

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE ALBEDO ESPECTRAL DERIVADO DE SATÉLITE E MEDIÇÕES DE ALBEDO EM CAMPO NA CIDADE DE NATAL/RN

Bruno do Nascimento e Silva – brunonascimento@isi-er.com.br

Maria de Fátima Alves de Matos

Alan Rodrigues de Sousa

Samira de Azevedo Santos Emiliavaca

Instituto SENAI de Inovação em Energias Renováveis, Natal

Resumo. *Em busca de aumentar a produção específica (MWh/MWp) grande parte dos novos empreendimentos de geração fotovoltaica estão aderindo à utilização de módulos fotovoltaicos bifaciais. Tais módulos, possuem a capacidade de efetuar a conversão energética em ambas as faces, aproveitando a radiação solar refletida (albedo) pela cobertura de solo. Portanto, no momento de selecionar um local para a instalação de uma nova usina fotovoltaica é extremamente relevante que se escolha uma cobertura de solo que por si só já ofereça um elevado valor de albedo. A utilização de sensoriamento remoto para determinar o albedo de um local tem a vantagem de ter um custo relativamente baixo, para selecionar possíveis locais de interesse, além de permitir o imageamento de grandes áreas de difícil acesso ou com escassez de informações. Entretanto, a instalação de estações de medição fixas para validar estas medições tem custo relativamente elevado em função da utilização de equipamentos sofisticados. Este trabalho propõe a utilização de uma bancada móvel de medição de albedo de maneira intermediária entre estas duas etapas, de medição por sensoriamento remoto e validação com estações fixas. Ao utilizar uma bancada móvel seria possível validar vários pontos de interesse previamente identificados e limitar a instalação das estações fixas para uma campanha de alta resolução temporal somente para os locais de maior potencial medidos em campo previamente pela bancada.*

Palavras-chave: *Albedo, Sensoriamento Remoto, Medição de Albedo*

1. INTRODUÇÃO

A geração de energia solar fotovoltaica está passando por um momento de rápida expansão em todo o mundo. A procura por fontes de energia renováveis com baixo impacto ambiental e alta eficiência resultou em um crescimento da geração de energia solar em todo mundo. Em conjunto com outras fontes renováveis, a geração fotovoltaica representou 30% do fornecimento energético mundial em 2020 (IEA, 2021). No Brasil, de acordo com a Empresa de Pesquisa Energética – EPE (2021), em 2020 a participação das renováveis na matriz energética nacional foi de aproximadamente 48%. Em busca de uma maior eficiência na geração de energia solar fotovoltaica os novos empreendimentos estão empregando uma tecnologia recentemente disponível em larga escala, os módulos fotovoltaicos bifaciais. Os módulos fotovoltaicos bifaciais já existem há bastante tempo, sendo descritos na literatura pela primeira vez por Luque *et al.* (1980). A grande vantagem deste tipo de módulo está na possibilidade de a conversão energética ocorrer em ambas as faces do módulo aproveitando a radiação solar refletida por uma superfície (albedo), podendo representar um acréscimo de até 14% em sua produção energética quando comparados com os módulos fotovoltaicos tradicionais (Lindsay *et al.*, 2015). O *International Technology Roadmap for Photovoltaic 2020* (VDMA, 2021) estima que até 2031 a participação de mercado dos módulos fotovoltaicos bifaciais representará aproximadamente 80% dos módulos vendidos em comparação com os 20% observados em 2019. Também se pode observar a mesma tendência de crescimento na utilização dos módulos bifaciais no Brasil. Até 2020, todos os contratos mapeados pelo Estudo Estratégico Grandes Usinas Solares 2021 (Greener, 2021) irão utilizar módulos fotovoltaicos bifaciais.

A seleção do local de instalação de uma usina que utilize módulos bifaciais se torna extremamente relevante, visto que uma cobertura de solo com maior albedo, ou seja, maior coeficiente de reflexão da radiação solar, tende a promover uma maior geração energética (MWh) por potência instalada (MWp). Portanto, uma correta identificação do albedo de determinada região, se torna de extrema relevância para um projeto de usina solar fotovoltaica que utilize módulos fotovoltaicos bifaciais. Entretanto, a medição do albedo por meio da instalação de estações fixas, apesar de necessária para fornecer dados com alta resolução temporal, tem um custo relativamente elevado em função da necessidade de medição com equipamentos sofisticados, como albedômetros ou piranômetros de alta confiabilidade. Uma alternativa para a medição do albedo de uma localização está na utilização do sensoriamento remoto, com a vantagem de reduzir significativamente o custo quando comparado com a instalação de estações fixas de medição. Contudo, apesar de apresentar custo relativamente reduzido, a medição de albedo por sensoriamento remoto necessita das informações das estações fixas de albedo para validar o comportamento espectral do índice refletido do solo e da irradiação incidente.

Baseando-se na necessidade do acompanhamento das variações de cobertura do solo para otimizar a geração energética por potência instalada com módulos bifaciais, o controle dos valores de albedo faz-se necessário por se tratar de um relevante índice de reflectância de radiação solar. Assim, o uso de modelos matemáticos baseados em informações de imagens de satélites e dados medidos em superfície, aliados ao conhecimento das alterações dinâmicas da cobertura do solo, apresentasse como alternativa viável para realizar estudos e monitoramentos em áreas com escassez de informações.

