

ASPECTOS ENERGÉTICOS DO DESENVOLVIMENTO DO CAFÉ CONILON NO NORTE FLUMINENSE. PARTE 1 - BALANÇO DE RADIAÇÃO

 <https://doi.org/10.56238/arev6n3-304>

Data de submissão: 22/10/2024

Data de publicação: 22/11/2024

José Carlos Mendonça

Doutor em Produção Vegetal, Professor Associado, Laboratório de Engenharia Agrícola - Leag, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF, Campos dos Goytacazes, RJ
E-mail: mendonca@uenf.br

Mateus Peixoto Pires

Mestre em Produção Vegetal, Laboratório de Engenharia Agrícola - Leag, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF
E-mail: meteuspeixo1@gmail.com

Elias Fernandes de Sousa

Doutor em Produção Vegetal, Professor Titular, Laboratório de Engenharia Agrícola - Leag, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF
E-mail: efs@uenf.br

Jean Karlos Barros Galote

Doutor em Produção Vegetal, Laboratório de Engenharia Agrícola- Leag, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF
E-mail: jean-karlos10@hotmail.com

Thieres George Freire da Silva

Doutor em Meteorologia, Professor Associado da Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, Serra Talhada, PE
E-mail: thieres.silva@ufrpe.br

Dhiego da Silva Sales

Mestre em Engenharia Ambiental. Instituto Federal Fluminense, Campos dos Goytacazes, RJ
E-mail: dhiego.sales@outlook.com

Daniela Barros de Oliveira

Doutora em Ciências, Professora Associada, Laboratório de Tecnologia de Alimentos – LTA, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF, Campos dos Goytacazes, RJ
E-mail: dbarrosoliveira@uenf.br

RESUMO

O café Conilon representa boa parcela da cafeicultura brasileira e é fundamental o entendimento de como a cultura se relaciona com a energia disponível no ambiente. Devido a isso, buscou-se com este trabalho determinar os componentes do saldo de radiação da cultura do cafeeiro Conilon na região Norte Fluminense durante sete safras. O experimento foi conduzido em um campo de cultivo na área pertencente à Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, em Campos dos Goytacazes, RJ, que contém uma estação micrometeorológica que monitorou os dados ambientais entre junho de 2015 a maio de 2022. De posse dessas informações, realizou-se o balanço de radiação. Os dados de

produtividade foram obtidos pelo produto da massa dos frutos frescos e a quebra de massa do produto beneficiado. A radiação global (R_g), que varia conforme a estação do ano, foi o principal componente de Balanço de ondas longas (BOL), fator de maior influência na variação da radiação líquida (R_n), uma vez que o BOL apresentou baixas intensidades e variações. Em média o albedo sobre o estande foi de 12% e a fração de R_g convertida em R_n foi 64%. Concluiu-se que a região é climaticamente apta à cultura e que a produção média foi produzido 0,08 g de café por MJ de energia líquida.

Palavras-chave: Coffea Canephora. Radiação de Ondas Curtas. Balanço de Radiação Fluxo de Calor.

1 INTRODUÇÃO

O estudo da interação dos cafezais com a radiação solar é de suma importância para um melhor entendimento e condução dos cultivos, uma vez que é essa que fornece energia para o processo fotossintético, e ainda modulam vários outros processos fisiológicos vegetais. Ademais, além de ser fonte energética para os vegetais, a energia solar também afeta outras variáveis climáticas como a temperatura do ar e do solo, umidade relativa do ar e precipitação pluviométrica, que por sua vez impactam diretamente a produtividade vegetal (Mares et al., 2021). Com o uso do balanço de radiação, é possível calcular fluxo de energia solar no ambiente produtivo, por meio do balanço de ondas curtas (BOC) em adição ao balanço de ondas longas (BOL) (Querino et al., 2022). O balanço de energia se fundamenta no princípio da conservação de energia, que nesse caso entra no sistema na forma de radiação. O particionamento desta permite quantificar a assimilação de carbono, temperatura do dossel e a necessidade de água para a cultura em função das fases de seu desenvolvimento, entre outros parâmetros (Veloso et al., 2020; Acharya e Sharma, 2021). No Brasil e no mundo há trabalhos acadêmicos que envolvem o estudo de variáveis atmosféricas e o comportamento fisiológico do cafeeiro (Costa et al., 2019; Angelo et al., 2019; Holwerda e Meesters, 2019). Alguns trabalhos consideram em seus estudos o saldo de radiação do cafeeiro consorciado à outras culturas como banana (Pezzopane et al., 2005), noqueira macadâmia (Pezzopane et al., 2010), seringueira (Araújo et al., 2016), *Erythrina poeppigiana* (Vezy et al., 2018), dentre outras. O presente trabalho teve por objetivo determinar o balanço de radiação sobre a cultura do cafeeiro Conilon a partir de dados de uma estação micrometeorológica na Região Norte Fluminense.

A radiação solar global é um elemento meteorológico de extrema importância, pois fornece energia para a vaporização da água (Gentil, 2010). A irradiância solar é a principal fonte de energia para toda a biosfera (Pinto et al., 2022), sendo que os vegetais têm a capacidade de converter a energia eletromagnética, proveniente do sol, em energia química na forma de carboidrato.

