ARAÚJO & DEMINICIS, 2009., DIAS & MARENCO, 2007., FILHO, 2000., MARENCO et al., 2007) relatam que o aumento excessivo da luz acima da capacidade de utilização pela fotossíntese pode resultar em uma condição de estresse conhecida como fotoinibição, esse excesso não diz respeito apenas a radiação *PAR*, mas também da radiação de ondas curtas.

Em um estudo realizado por Mota et al. (2009) feito com videiras, duas plantações foram comparadas, uma possuía cobertura artificial de tela cujo objetivo era minimizar a intensidade da radiação incidente, a outra plantação estava descoberta e exposta a toda radiação proveniente do Sol. Os pesquisadores concluíram neste experimento que a cobertura reduziu em 30% a disponibilidade de radiação *PAR* e favoreceu a abertura estomática e o potencial fotossintético foliar.

Em um estudo realizado por Rodrigues (2011) nesta mesma localidade da presente pesquisa, foi verificada uma sazonalidade da radiação solar, umidade no solo, umidade relativa e temperatura média do ar. A sazonalidade destas variáveis micrometeorológicas pode afetar o comportamento da vegetação local.

No local onde a pesquisa foi realizada, a média da radiação *PAR* no período seco foi de $4,2582 \text{ W.m}^{-2}$, com máxima de 6,5840 e mínimo de 0,7702. A radiação global (ondas curtas) neste período teve média de $16,443 \text{ W.m}^{-2}$ com máximo de 26,128 e mínima de 2,611, já no período chuvoso a média da radiação *PAR* foi de $4,463 \text{ W.m}^{-2}$ com máximo de 8,2829 e mínimo de 0,873. As ondas curtas tiveram média de $17,53 \text{ W.m}^{-2}$ com máxima de 26,417 e mínima de 3,041.

Diante de uma série de trabalhos terem mostrado que o comportamento fotossintético das vegetações sofrem alterações devido a variações na intensidade da radiação incidente sobre a vegetação, isso faz acreditar que a mudança sofrida pelo albedo de radiação *PAR* no período chuvoso, pode ser uma indicação da resposta da cobertura frente à mudança da intensidade desta radiação.

Este trabalho mostra que a alteração da intensidade da radiação incidente pode ter causado mudança no potencial fotossintético, reforçando assim a possibilidade disto ter influenciado nas variações do albedo da radiação *PAR*.

4.8. ANÁLISE DA MÉDIA E INTERVALOS DE VARIAÇÃO DO ALBEDO DE RADIAÇÃO IV NO PERÍODO CHUVOSO.

A cobertura do céu só influenciou na variação do albedo IV durante o período chuvoso, na análise feita pelo método bootstrap, percebe-se pelo gráfico 18 que nos dias claros a reflexão IV obteve menor intervalo de confiança, diferindo seu valor apenas dos dias p. nublados e coincidindo com os dias nublados.

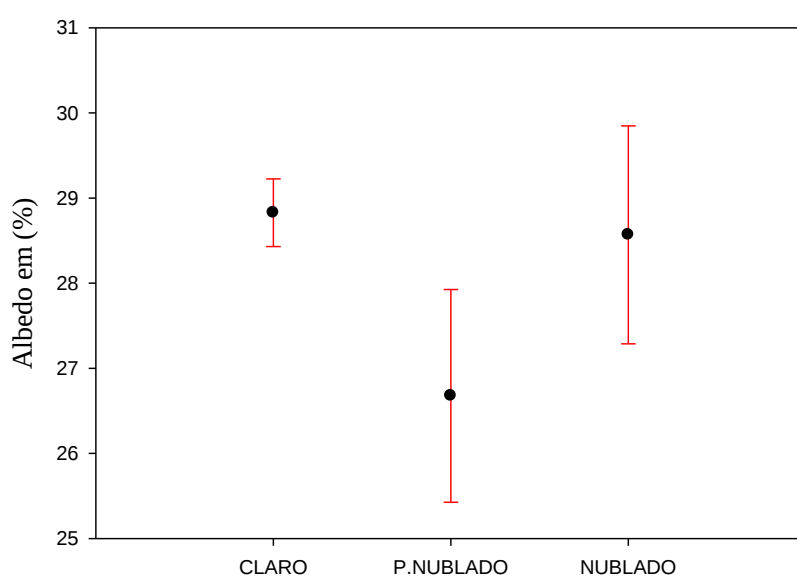


Gráfico 18. Indicação das médias e intervalos de confiança plotados para o albedo IV do período chuvoso.