O albedo de uma superfície, é dado pela razão entre a radiação solar refletida e a radiação solar incidente, ou seja, a capacidade das superfícies refletirem a radiação incidente sobre elas. Algumas regiões, ou dependendo das propriedades físicas de cada região da superfície da Terra, podem refletir um albedo muito alto, como por exemplo a areia, ou baixo, como as florestas (Callegare *et al.*, 2011). A radiação solar que atinge Terra, é um parâmetro fundamental para os diversos processos que ocorrem no sistema solo-atmosfera (Leitão e Oliveira, 2000). Do total de radiação que chega à superfície, parte é imediatamente refletida, parte é transmitida e outra é absorvida pelo solo de forma diferenciada, dentro do espectro solar (Wang *et al.*, 2015).

Diante do exposto, este trabalho tem como objetivo estimar o albedo por satélite, usando as bandas de ondas curtas e validar o índice a partir de uma bancada móvel de medição de albedo construída com base na norma ASTM E1918-16 (2016), visando avaliar os valores obtidos por satélite e os medidos em campo, limitando desta forma a instalação das estações fixas para os locais com elevado potencial de albedo validados em campo.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A cidade de Natal, capital do Rio Grande do Norte, está localizada na porção leste do Nordeste, cuja área corresponde a 168,53 km², entre as coordenadas geográficas: 5°47'42"S e 35°12'34"W (Fig. 1). Está inserida no embasamento cristalino pré-cambriano, sobreposto por rochas sedimentares da bacia sedimentar Pernambuco-Paraíba do Cretáceo, estas estão sotopostas. Estas encontram-se recobertas, discordantemente, pelas litofácies siliciclásticas da Formação Barreiras que, comumente, encontram-se sobrepostas por sedimentos quaternários (Bezerra e Amaro, 1998; Barreto *et al.*, 2004). O relevo é caracterizado por altitudes de aproximadamente 118 m, com terrenos suave-ondulados margeado pelo mar e os tabuleiros costeiros, e borda coberta pelos campos de dunas (móveis e fixas). Predominam os Neossolos quartzarênicos órticos, cuja textura é formada por areia de baixa fertilidade, nas cores castanhas ou vermelha, devido os sedimentos oriundos da Formação Barreiras.

Natal está inserida no clima tropical chuvoso com verão seco – As (Alvarez *et al.*, 2013), com chuvas concentradas com médias acima de 200 mm nos meses de abril a julho, e intensa estação seca nos meses de outubro a janeiro (INMET, 2021), estes últimos meses coincidem com os meses de maior radiação global incidente na cidade de Natal (Rocha *et al.*, 2012).

Para realização dos testes, foram selecionados 3 locais em Natal (Fig. 1):

- PT1 (-5,868320 / -35,213820), bairro Neópolis, localizado na porção sul do município, em uma área de terreno descampado, entre casas residenciais, cuja camada superficial do solo é areia, com coloração castanha a vermelha;
- PT2 (-5,800420 / -35,181540), bairro Mãe Luiza, situado na parte leste, no ambiente de pós-praia usado como campo para atividades recreativas de futebol, sendo o solo caracteristicamente arenoso de duna, de uma coloração castanha, sotoposta aos sedimentos da Formação Barreiras; e,
- PT3 (-5,738520 / -35,214210), bairro Redinha, localizado na margem esquerda do rio Potengi, em um ambiente de campo de duna móvel, com areia clara, margeado por campos de dunas vegetados.

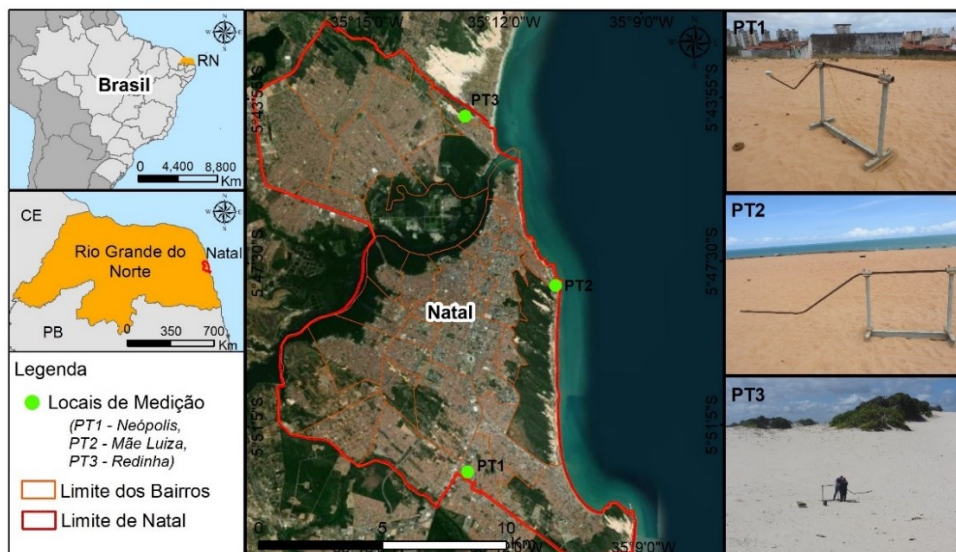


Figura 1 – Mapa de localização dos locais de medição do albedo

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Processamento Digital de Imagem para Obtenção do Albedo de Superfície - AS

Para levantamento do albedo nos pontos selecionados, além das coletas em campo, buscou-se correlacionar com outras fontes de albedo. Assim, um conjunto de dados derivados de satélite foi usado para comparar os valores obtidos em campo com os obtidos por meio de sensoriamento remoto.