O Sol fornece a maior parte da energia utilizada na evapotranspiração, e devido a isso, o saldo de radiação ou radiação líquida (R_n) é um dos elementos meteorológicos principais no controle da evapotranspiração (Rosenberg et al., 1983; Pinto et al., 2022).

Esse saldo é a energia líquida disponível para que ocorram os processos físicos de vaporização da água tanto do interior dos estômatos (transpiração) quanto nas superfícies do solo e do vegetal (evaporação). O balanço de radiação é realizado somando o Balanço de Ondas Curtas e o Balanço de Ondas Longas (Querino et al., 2022).

Querino et al. (2017) citam que o Balanço de Ondas Curtas é dado pela diferença entre a Radiação Solar Global, que é a fração da Radiação Solar Extraterrestre que chega à superfície e a

Radiação Solar Refletida e que este último se dá em função do albedo da superfície que está recebendo a irradiação solar.

O albedo da superfície varia em função da rugosidade, coloração e nível de umidade da superfície, sendo que quanto mais escura, rugosa e úmida for a superfície, como um ambiente florestal, menor será seu valor e então mais energia ficará disponível a aquele ecossistema (Fernandes et al., 2021). Além disso, esse albedo também é influenciado pela inclinação solar e pela nebulosidade (André et al., 2010a; Schöffel et al., 2021).

Considera-se ondas curtas as de comprimento entre 30 nm e 300 nm (Bergamaschi e Bergonci, 2017). Segundo Cui et al. (2012), esse tipo de radiação é fundamental para estudos quanto à fotossíntese, aquecimento do ar e solo, evaporação e evapotranspiração.

Já o Balanço de Ondas Longas é a contribuição da radiação atmosférica, onde as partículas em suspensão emitem radiação proporcional a sua temperatura e emissividade (Krieger et al., 2020). Considera-se ondas longas as que têm comprimento acima de 300 nm (Bergamaschi e Bergonci, 2017).

Como a superfície dos cultivos também emite ondas longas, o balanço é feito pela diferença das ondas recebidas pela atmosfera e emitidas pelo vegetal, no caso de estudos agrometeorológicos. Dessa forma, o comportamento das ondas longas depende dos gases atmosféricos, temperatura do ar da superfície e é fundamental no entendimento das trocas de calor (Aguilar et al., 2015).

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi realizado em um campo de cultivo já existente em área pertencente à estação evapotranspirométrica da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF, localizada nas dependências do Centro Estadual de Pesquisas em Agroenergia e Aproveitamento de Resíduos – CEPEAA, da Empresa de Pesquisas Agropecuária do Estado do Rio de Janeiro PESAGRO-RIO, em Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil, em coordenadas geográficas 21° 24' 48" de latitude Sul e 41° 44' 48" de longitude Oeste e 14 m de altitude, referidas ao Datum WGS84.

Segundo a classificação climática de Köppen, o clima da região é classificado como Aw, isto é, clima tropical úmido, com verão chuvoso, inverno seco e temperatura média do ar no mês mais frio superior a 18°C. Segundo a última normal climatológica do município (1991-2020), a temperatura média situa-se em torno de 24,6°C, com uma precipitação média anual de 981,6 mm, sendo comum a presença de veranicos nos meses de janeiro e fevereiro (INMET, 2023).

Dados da radiação solar incidente, radiação líquida, temperatura e umidade relativa máxima e mínima do ar, precipitação pluviométrica, velocidade e direção do vento, dentre outros, foram obtidos por meio de uma estação micrometeorológica instalada sobre o dossel vegetal do cafeeiro.

O solo da área experimental apresenta topografia plana e é classificado como Neossolo Flúvico Tb Distrófico, segundo o sistema brasileiro de classificação de solo da EMBRAPA (1999).

O espaçamento utilizado entre os cafeeiros é de 2,5 m entre linhas e 1,5 m entre plantas na linha, totalizando uma área de 22,5 m² por subparcela e área útil da subparcela com 15 m². Cada subparcela constitui-se de seis plantas, sendo as duas das extremidades consideradas bordaduras (Figura 1). A área experimental total foi de 1260 m².

Os genótipos utilizados são clones da variedade Vitória: o clone 02 com ciclo precoce, e os clones polinizadores foram: clone 3V (ciclo médio), clone 6V (ciclo médio), clone 11V (ciclo precoce) e clone P2 (ciclo médio). A utilização dos materiais genéticos distintos na mesma área é devido a característica de *C. canephora* de fecundação cruzada (Venancio et al., 2020).

Figura 1: Vista aérea do arranjo das plantas e espaçamentos na área experimental, Campos dos Goytacazes, RJ. Fonte: Prof. José Carlos Mendonça.



As plantas foram transplantadas para o local em maio de 2014, e as avaliações descritas no presente estudo foram realizadas de 01 de junho de 2015 a 31 de maio de 2022. O ciclo produtivo foi considerado do início de junho de um ano ao final de maio do ano seguinte.