Em um estudo feito por Leitão et al. (2002), acredita-se que a variação deste índice pode estar associado à diferença de umidade retida pelo vegetal e também à presença de água na superfície foliar, então, como a presença de cobertura no céu durante o período chuvoso pode indicar que houve precipitação no local ou próximo dele naqueles dias, por isso, o ar tem sua umidade relativa aumentada ou a própria superfície foliar possui lâminas d'água, talvez essa pode ter sido a causa desta variação no albedo IV durante o período chuvoso.

O período seco, como indicou o Gráfico 15, não apresentou variação neste índice, como no estado de Mato Grosso existem muitas queimadas durante o período

seco, e o ano de 2010 foi um dos mais críticos neste índice (Inpe (NOAA 15) - Análise ICV), é provável que a cobertura que exista no céu neste momento seja proveniente da existência de fuligem e poeira. Como esta cobertura não é certeza de precipitação para o período seco, não há variação na umidade retida pela vegetação ou sobre sua superfície, justificando assim sua permanência constante ao longo de diferentes coberturas do céu para o período seco.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo mostrou a existência dos três tipos de coberturas do céu nos períodos seco e chuvoso, com um maior percentual de dias parcialmente nublado. Após a plotagem gráfica dos albedos diários, considerando cada tipo de cobertura dentro dos períodos estudados, foi percebida uma oscilação dos valores, porém, após a análise estatística pelo método de bootstrap, chegou-se a conclusão que a cobertura do céu só influenciou os albedos de radiação *PAR* e *IV* no período chuvoso, já o albedo de radiação global não sofreu influência da cobertura em nenhum dos períodos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRE, R.G.B., MENDONÇA, J.C., MARQUES, V.D., PINHEIRO, F.M.A., MARQUES, J., Aspectos energéticos do desenvolvimento da cana-de-acúcar. Parte 1: Balanço de radiação e Parâmetros derivados. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.25, n.2, 375-382, 2010.

ANTUNES JÚNIOR, M. Z. **Influência de variáveis microclimáticas no balanço de energia e intercâmbio gasoso em área de Pastagem no cerrado mato-grossense**. 101p. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 2010.

ARAÚJO, S.A.C., DEMINICIS, B.B., Fotoinibição da Fotossíntese. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v.7,n.4, p. 463-472, out./dez. 2009.

ARAUJO, T.L., SOUZA, E.P., Influência da Superfície no Balanço de Energia e na Intensidade da Precipitação Urbana. **Revista Brasileira de Geografia Física** 03 (2010) 204 - 217

BANI, N.A., BERLATO, M.A., BERGAMASCHI, H., RIBOLDI, J., Rendimento Máximo de Girassol com base na Radiação Solar e temperatura: II. Produção de fitomassa e rendimento de grãos. **PESQ. AGROP. GAÚCHA**, Porto Alegre, v.1,n.2,p. 2012-216, 1995.

BRAGA, C.C., SOARES, F.R., DANTAS, F.R.C., BARBIERI, L.F.P., Determinação do albedo e índice de área foliar usando o sensor TM/LANDSAT 5. **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 935-942.

BORGES, V.P., OLIVEIRA, A.S., FILHO, M.A.C., SILVA, T.S.M., PAMPONET, B.M., Avaliação de modelos de estimativa de radiação solar incidente em Cruz das Almas, Bahia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.1, p.74-80, 2010.

CESÁRIO, L.C., BARRETO, M.C.M., Um estudo sobre o desempenho de intervalos de confiança bootstrap para a média de uma distribuição normal usando uma amostragem por conjuntos ordenados perfeitamente. **Ver. Mat. Est.**, São Paulo, v.21, p-7-20, 2003.

DIAS, D.P., MARENCO, R.A., Fotossíntese e fotoinibição em mogno e acariquara em função da luminosidade e temperatura foliar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n.3, p.305 – 311, mar. 2007.