Desta forma, a Tab. 1, resume as características das bandas espectrais da imagem do satélite Landsat OLI 8 do dia 23 de novembro de 2021, selecionada a partir do repositório *web Earth Explorer*, do *United States Geological Survey* – USGS para estimar o albedo de superfície.

Tabela 1 – Características das bandas espectrais do sensor OLI (Operational Land Imager), do satélite Landsat 8 obtido para o dia das medições em campo.

Nome	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Data/Hora de Aquisição	Ponto/Órbita
B1	Azul (Costal/Aerosol)	0.43 – 0.45 μm	30 m	2021/11/23 09:29:01	214-64
B2	Azul (Blue)	0.45 – 0.51 μm			
B3	Verde (Green)	0.53 – 0.59 μm			
B4	Vermelho (Red)	0.64 – 0.67 μm			
B5	Infravermelho Próximo (NIR)	0.85 – 0.88 μm			
B6	Infravermelho Médio (SWIR-1)	1.57 – 1.65 μm			
B7	Infravermelho Médio (SWIR-2)	2.11 – 2.29 μm			

Para o cálculo do albedo a imagem foi submetida inicialmente as transformações e conversões necessárias para obter a estimativa. As imagens da série dos satélites Landsat, são representadas pelos números digitais contidas em cada *pixel* (30m x 30m). Estes números, conhecidos também como DN (*Digital Number*), não são representativos das características das unidades físicas (i. e., radiância, reflectância ou temperatura) (Chen e Herz, 1996).

Converter os DN de uma imagem Landsat para reflectância, recorre a procedimentos específicos a primeira etapa consiste na calibração radiométrica, fase em que os DN são convertidos para valores de radiância (Chen e Herz, 1996); a segunda etapa é converter para valor de reflectância no topo da atmosfera (TOA) através da correção dos efeitos atmosféricos (Matthew *et al.*, 2000), por meio do método DOS 1.

O método de correção atmosférica DOS 1 (*Dark Object Subtraction*) foi proposto por Chavez (1989). É um método de correção do espalhamento atmosférico no qual a interferência atmosférica é estimada diretamente a partir dos DN da imagem de satélite, sendo ignorada a absorção atmosférica. No método DOS assume-se que há uma grande probabilidade de existir alvos (*pixels*) escuros nas imagens, como sombras ocasionadas pela topografia ou por nuvens, os quais deveriam apresentar um DN muito baixo na imagem, equivalente a cerca de 1% de reflectância (Chavez, 1989). Contudo, os *pixels* sombreados apresentam valores de DN nas imagens superiores aos esperados, consequência do espalhamento atmosférico, e por isso esses pixels escuros servem de referência para a correção do espalhamento atmosférico (Sanches *et al.*, 2011). Para a aplicação da correção DOS 1, foi usado o modelo de Classificação Semi-Automática – SCP (*Semi-Automatic Classification Plugin*) de código aberto (Congedo, 2021).

3.2 Determinação do Albedo de Superfície - AS

Após a convenção da imagem para reflectância no topo da atmosfera, por meio da correção atmosférica DOS 1, as bandas foram submetidas ao cálculo do albedo de superfície, baseado no método proposto por Wang *et al.* (2016), para o sensor OLI, com as associações das bandas de ondas curtas e da faixa do visível, conforme a Eq. (1)

$$AS = b_{BLUE} * \rho_{BLUE} + b_{GREEN} * \rho_{GREEN} + b_{RED} * \rho_{RED} + b_{NIR} * \rho_{NIR} + b_{SWIR1} * \rho_{SWIR1} + b_{SWIR2} * \rho_{SWIR2} - b_0 \quad (1)$$

onde, b e ρ são os valores de refletância bidirecional de superfície e seus coeficientes de conversão correspondentes para as seis bandas do satélite Landsat OLI não térmicas, isto é, azul, verde, vermelho, NIR e as duas bandas infravermelhas de ondas curtas (SWIR1 e SWIR2).

Na Tab. 2 é apresentado os valores de b das bandas espectrais do sensor OLI, do satélite Landsat-8.

Tabela 2 – Coeficientes de conversão de banda usados para calcular o albedo de superfície - AS (Wang *et al.*, 2016) para diferentes faixas espectrais

Sensor	b_{BLUE}	b_{GREEN}	b_{RED}	b_{NIR}	b_{SWIR1}	b_{SWIR2}	b_0
AS _{SW}	0.2453	0.0508	0.1804	0.3081	0.1332	0.0521	0.0011

3.3 Bancada móvel de medição de albedo

Para verificação do albedo de uma superfície é necessária a determinação dos valores de radiação solar refletida por uma superfície e radiação solar incidente nesta superfície, visto que o albedo ou coeficiente de reflexão ρ é definido pela razão destes valores, conforme descrito pela Eq. (2):

$$\rho = \frac{\text{Radiação solar refletida por uma superfície}}{\text{Radiação solar incidente em uma superfície}} \quad (2)$$

A *American Society for Testing and Materials* em sua norma ASTM E1918-16 (2016) padroniza as medições de albedo realizadas em campo para superfícies com baixa inclinação. Esta norma foi utilizada como guia para elaboração da bancada móvel de medição de albedo. Ela determina a utilização de um piranômetro para realização das medições de radiação incidente e radiação refletida, sendo esta última aferida a 50 cm de altura da superfície de interesse, porém com a utilização de um único piranômetro e as medições devem ser realizadas respeitando o limite de 2 minutos entre as medições da radiação incidente e da radiação refletida.