No início do cultivo, determinou-se a calagem por meio do Método de Saturação por bases e buscou atingir o valor de 70%, e para isso se utilizou aplicação superficial de calcário dolomítico 90

dias antes do transplântio. A adubação foi feita em covas, com a incorporação de 200 g de superfosfato simples, 5,0 L de esterco de curral e 20 g de formulado com micronutrientes FTE – BR 12, que contém 1,8% de B, 0,8% de Cu, 2,0% de Mn, 9,0% de Zn e 1,0% de S, conforme a recomendação para cultura (Garcia et al., 2022; Prezotti, 2014).

Os tratos culturais e fitossanitários foram realizados de acordo com as recomendações técnicas da cultura. (Ferrão, et al., 2017). A colheita do cafezal foi realizada em torno do mês de maio de cada ano e após, foi realizado o esqueletamento das plantas, de forma a prepará-las para o próximo ciclo produtivo.

O cultivo foi irrigado por gotejamento, e as lâminas de irrigação foram calculadas com base na ET_0 , calculada pelo método de Penman-Monteith (Allen et al., 1998) com base nos dados provenientes de estação meteorológica próxima à área de cultivo.

Na área experimental foi instalada uma estação micrometeorológica para medidas de radiação solar global e radiação solar refletida, saldo de radiação, temperatura e umidade relativa do ar, velocidade e direção do vento e fluxo de calor no solo.

Para as medidas da radiação solar global (R_g) e a radiação refletida (R_r) pela superfície foram utilizados dois piranômetros modelo LI-200X Li-Cor, Lincoln, NE, USA, sendo um com a face voltada para cima e o outro com a face voltada para baixo. Já o saldo de radiação (R_n) foi obtido por um saldo radiômetro modelo NR-Lite Kipp e Zonen Campbell Scientific Inc., Logan, Utah, USA. Os piranômetros e o saldo radiômetro foram posicionados 0,5 m acima do dossel dos cafeeiros.

Os dados de temperatura e umidade relativa do ar foram obtidos por meio de sondas modelo HMP45C-L, Vaisala, Helsinki, Finland, enquanto a velocidade e direção do vento foram medidas por dois anemômetros de conchas modelo Met One 03002 - L R. M. Young Wind Sentry Set, Campbell Scientific Inc., Logan, Utah, USA. Tanto as sondas quanto os anemômetros foram instalados 0,5 m e 2,5 m acima da copa, para que fosse possível a obtenção de um gradiente de temperatura, umidade do ar e velocidade do vento. Utilizou-se também três fluxímetros modelo HFP01SC-L Hux Flux Thermal Sensors, Campbell Scientific Inc., Logan, Utah, USA, a 0,02 m de profundidade, para contabilizar o fluxo de calor no solo (G).

Os dados foram coletados a cada minuto e armazenados em valores médios a cada 15 minutos por um coletor de dados modelo CR1000 da Campbell Scientific Inc., Logan, Utah, USA.

Por meio da razão entre a irradiância solar refletida e incidente médias horárias é possível obter o albedo, o qual foi calculado pela Equação 1:

$$\alpha = \frac{R_r}{R_g} \quad \text{Eq. 1}$$

Em que:

α é o albedo, adimensional;

R_r é a radiação solar refletida, MJ.m⁻².dia⁻¹;

R_g é a radiação solar incidente, MJ.m⁻².dia⁻¹.

Para o albedo diário, considerou-se apenas as médias dos albedos entre 11h e 13h, como feito por André et al. (2010a), momento em que os raios solares estão incidindo com menor ângulo zenital.

Também foram calculados os coeficientes angulares (a) e linear (b) da regressão entre o saldo de radiação (Rn) e a diferença entre R_g e R_r , de acordo com André et al. (2010a). A partir dos coeficientes da regressão foi calculado o coeficiente de troca de onda longa (λ_L), parâmetro referente às propriedades térmicas do ar, por meio da Equação 2:

$$\lambda_L = a - 1 \quad \text{Eq. 2}$$

Em que:

λ_L é o coeficiente de troca de onda longa, adimensional;

a é o coeficiente angular da regressão entre Rn e (Rg-Rr).

Ainda a partir da regressão relatada acima, foi calculado o coeficiente térmico (β_L), parâmetro relacionado às propriedades térmicas da superfície, por meio da Equação 3:

$$\beta_L = \frac{1 - a}{a} \quad \text{Eq. 3}$$

Em que:

β_L é o coeficiente térmico, adimensional;

a é o coeficiente angular da regressão entre Rn e (Rg-Rr).

A transmissividade atmosférica (Kt) indica o quanto as partículas na atmosfera influenciam na radiação solar que chega à superfície e foi calculada pela Equação 4, conforme André et al. (2010a):

$$Kt = \frac{R_g}{R_a} \quad \text{Eq. 4}$$

Em que:

K_t é a transmissividade atmosférica;

R_g é a radiação solar incidente, em $\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$;

R_a é radiação solar no topo da atmosfera, $\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$.