CORREIA, F.W.S., ALVALÁ, R.C.S., GIELOW, R., Albedo do Pantanal Sul Matogrossense durante o período de transição seco-úmido de 2001-2002. **XII Congresso Brasileiro de Meteorologia**, Foz do Iguaçu – PR, 2002.

COUTO, Diogo Ladvocat Negrão. **Albedo em cerrado sensu stricto como resposta à variação climática e biológica: conexões com índice de vegetação, estoques de carbono e fluxos de CO₂**. 2009. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8135/tde-04022010-133248/>>. Acesso em: 2012-04-12.

DALLACORT, R., RICIERI, R. P., SILVA, S. L., FREITAS, P. S. L., SILVA, F. F. Análise do comportamento de um actinógrafo bimetálico (R. Fuess-Berlin-Steglitz) em diferentes tipos de cobertura do céu. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.26, n.4, p.413-419, 2004.

DRECHMER, P.A.O., **Comportamento e correção da radiação solar difusa obtida com anel de sombreamento**. 86p. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola) Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Centro de ciências Exatas e Tecnológicas.

DUARTE, B.M., FRANÇA, J.R.A., Caracterização da Estrutura Física das nuvens em Diferentes Ecossistemas da América do Sul A Partir de Dados do MODIS. **Anais**

XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 1661 – 1667.

ECHER, M.P.S., MARTINS, F.R., PEREIRA, E.B., A importância dos dados de cobertura de nuvens e de sua variabilidade: Metodologia para aquisição de dados. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 28, n. 3, p. 341 – 352, (2006)

ESCOBERTO, F.E., GOMES, E.N., JÚNIOR, C.R.F., OLIVEIRA, A.P., SOARES, J., Estimativa das Radiações Global, Direta e Difusa em função do Índice de Claridade (K_t) e razão de insoiação (n/N). **I CBENS – I Congresso Brasileiro de Energia Solar**, ABENS – Associação Brasileira de Energia Solar – Fortaleza, 8 a 11 de abril de 2007.

FILHO-LEMOES, J.P., Fotoinibição em três espécies do cerrado (*Annona crassifolia*, *Eugenia dysenterica* e *Campomanesia adamantium*) na estação seca e chuvosa. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Boticabal – SP, v.23, n.1, p.45-50, mar. 2000.

FILHO, L.C.A.M., ABREU, J.F., Ilha de calor urbana, metodologia para mensuração: Belo Horizonte, uma análise exploratória. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v.10, num. 1, 2012, PP. 1-24. Universidade Estadual da Paraíba – Campina Grande, Brasil.

FILHO, J.D.C.S., RIBEIRO, A., COSTA, M.H., COHEN, J.C.P., ROCHA, E.J.P. Variação Sazonal do Balanço de Radiação em uma floresta tropical do Nordeste da Amazônica. **Revista Brasileiro de Meteorologia**. v.21,n.3b, 318-330 – 2006

KIRCHHOFF, V.W.J.H., ECHER, E., LEME, N.P., SILVA, A.A. A variação sazonal da radiação Ultravioleta solar biologicamente ativa. **Brazilian Journal of Geophysics**, vol. 18(1), 2000.

LEITÃO, M.M.V.B.R; MOURA, M.S.B; SALDANHA, T.R.F.C; SOBRINHO, J.E; OLIVEIRA, G.M. Balanço de Radiação Sobre um Solo Descoberto para quatro Períodos do Ano. **Revista de Ciência & Tecnologia** . 15 – PP. 59-66, Junho 2000.

LEITÃO, M.V.B.R., SANTOS, J.M., OLIVEIRA, G.M., Estimativas do albedo em três ecossistemas da floresta amazônica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.1, p.256-261,2002. Campina Grande, PB, DEAg/UFCG.

LEITÃO, M.M.V., OLIVEIRA, G.M., Influência da Irrigação sobre o Albedo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, n.2, p.214-218, 2000 Campina Grande, PB, DEAg/UFPD.