A bancada móvel de medição de albedo (Fig. 2), proposta neste artigo, utiliza dois piranômetros Kipp & Zonen CMP22 (ISO 9060, Classe A), visando uma maior precisão na medição do albedo por aferir a radiação incidente e radiação refletida simultaneamente. Para a utilização de dois piranômetros foi projetado um sistema de suporte e nivelamento composto por três eixos com molas, que permite o nivelamento do sistema em campo por meio do ajuste de altura dos eixos de maneira independente, conforme detalhe na Fig. 3.



Figura 2 – Bancada móvel de medição de albedo



Figura 3 – Detalhe do sistema de nivelamento dos piranômetros

Para a aquisição e processamento dos dados foi utilizado um datalogger Campbell Scientific CR3000, programado para leitura de dados dos piranômetros a cada segundo com integração dos dados por minuto.

Para a determinação das incertezas nas medições com a utilização de dois piranômetros em simultâneo, foi realizado um ensaio para determinar a divergência entre os valores de radiação global horizontal (GHI) obtidos pelos dois sensores nas mesmas condições. Para tanto, os dois piranômetros foram posicionados lado a lado conforme é exibido na Fig. 4, respeitando os limites de ângulo de elevação solar impostos pela norma ASTM 1918-16 (2016). Os valores da GHI obtidos

pelos dois piranômetros variaram entre 272 – 1272 W/m² e a divergência máxima entre as leituras dos dois pirômetros foi de 0,4 %.



Figura 4 – Ensaio de determinação das incertezas dos piranômetros.

Todas as medições realizadas com a bancada móvel foram efetuadas em horários próximos ao horário de obtenção da imagem por satélite, respeitando os limites de ângulo de elevação solar impostos pela norma ASTM 1918-16 (2016). Os valores do ângulo de elevação solar no momento das medições estão descritos na Tab.3.

Tabela 3 – Ângulo de elevação solar nos horários de cada uma das medições (PV Lighthouse, c2021).

Locais de Medição	Elev. Solar	Data/Hora de Aquisição
PT1 – Neópolis	71,56°	2021/11/23 11:00:00
PT2 – Mãe Luiza	73,22°	2021/11/23 12:20:00
PT3 – Redinha	61,92°	2021/11/23 13:25:00

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O albedo de superfície está intimamente relacionado à refletividade, que de modo geral é especificado em uma banda espectral relativamente de ondas curtas e em uma direção específica da superfície da Terra (Otterman, 1977; Wang *et al.*, 2016). Devido à forte correlação que há entre o albedo de superfície e o albedo do sistema Terra-Atmosfera, sua variabilidade temporal e espacial, são fortemente alteráveis dependendo da hora, dia, estação do ano, latitude e tipo do terreno, causando diferenças nas taxas do albedo (Otterman, 1977).

Na Fig. 5 é apresentado o resultado da estimativa do albedo de superfície obtido a partir da imagem de satélite Landsat OLI-8 para a cidade de Natal, densamente urbanizada, e o detalhamento para 3 micro áreas (PT1 – Neópolis, PT2 – Mãe Luiza e PT3 – Redinha) que serviram para realizar as medições in situ durante o dia de imageamento do satélite, em 23 de novembro de 2021.

Conforme a Fig. 4, o albedo para região de Natal variou de 0,02 a 0,74, ressaltando que a maior parte dos valores do albedo acima de 0,50 estão contidos nas áreas refletidas pela presença de nuvens e nas constantes edificações da cidade. Nas áreas correspondentes ao ambiente não edificado, tipo: campos de dunas e outras áreas de solo exposto que existe na cidade, os valores do albedo estiveram em média abaixo de 0,50. Conforme uma análise de quantidade do albedo por frequência de pixels, os valores mais frequentes para a cidade de Natal variaram entorno de 0,13 a 0,24, e a média foi de 0,19, mostrando assim, uma correlação comparativa com a tabela global de albedo proposta por Otterman (1977), cujo albedo médio estimado foi em 0,18, se verificou a relação entre as condições naturais e artificiais da cidade de Natal similares a média global. Em outro estudo mais recente realizado por Silva *et al.* (2018), usando as bandas de ondas curtas do satélite Landsat OLI-8 para a região do semiárido entre o Rio Grande do Norte e o estado da Paraíba, incluindo as zonas urbanas, os autores encontraram valores de albedo variando entre 0,14 a 0,35, ressaltando a coerência com os valores encontrados neste estudo.