O $K_t < 0,4$ indica dia com alta nebulosidade; $0,4 \leq K_t < 0,6$, representa dia com céu parcialmente nublado, enquanto $K_t \geq 0,6$ demonstra condições de céu claro e com baixa nebulosidade (Querino et al., 2022).

A radiação solar no topo da atmosfera foi calculada pela Equação 5 descrita por Alves e Vianello (2004):

$$Ra = S_0 \left(\frac{D'}{D} \right)^2 \cos Z \quad \text{Eq. 5}$$

Em que:

R_a é radiação solar no topo da atmosfera, $\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$;

S_0 é constante solar, em $\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$;

D' é a distância terra-sol;

D'/D é o fator de correção devido à excentricidade da órbita da terra;

Z é o ângulo zenital, em $^\circ$.

O balanço de ondas curtas foi calculado com base na equação 6:

$$BOC = R_g (1 - \alpha) \quad \text{Eq. 6}$$

Para obtenção do balanço de ondas longas, calculou-se a diferença entre o saldo de radiação e saldo de ondas curtas, tal qual André et al. (2010a), como demonstrado na equação 7:

$$BOL = R_n - BOC \quad \text{Eq. 7}$$

Em que:

ΔL é o saldo de ondas longas, em $\text{MJ m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$;

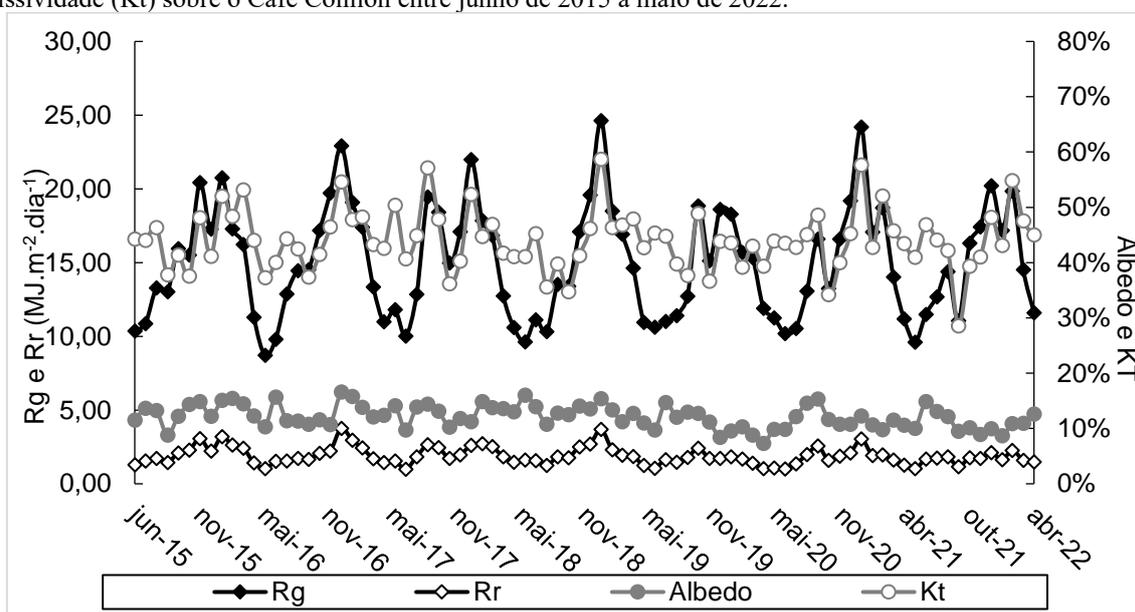
α é o albedo da superfície;

R_g é a radiação solar global, em $\text{MJ m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A radiação solar é a principal fonte de energia para a biosfera e devido a isso é fundamental o entendimento de como essa variável climática se comporta (Pinto et al., 2022). Para isso, na Figura 4 estão apresentadas as médias mensais de radiação solar global (Rg), radiação solar refletida (Rr), assim como albedo e o coeficiente de transmissividade (Kt) na área experimental no período de junho de 2015 a maio de 2022.

Figura 2: Médias mensais de radiação solar global (Rg), radiação solar refletida (Rr), albedo e coeficiente de transmissividade (Kt) sobre o Café Conilon entre junho de 2015 a maio de 2022.



Ao se observar a Figura 2 é possível notar que a radiação solar global apresenta maiores valores nos primeiros meses do ano, reduz sua intensidade com o passar dos meses, até apresentar seus mínimos nos meses medianos e então passa a se intensificar até chegar aos seus valores máximos no ano subsequente, assim como a temperatura. Essa semelhança nos padrões é em função da radiação solar exercer forte influência sobre a temperatura do ar (Azeez, 2022). Já a variação da radiação é explicada pela latitude e pelos fatores astronômicos (declinação solar e translação terrestre), além da composição atmosférica (Querino et al., 2022).

O valor máximo de Rg observado foi 24,64 MJ.m⁻².dia⁻¹, em janeiro de 2019, o que indica uma alta demanda atmosférica por umidade. Também pode-se observar outros picos de radiações solar mensal em dezembro de 2016 e em janeiro de 2021 (22,92 MJ.m⁻².dia⁻¹ e 24,19 MJ.m⁻².dia⁻¹, respectivamente), o que pode ser explicado pela nebulosidade ligeiramente maior, indicada por um menor coeficiente de transmissividade.