MARENCO, R.A., NEVES, T.S., CAMARGO, M.A.B., DIAS, D.P., COSTA, G.F.C., RODRIGUES, J.C., Fotoinibição dinâmica da fotossíntese em árvores de dossel da Amazônia Central. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v.5, supl.2, p. 150-152, jul. 2007.

MOTA, C.S., AMARANTE, C.V.T., SANTOS, H.P., ALBUQUERQUE, J.A., Disponibilidade hídrica, radiação solar e fotossíntese em videiras ‘cabernet sauvigno’ sob cultivo protegido. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal – SP, v.31, n.2, p. 432 – 439, Junho 2009.

MONTEITH, J.L. Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. **Journal of Applied Ecology**, 9, 1972, 747-766.

OLIVEIRA, F.C., **Estimativa da radiação fotossinteticamente ativa para as bacias dos rio Doce, São Mateus e Jequitinhonha**. Viçosa, MG – 2010. 75p. Dissertação (Mestrado). Univesidade Federal de Viçosa, Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola.

PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478 p.

PEREIRA, E.B., VEISSID, N., Estimativa do Albedo Global Planetário empregando dados do experimento célula solar do satélite brasileiro SCD2. **Brazilian Journal of Geophysics**, vol. 18(1), 2000.

PEREIRA, G., MORAES, E.C., ARAI, E., OLIVEIRA, L.G.L., FERREIRA, N.J., Estimativas de alterações do albedo de superfície e da emissão de gases do efeito estufa em áreas queimadas inferidas através de imagens Landsat. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 4527-4534.

RAMOS, R.R.D., LOPES, H.L., JÚNIOR, J.C.F.M., CANDEIAS, A.L.B., FILHO, J.A.S., Aplicação do índice da vegetação por diferença normalizada (NDVI) na avaliação de áreas degradadas e potenciais para unidades de conservação. **III**

Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação.

Recipe – PE, 27-30 de julho de 2010, p.001 – 006.

RANDOW, R.C.S.V; ALVALÁ, R.C.S. Estimativa da Radiação de Onda Longa Atmosférica no Pantanal Mato-Grossense Durante os Períodos Secos de 1999 e 2000. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.21, n.3b, 389-412, 2006.

RODRIGUES, T.R., **Variabilidade Interanual da Sazonalidade de Fluxos de Energia e Matéria em Área de Cerrado na Baixada Cuiabana**. 86p. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) Instituto de Física – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá – 2011.

SELLERS, W. D. **Physical Climatology**. University of Chicago, Chicago, 1965.

SOUZA, P.J.O.P., RIBEIRO, A., ROCHA, E.J.P., LOUREIRO, R.S., BISPO, C.J.C.,

SOUZA, A.M.L., Albedo da Cultura da Soja em área de avanço da fronteira agrícola na Amazônia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. V.14, n.1, p.65-73, 2010. Campina Grande ,PB, UAEA/UFCG – [HTTP://www.agriambi.com.br](http://www.agriambi.com.br)

SOUZA, J.L., ESCOBERTO, J.F., TORNERO,M.T.T., Albedo e Estimativas do Saldo de Radiação em Feijão-Vagem Sob Cobertura de Plástico e Ambiente Externo. **Pesq. Agrop. Brás.**, Brasília, v.34, n.10, p.1763-1774, out. 1999.

SPOLADOR, J. **Incidência, Transmitância, Refletância e Fração absorvida da Radiação Fotossinteticamente Ativa em uma Floresta de Transição Cerrado-Amazônia**. Cuiabá, 2005. 62p. Dissertação (mestrado) – Física e Meio Ambiente. Universidade Federal de Mato Grosso.

SILVA, B.S.G., VALERIANO, D.M., Georeferenciamento e análise da correção atmosférica para o cálculo de albedo usando sensor LANDSAT ETM+. **Anais XI SBSR**, Belo Horizonte, Brasil, 05 – 10 abril 2003, INPE, p.2143 – 2150.

TAIZ, L. & ZIEGER, E. **Fisiologia vegetal**. Trad. SANTARÉM, E. R. et al., 3º ed., Porto Alegre: Artemed, 2004. 719p.

VAREJÃO-SILVA, M.A. **Meteorologia e Climatologia**. Versão digital, Recife, 2006. 522p.