Na avaliação de outros ambientes não edificados da cidade de Natal, verificou-se um valor máximo do albedo, de 0,51, registrado em um campo de duna próxima da zona de praia, na parte norte de Natal. Nos ambientes de campos de dunas sem vegetação, com por exemplo, ao Parque das Dunas e a Barreira do Inferno, o albedo variou em 0,37 a 0,49, pois devido à sua constituição essencialmente composto por areias quartzosas, o índice de reflectância tende a ser mais elevado quanto mais seco a areia estiver. Tais valores assemelham-se com os resultados obtidos por Otterman e Fraser (1976) com uso de Landsat para quantificar o albedo de superfície relacionando as bandas de ondas curtas, os autores encontraram valores de albedo de 0,34 a 0,52, em vários locais de ambientes áridos e semiáridos na Faixa de Gaza e Sinai, com padrões de areias quartzosas.

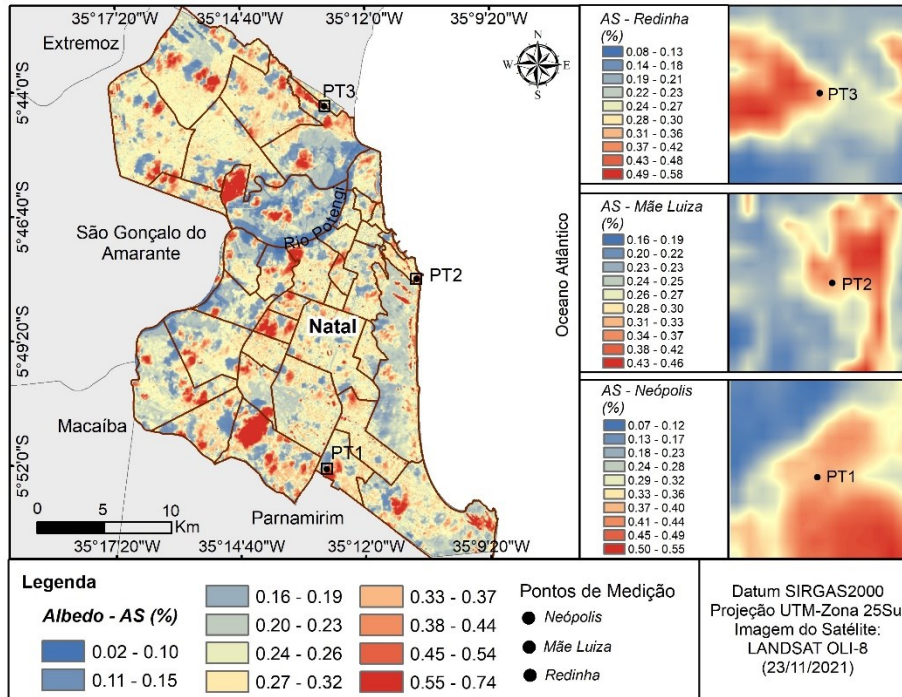


Figura 5 – Estimativa do albedo de superfície da cidade de Natal, derivado da imagem de satélite Landsat-8 OLI de 23 de novembro de 2021 pelo método de Wang *et al.* (2016).

Após o transporte, posicionamento e preparação da bancada móvel de medição de albedo, foram iniciadas as campanhas de medição *in situ*, cada um dos pontos selecionados previamente por meio de sensoriamento remoto foi monitorado por 7 minutos, gerando 7 valores de albedo integrados a partir de 60 leituras por minuto. No momento das medições com a bancada móvel o céu se encontrava parcialmente nublado, impossibilitando uma medição sem interferências na radiação solar incidente.

Para validação dos dados em função da variação na radiação solar causada pela cobertura de nuvens foi aplicado na amostragem o Teste de Chauvenet (Bayless, 2005) dado pela Eq. (3), para determinar a presença de *outliers* dentre os valores medidos

$$d = \frac{|x_i - \bar{x}|}{s} \quad (3)$$

onde, d é o desvio em relação ao desvio padrão, x_i é o valor a ser validado, \bar{x} é a média das medições e s é o desvio padrão das medições.

De acordo com o Teste de Chauvenet, o máximo valor aceitável para desvio d em uma amostragem com 7 pontos é de 1.80. Somente um dos pontos nas medições realizadas em PT3 – Redinha foi classificado como *outlier*, sendo removido dos dados finais. No gráfico da Fig. 6 é possível observar a variação entre os valores de albedo medidos após a validação dos dados. E, os resultados do albedo de superfície obtidos pelo satélite e medidos *in situ* estão apresentados na Tab. 4.