Pode-se observar que na transição de 2015 para 2016, de 2017 para 2018, de 2019 para 2020 e de 2021 para 2022 houve uma oscilação no comportamento da incidência de radiação solar, o que fez que ela não atingisse picos mais altos. Esse fato também é explicado pela transmissividade atmosférica e pela pluviosidade da região, comum para época, por se tratar do período chuvoso da região (Mendonça et al., 2021).

O valor mínimo de R_g obtido durante o experimento foi de $8,71 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, em junho de 2016 em função de uma menor incidência de radiação solar extraterrestre, por fatores astronômicos, combinada a um K_t de 37%, abaixo da média dos meses de junho (43%). Normalmente os menores valores de R_g são observados em junho, exceto no ano de 2017, que teve julho mês de menor incidência solar.

O coeficiente de transmissividade representa a influência da atmosfera sobre a radiação solar incidente sobre a superfície, por meio das partículas em suspensão no ar, que aumentam sua opacidade atmosférica (Querino et al., 2022). Dessa forma, pode ser usado para mensurar a nebulosidade, assim como feito por André et al. (2010a). Durante o período experimental, o K_t médio foi de 44%, condição classificada como parcialmente nublada ($40\% > K_t > 60\%$).

Nem mesmo o mês com maior K_t médio, janeiro de 2019, obteve classificação como céu claro ($K_t > 60\%$), atingindo apenas 59%. Por outro lado, o menor K_t observado foi 29%, em outubro de 2021, e foi classificado como nublado, assim como 17 dos 84 meses avaliados. Pode-se notar ainda que K_t varia de maneira semelhante ao R_g , sobretudo nos meses de maior incidência solar, enquanto nos meses de menor radiação global, ainda que essas variáveis continuem em fase, a intensidade da relação diminui. Este fato ocorre em decorrência da radiação solar extraterrestre (R_0) se tornar mais limitante nesses períodos.

Ao observar a radiação solar refletida (Figura 2), nota-se que o máximo valor obtido foi $3,76 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, em janeiro de 2017, enquanto o mínimo foi $0,99 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, em julho do mesmo ano. Apesar dos meses de que apresentaram valores máximos não coincidirem, assim como os meses de mínimas, é possível observar que R_g e R_r tem comportamento semelhantes, uma vez que a radiação refletida depende da incidente.

Contudo, a superfície também apresenta grande influência na reflexão da radiação, e para mensurar essa ação usa-se o albedo, que é a razão R_r/R_g . Mesmo sendo o principal fator, o albedo não depende apenas das características da superfície, mas também da inclinação da incidência dos raios, assim como da proporção de radiação direta e difusa que chegam a dada superfície (Ataide et al., 2020).

O albedo médio sobre o cultivo do café no período avaliado foi de 12,16%, dentro da faixa normal observada em cultivos agrícolas, cujas médias variam de 11% a 26% (Banerjee e Dutta, 2016; Ferreira et al., 2020; Bakanoğullari et al., 2022).

Na área experimental o albedo é influenciado pelo status hídrico do Conilon, seus ciclos fisiológicos (ciclo vegetativo e reprodutivo) e pelos tratos culturais aplicados no mesmo. Estes elementos podem influenciar a área foliar da cultura e a coloração das folhas, características que interferem na dinâmica da reflexão de radiação solar.

O maior valor de albedo foi 16,59%, obtido em janeiro de 2017, quando as plantas estavam em granação (enchimento) dos frutos, fase em que um grande incremento de matéria seca nos grãos (Ferrão et al., 2017).

O alto valor observado é em decorrência do déficit hídrico ao qual o cultivo foi submetido, haja vista que apesar de um volume considerável de chuva em janeiro de 2017 e nos meses anteriores, houveram 17 dias sem entrada de água no cultivo entre o fim de 2016 e o início de 2017, seja por irrigação, seja por precipitação. Esse conjunto de fatores causou perda de vigor foliar e amarelecimento, e ainda, superfícies mais secas tendem a ter cor mais clara que as úmidas, o que aumenta a reflexão da radiação solar das mesmas (Querino et al., 2006).