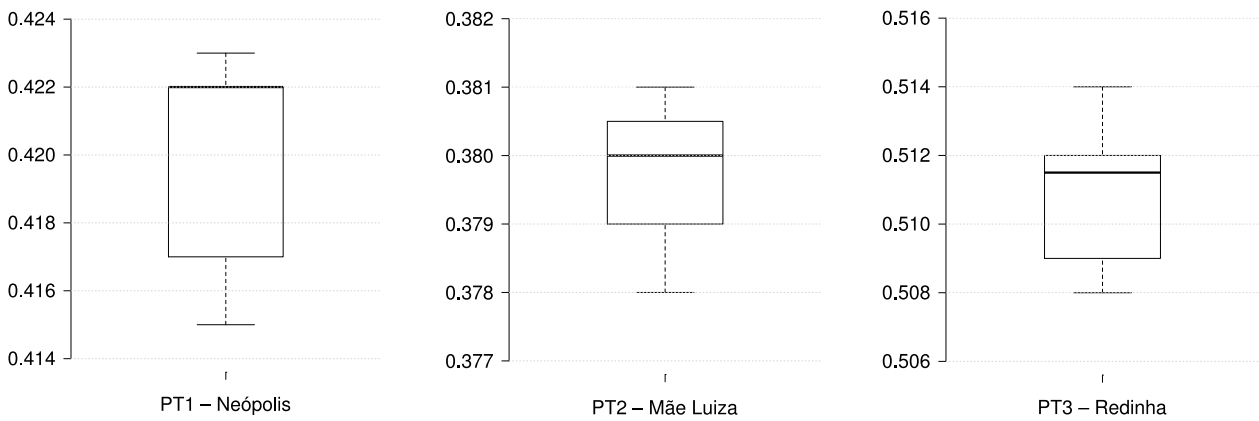


Figura 6 – Diagrama de caixa para as medições de albedo realizadas com a bancada móvel.

Tabela 4 – Valores do albedo simulador por satélite (Landsat – 8 OLI) e medido (Instrumento móvel) para a cidade de Natal em 23 de novembro de 2021.

Locais de Medição	$AS_{LANDSAT}$	AS_{MEDIDO}	$AS_{MEDIDO} / AS_{LANDSAT}$
PT1 – Neópolis	0,3858	0,4197	109%
PT2 – Mãe Luiza	0,3949	0,3797	96%
PT3 – Redinha	0,3916	0,5110	130%

A partir da análise dos valores apresentados na Tab. 4, é possível observar que duas das três medições realizadas em campo tiveram superestimação dos valores quando comparados às medições por satélite, os valores de albedo que mais se aproximaram foram os medidos no PT2 – Mãe Luiza, com apenas 4% de divergência entre os valores obtidos por satélite e medidos com a bancada móvel. Tal aproximação pode se justificar por ser o local mais plano entre os três pontos observados, pelas propriedades físicas do solo deste local e as imperfeições dos modelos das imagens de satélites.

Para as medições realizadas no PT1 – Neópolis, houve uma subestimação de 9% dos dados simulados pelo satélite em relação aos valores medidos com a bancada móvel. Esta variação pode ser explicada pela condição do terreno apresentar uma inclinação mais elevada em relação à superfície, pois esta característica pode afetar o retroespalhamento do sinal de retorno, visto que o espectro da radiação recebida pelo satélite está submetido a influência do ângulo formado entre a órbita do satélite e a superfície analisada.

Esta mesma justificativa poderia ser aplicada para o PT3 – Redinha, que apresentou maior variação dentre as três medições realizadas, com um aumento de 30% no valor de albedo médio aferido com a bancada móvel, ao realizar uma nova análise por meio do sensoriamento remoto em um segundo ponto mais elevado no campo de duna com o mesmo tipo de cobertura de solo (areia de duna clara) foi possível obter valores de albedo próximos aos 0.511 medidos com bancada móvel no PT3 – Redinha. Outra inferência com relação a este ponto é a origem do solo constituinte. Enquanto os solos do PT1 e PT2 possuem influência e são contaminados com o material ferruginoso da Formação Barreiras e do pós Barreiras, o solo do PT3 recebe maior influência de sedimentos eólicos marinhos ou praias, fator este que corrobora tanto na variação de cor, bem como, nas propriedades da areia, pois quanto maior a presença de quartzo (e menos impurezas incorporadas no quartzo), maior será a intensidade de reflectância da areia (Demattê, 2002).

Por definição a classe Neossolo Quartzarênico (predominantes em Natal) são solos de textura arenosa, com baixos teores de matéria orgânica e de óxidos de ferro, com mineralogia na fração de areia constituída predominantemente por quartzo (Resende *et al.*, 2005), resultando em uma elevada intensidade de reflectância (Sousa Júnior *et al.*, 2008), sobretudo no horizonte A (Demattê, 2002). Tais características são predominantes nos solos estudados, estas e as associações com as condições meteorológicas do dia de cobertura do satélite e campo, resultaram em resultados satisfatórios.

5. CONCLUSÕES

Dado a recente expansão na utilização dos módulos fotovoltaicos bifaciais em todo mundo, os estudos acadêmicos abordam cada vez mais pesquisas que envolvam formas de aumentar a capacidade de produção e melhorar a modelagem nos softwares de projetos fotovoltaicos destes módulos bifaciais. Este estudo se propõe à auxiliar novos projetos na etapa de seleção do local de instalação de novas usinas fotovoltaicas que utilizem módulos fotovoltaicos bifaciais, apresentando uma proposta para reduzir os custos envolvidos nesta etapa inicial do projeto. Ao realizar uma varredura por locais de interesse, do ponto de vista da intensidade do albedo, em uma vasta área por meio do sensoriamento remoto acompanhado por validação inicial efetuada com uma bancada móvel de medição de albedo, é possível reduzir significativamente os

custos quando comparado com a instalação de várias estações de medição fixas para validar estas medições. A utilização de uma bancada móvel de medição do albedo apresenta-se como um candidato ideal para a realização de medições em campo, primeiramente por permitir campanhas de medições sincronizadas com a passagem do satélite, possibilitando uma validação mais precisa dos modelos utilizados no sensoriamento remoto, além de permitir uma expansão dos sensores instalados, como câmera AllSky para acompanhamento da cobertura de nuvens, módulo fotovoltaico e bateria para campanhas de medição de alguns dias, entre outros sensores por exemplo.

As medições obtidas com a imagem de satélite resultaram em médias similares as médias do albedo planetário quando associadas a outros trabalhos com a aplicação da série do satélite Landsat. As tendências encontradas em relação aos medidos, seguem uma convergência esperada em relação ao comportamento espectral dos alvos. Entre a revisão literária, destaca-se as similaridades aos índices de albedo encontrados por Rosenberg et al (1983) para solos de areia seca (0,25 – 0,45) e por Allen *et al.* (2002) que encontrou valores de albedo para duas condições de solos: do tipo areia branca e amarelada variando entre 0,34 – 0,40, e solos na condição de areia cinzenta a branca, com valores entre 0,18 – 0,23.

Apesar dos resultados promissores, com variações entre as medições com a bancada móvel e o sensoriamento remoto de 4% e 9% nos locais PT1 – Neópolis e PT2 – Mãe Luiza respectivamente, é importante mencionar que por se tratar de um estudo inicial para verificar a possibilidade de validação das medições por sensoriamento remoto por meio de uma bancada móvel. Os locais foram selecionados somente baseados no potencial de albedo identificados por meio do sensoriamento remoto e dentro dos limites do município da cidade de Natal, considerada uma cidade densamente urbanizada, impossibilitando a ocorrência de outros ambientes naturais não edificados que servisse de mais pontos para validar. Sugerimos que novas análises sejam realizadas em locais com ampla área para permitir uma maior resolução nos dados de sensoriamento remoto.

Considera-se a continuidade do estudo devido ao grau de importância no âmbito da escolha de áreas para a instalação de projetos fotovoltaicos com a utilização de módulos bifaciais, incluindo para os próximos estudos a coleta de solos em campo para caracterização, com vista a discriminar solos com texturas diferentes, pois os solos podem ser variáveis em uma mesma classe e podem possuir características diferentes, como fora apresentado neste estudo.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao ISI-ER pelo apoio no desenvolvimento deste trabalho, à Petrobras pelo aporte financeiro no âmbito do projeto ANEEL PD-0553-0017/2011 e à CTG Brasil pelo custeio da bolsa de pesquisa e aporte financeiro atual no âmbito do projeto ANEEL PD-10381-0620/2020.

REFERÊNCIAS

- Alvarez, C. A.; Stape, J. L.; Sentelhas, P. C.; Gonçalves, J. L. M.; Sparovek, G. 2013. Köppen's climate classification map for Brazil, Meteorologische Zeitschrift, vol. 22, n. 6. pp. 711-728.
- ASTM E1918-16. Standard Test Method for Measuring Solar Reflectance of Horizontal and Low-Sloped Surfaces in the Field. ASTM International, [s. l.], v. i, n. Reapproved 2015, 2016.
- Barreto, A. M. F.; Suguio, K.; Bezerra, F. H. R.; Tatum, S. H.; Yee, M.; Giannini, P. C. F. 2004. Geologia e geomorfologia do quaternário costeiro do estado do Rio Grande do Norte, Revista do Instituto de Geociências, vol. 4, n. 2, pp. 1-12.
- Bayless, D. 2005. Statistical Rejection of “Bad” Data—Chauvenet’s Criterion. Disponível em: <https://chetaero.files.wordpress.com/2016/11/chauvenet.pdf>. Acesso em Dez. 2021.
- Bezerra, F. H. R.; Amaro, V. E. Sensoriamento remoto aplicado à neotectônica da faixa litorânea oriental do estado do Rio Grande do Norte, IX SBSR – IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Santos.
- Callegare, A. O.; Lopes, C. R.; Souza, L. J.; Brizolla, M. C.; Honorata, V. 2011. Estudo sobre o albedo em diferentes tipos de superfície, 10p. Disponível em: http://meteorologia.florianopolis.ifsc.edu.br/formularioPI/arquivos_de_usuario/201022B.pdf. Acesso em Dez. 2021.
- Chavez, J. P. S. 1989. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data, Remote Sensing of Environment, v. 62, n. 3, pp. 451 – 479.
- Chen, S. C.; Herz, R. 1996. Estudos quantitativos e calibração radiométrica de dados digitais do Landsat-5, VIII SBSR – VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Salvador.
- Congedo, L. 2021. Semi-Automatic Classification Plugin: A Python tool for the download and processing of remote sensing images in QGI, The Journal of Open Source Software, vol. 6, n. 64, pp. 3172.
- EPE. Relatório Síntese Balanço Energético Nacional 2021. Balanço nacional de energia, [s. l.], 2021. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2021>. Acesso em Dez. 2021.
- IEA. Renewables – Global Energy Review 2021 – Analysis. Global Energy Review 2021, [s. l.], 2021. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2021>. Acesso em Dez. 2021.
- Greener. Estudo Estratégico Grandes Usinas Solares 2021. [S. l.: s. n.], 2021. Disponível em: <https://www.greener.com.br/estudo/estudo-estrategico-grandes-usinas-solares-2021/>. Acesso em Dec. 2021.
- Instituto Nacional de Meteorologia. 2021. Dados das séries temporais climáticas da Rede do INMET. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br>. Acesso em Set 2021.