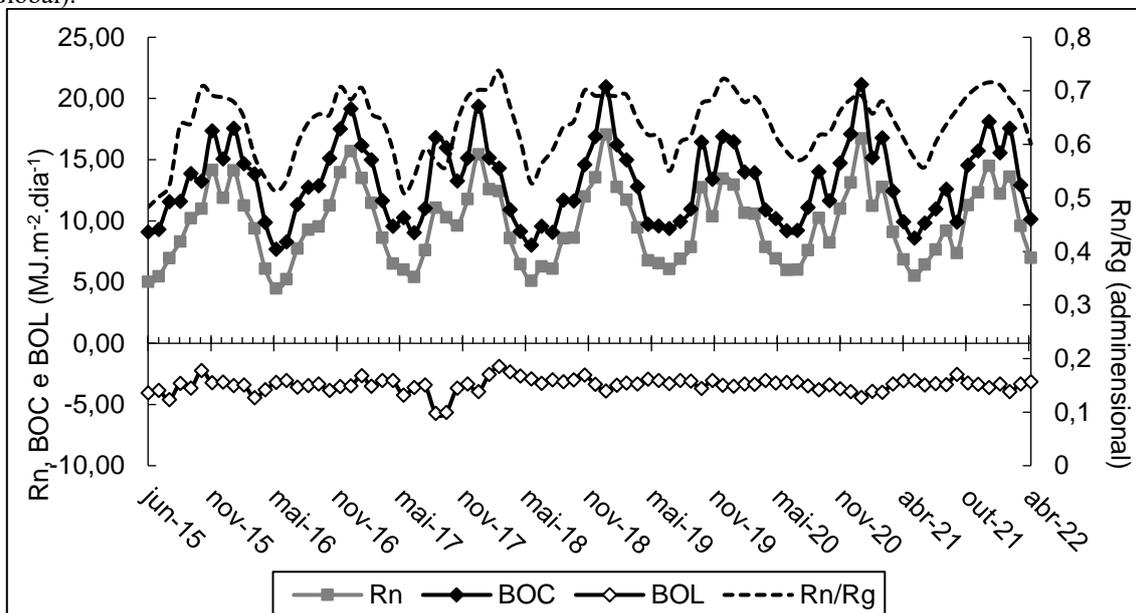
O menor albedo foi 7,32 %, em abril de 2020, momento em havia um acumulado de 455,3 mm nos últimos três meses, além acumulado de 87,6 mm durante o próprio mês de abril, o que indica alta disponibilidade hídrica para o cultivo. Ademais, os frutos estavam passando pela fase de maturação e as plantas estavam no seu porte máximo, antes de passar pela senescência de folhas do fim do período de maturação e da poda de esqueletamento realizada pós-colheita.

Assim o cultivo se apresentava vigoroso, com maior área foliar e com folhas de cor verde escura, características que contribuem para um maior aprisionamento de luz solar, o que diminui o albedo (Yuan et al., 2022).

No geral, pode-se perceber que grandes aumentos nos valores de albedo ocorrem durante período de estresses nas plantas, ou logo após estes. Normalmente, os incrementos agudos de albedo no período mais quente do ano é em função de estresse hídrico causado por pequenos veranicos, suplementação por irrigação, enquanto na época mais fria foi causado também por estresse hídrico. Menores valores de albedo implicam em maior saldo de radiação de onda curta, aumentando a energia líquida disponível para processos de aquecimento e evaporação da água.

Para um melhor entendimento do comportamento da disponibilidade de energia radiante para o cultivo, na Figura 3 estão apresentadas as médias mensais da radiação líquida (R_n), balanço de ondas curtas (BOC) , balanço de ondas longas (BOL) e a razão R_n/R_g .

Figura 3: Balanço de Radiação mensal sobre o Café Conilon entre junho de 2015 a maio de 2022. (Rn – Radiação líquida; BOC - Balanço de Ondas Curtas; BOL – Balanço de Ondas Longas; Rn/Rg – Razão entre o Saldo de Radiação e Radiação Solar Global).



Ao observar a Figura 3, pode-se notar que o BOC varia principalmente em razão do Rg, já que os valores de Rr apresenta valores de baixa intensidade, fato também observado por Querino et al. (2022). Dessa forma, o BOC apresentam maiores valores nos primeiros meses do ano, tendem a diminuir até junho ou julho, quando passam a aumentar novamente.

O valor médio de balanço de ondas curtas observado foi de $13,11 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, com máxima de $21,15 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, em janeiro de 2021. Por outro lado, o menor valor de BOC foi $7,67 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, obtido em junho de 2016, mês em que o Rg também foi mínimo.

O Balanço de ondas longas, por sua vez, é a diferença entre a radiação infravermelha emitida pela atmosfera (R_a), que varia em função da composição atmosférica e temperatura do ar, e a radiação infravermelha emitida pela superfície (R_s), que depende da temperatura e emissividade da superfície (Querino et al., 2020; Querino et al., 2022).

O BOL apresentou valores mensais negativos durante todo o experimento, o que indica que este contribuiu com a saída de energia do ambiente produtivo. O valor médio de BOL observado foi de $-3,42 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$. O máximo valor de BOL foi $-1,89 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, em março de 2018, o que pode ser explicado pela alto valor de R_a , que conta positivamente no saldo, o que torna o valor menos negativo.

No referido mês, observou-se UR acima da média para o mês de março (3,46 % maior), além de apresentar o maior acúmulo mensal de chuvas (271 mm), contudo, a temperatura do ar mostrou valores bem próximos da média do período ($26,54^\circ\text{C}$). Elevadas temperaturas do ar, maior quantidade

de vapor d'água na atmosfera, nebulosidade e precipitação têm relação direta com o aumento de Ra (Nyeki et al., 2019; Pinto et al., 2022; Querino et al., 2022).