- Lindsay, A.; Chioldetti, M.; Dupeyrat, P.; Binesti, D.; Lutun, E.; Radouane K. Key elements in the design of bifacial PV power plants. 31st EU PVSEC, [s. l.], p. 1764–1769, 2015.
- Luque, A.; Cuevas, A.; Ruiz, J. M. DOUBLE-SIDED n⁺ -p-n⁺ SOLAR CELL FOR BIFACIAL CONCENTRATION. *Solar Cells: Their Science, Technology, Applications and Economics*, [s. l.], v. 2, n. 2, p. 151–166, 1980.
- Matthew, M. W.; Adler-Golden, S.M.; Berk, A. S. C.; Richtsmeier, R. Y.; Levine, L. S.; Bernstein, P. K.; Acharya, G. P.; Anderson, G. W.; Felde, M. P.; Hoke, A.; Ratkowski, H. H.; Burke, R. D.; Miller, D. P. 2000. Status of Atmospheric Correction Using a MODTRAN4-based Algorithm. *SPIE Proceedings, Algorithms for Multispectral, Hyperspectral, and Ultraspectral Imagery*, vol. 6, n. 4049, pp. 199-207.
- Otterman, J. 1977. Anthropogenic impact on the albedo of the earth, *Climate Change*, vol 1, pp. 137-155.
- PV Lighthouse, c2021. Solar Path Calculator - Version 1.1, 20-August-2013. Disponível em: <https://www.pvlighthouse.com.au/calculator-map>. Acesso em Dec. 2021.
- Rocha, A. V.; Oliveira, C. C. A.; Lima, J. A. R.; Paula, J. C. O.; Souza, S. S. 2012, VII CONNEPI – VII Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação, Palmas.
- Rosenberg, N. J.; Blad, B. L.; Verma, S. B. 1983. *Microclimate: the biological environment*. 2^a ed. Wiley-Interscience, New York.
- Sanches, I. D.; Andrade, R. G.; Quartaroli, C. F.; Rodrigues, C. A. G. 2011. Análise comparativa de três métodos de correção atmosférica de imagens Landsat 5 - TM para obtenção de reflectância de superfície e NDVI, XV SBSR – XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Curitiba.
- Sousa Júnior, J. G. A.; Demattê, J. A. M.; Genú, A. M. 2008. Comportamento espectral dos solos na paisagem a partir de dados coletados por sensores terrestre e orbital, *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 32, pp. 727-738.
- Silva, B. B.; Braga, A. C.; Braga, C. C.; Oliveira, L. M. M.; Montenegro, S. M. G. L.; Barbosa Júnior, B. 2018. Procedures for calculation of the albedo with OLI-Landsat 8 images: application to the Brazilian semi-arid, *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 20, n. 1, pp. 3 – 8.
- VDMA. International Technology Roadmap for Photovoltaic - 2020 Results. VDMA, [s. l.], v. 12th Ed., n. March 2021, 2021. Disponível em: <https://itrpv.vdma.org>. Acesso em Dez. 2021.
- Wang, T.; Shushi, P.; Krinner, G.; Ryder, J.; Li, Y.; Nédélec, S. D.; Otlé, C. 2015. Impacts of satellite-based snow albedo assimilation on Offline and Coupled Land Surface Model Simulations, *Plos One*, 0137275, pp. 1 – 9.
- Wang, Z.; Erb, A. M.; Schaaf, C. B.; Sun, Q.; Liu, Y.; Yang, Y.; Shuai, Y.; Casey, K. A.; Román, M. O. 2016. Early spring post-fire snow albedo dynamics in high latitude boreal forest using Landsat-8 OLI data, *Remote Sensing of Environment*, vol. 185, pp. 71-83.

COMPARATIVE ANALYSIS BETWEEN SATELLITE-DERIVED SPECTRAL ALBEDO AND FIELD ALBEDO MEASUREMENTS: A CASE STUDY FOR PORTABLE ALBEDO BENCH VALIDATION

Abstract. *Perusing to increase the specific production (MWh/MWp), a large part of the new photovoltaic projects is adopting bifacial photovoltaic modules, capable of performing the energy conversion on both sides of the module, taking advantage of reflected solar radiation (albedo) by the ground cover. Therefore, when selecting a site to receive a new photovoltaic plant, it is of extreme importance to be in a place with a ground cover that already offers a high albedo value. Using remote sensing to find the albedo of a site has the advantage of having a relatively low cost to filter places of interest, in addition to allowing the imaging of large areas that are difficult to reach or lacking in information. However, installing fixed stations to confirm these measurements are relatively expensive due to the requirement of advanced equipment. This work proposes to use a portable albedo measurement bench as an intermediate between these two steps, measuring by remote sensing and validation with fixed stations. With a portable bench, it would be possible to validate several previously identified points of interest and limit the installation of fixed stations for a high temporal resolution campaign only to the places of high potential albedo previously measured in the field with the portable bench.*

Key words: *Albedo, Remote Sensing, Albedo Measurement Bench*