Por outro lado, o mínimo valor de BOL de $-5,73 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, em setembro de 2017, mês em que mais houve saída energética do ambiente de cultivo por ondas longas. Nesse mês foi observada baixas nebulosidade (Kt de 57%) e UR (71,07%), o que indica baixa emissão de ondas longas da atmosfera, além de alto valor de Rg ($19,46 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$), o que faz com que as superfícies do solo e das plantas recebam mais energia e emitam mais radiação de onda longa (Rs).

Pode-se observar que BOL não apresenta um padrão bem definido de variação anual, uma vez que diversos fatores interferem, enquanto o BOC tem variação muito em função do Rg e Kt. Além disso, é possível notar que a amplitude e valor absoluto de BOL são muito inferiores que os do BOC.

Ainda conforme a Figura 3, o valor médio de radiação líquida observado durante o experimento foi de $9,69 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, com máxima de $17,05 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, em janeiro de 2019, quando o Rg também foi máximo e mínima de $4,46 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, em junho de 2016, juntamente ao mínimo Rg.

Como citado anteriormente, os valores máximos e mínimos observados são em razão da transmissividade atmosférica e fatores astronômicos, que impactam o BOC, que representa o fator mais influente no Rn. Veloso et al. (2020) também observaram que no verão maiores valores de Rn no verão e menores no inverno e atribuiu este fato à radiação solar global. Fernandes et al. (2021) relatam que além do Rg, a vegetação também é um fator que influencia o Rn, já que modificam o albedo e diminuem a temperatura superficial, reduzindo emissão de ondas longas, o que resulta em maior disponibilidade energética para o meio produtivo.

Para um melhor entendimento de quanto da energia incidente ficou disponível, a Figura 5 também apresenta a relação Rn/Rg. O valor médio dessa relação durante o experimento foi de 0,64, ou seja, 64% da energia solar incidente fica disponível para a superfície, proporção bem próxima da obtida por Querino et al. (2022), no semiárido alagoano.

Esta proximidade entre o resultado obtido por estes autores e o observado no presente trabalho é em função das semelhanças climáticas, uma vez que a região de Campos dos Goytacazes é classificada segundo a classificação climática de Thornthwait como sub-úmido seco, classificação próxima ao semiárido, estando, a região Norte Fluminense passando por um processo de crescimento dos indicadores de aridez (Mendonça, 2023).

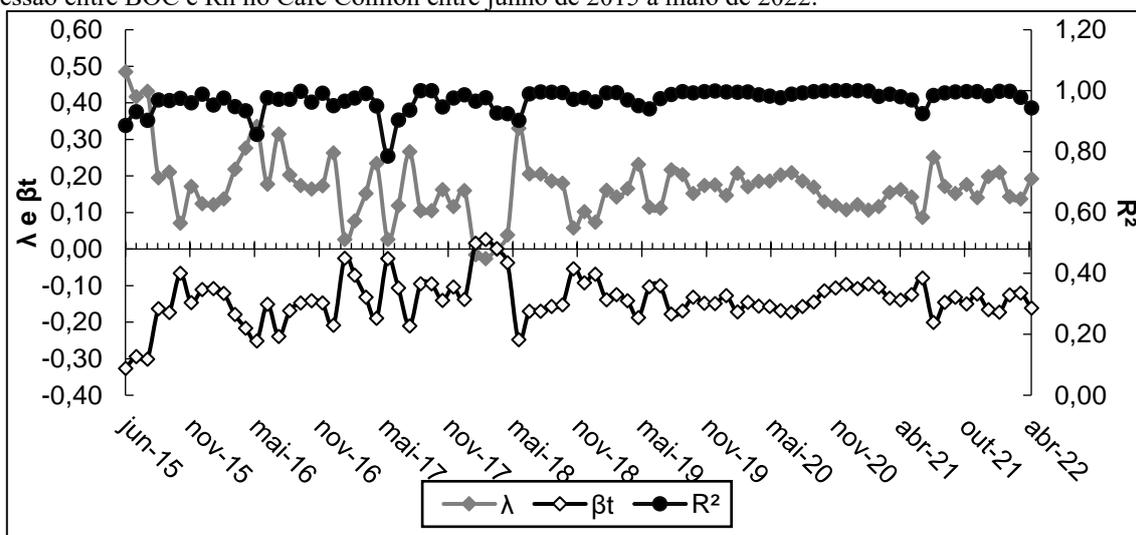
No período do experimento, o máximo valor de Rn/Rg foi 0,74, obtido em março de 2018, o que pode ser explicado pela menor saída energética do meio produtivo por meio das ondas longas. Por outro lado, a menor razão Rn/Rg foi de 0,48, em junho de 2015, quando o valor de BOL estava abaixo

da média durante o experimento ($-4,07 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$) e muito inferior aos meses de junho, os de menor radiação solar global.

A menor proporção obtida nesse mês é em razão da emissão de ondas longas acima da média em um mês de baixa incidência de radiação solar. Com isso, pode-se notar que, em virtude da baixa variação do albedo, o fator que mais altera a relação R_n/R_g é o balanço de ondas longas. De forma geral, durante os meses mais quentes e chuvosos a razão R_n/R_g é maior, quando comparados aos meses mais frios e secos, assim como observado por Querino et al. (2022).

Pelo coeficiente angular da regressão entre o balanço de ondas curtas (BOC) e o saldo de radiação (R_n) é possível calcular o coeficiente térmico (β_L) e o coeficiente de transformação em ondas longas (λ_L). Nesse estudo ambos coeficientes foram calculados mensalmente e estão apresentados na Figura 4, juntamente com os valores de coeficiente de determinação (R^2) da regressão entre o BOC e o R_n .

Figura 4: Coeficiente térmico (β_L), Coeficiente de transformação em ondas longas (λ_L) e Coeficiente de determinação (R^2) da regressão entre BOC e R_n no Café Conilon entre junho de 2015 a maio de 2022.



Na Figura 4 é possível notar que o coeficiente de determinação (R^2) das regressões que geraram os demais coeficientes sempre se manteve alto, apresentando como valor médio 0,97, o que indica um ótimo ajuste. O mês que apresentou menor valor foi junho de 2017, que teve o R^2 de 0,78, o que pode ter sido em função do BOC acima da média para o mês, enquanto o R_n foi menor que a média dos meses de junho. Essa variação foi em função da ausência de entrada de água no meio produtivo por 10 dias no referido mês, o que gerou um estresse hídrico no cafezal.

O λ_L está relacionado a propriedades térmicas do ar, enquanto o β_L está relacionado a propriedades térmicas da superfície e indica a parcela do saldo de radiação que é convertida em ondas

longas (André et al., 2010a), ou seja, λL tem relação com R_a e βL , com R_s . Segundo Azevedo et al. (2014) o aumento da área foliar é acompanhado pela diminuição de βL e aumento de λL , o que indica que a maior parcela do saldo de radiação está sendo convertida em calor latente.

De forma geral, pode-se observar que λL e βL têm comportamentos opostos, quase simétricos em relação ao eixo das abscissas, contudo λL apresenta maior amplitude que βL . Durante o período estudado, λL variou de -0,03 a 0,49, com média de 0,17, enquanto βL apresentou valores de -0,33 a 0,03, com média de -0,14.

O único período que βL foi maior que λL se deu de fevereiro a abril de 2018, o que indica que a emissão de ondas longas foi superior a conversão em calor latente. Neste período foi observado valores mais elevados de BOL (Figura 5), inclusive o maior valor obtido em todo período ($-1,89 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$). Na Figura 6 também é possível constatar uma maior variação no início do período avaliado, tendendo a ter variações mais suaves com o passar do tempo, o que pode ser em razão do melhor estabelecimento e maior maturidade fisiológica dos cafeeiros, além disso, no ano agrícola de 2017/2018, houve escassez hídrica no experimento devido aos problemas técnicos nos equipamentos de irrigação, o que pode ter afetado os parâmetros avaliados.

4 CONCLUSÕES

A radiação global (R_g), que varia conforme a estação do ano, foi o principal componente de Balanço de ondas longas (BOL), fator de maior influência na variação da radiação líquida (R_n), uma vez que o BOL apresentou baixas intensidades e variações. Em média o albedo sobre o estande foi de 12% e a fração de R_g convertida em R_n foi 64%. O BOL apresentou valores de grandezas muito menores que BOC, além de não variar com uma sazonalidade tão bem estabelecida quanto este. Além disso, observou-se influência dos fenômenos ENOS sobre as condições ambientais locais. Diante dos resultados, concluiu-se ainda que o município de Campos dos Goytacazes é apto ao cultivo do café Conilon, desde que manejado corretamente.

REFERÊNCIAS

- Acharya, B., e Sharma, V. (2021). Comparison of satellite driven surface energy balance models in estimating crop evapotranspiration in semi-arid to arid inter-mountain region. *Remote Sensing*, 13(9), 1822.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M. (1998). 301p. FAO Irrigation and drainage paper n°. 56. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 301p.
- Alves, A. R., e Vianello, R. L. (2004). Meteorologia básica e aplicações. Viçosa: Editora da UFV.
- André, R. G. B., Mendonça, J. C., Marques, V. D. S., Pinheiro, F. M. A., e Marques, J. (2010a). Aspectos energéticos do desenvolvimento da cana-de-açúcar. Parte 1: balanço de radiação e parâmetros derivados. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 25, 375-382.
- Angelo, P. C. S., Ferreira, I. B., de Carvalho, C. H. S., Matiello, J. B., e Sera, G. H. (2019). Arabica coffee fruits phenology assessed through degree days, precipitation, and solar radiation exposure on a daily basis. *International Journal of Biometeorology*, 63, 831-843.
- Aguilar, J. L. C., Gentle, A. R., Smith, G. B., e Chen, D. (2015). A method to measure total atmospheric long-wave down-welling radiation using a low cost infrared thermometer tilted to the vertical. *Energy*, 81, 233-244.
- Araújo, A. V., Partelli, F. L., Oliosi, G., e Pezzopane, J. R. M. (2016). Microclimate, development and productivity of robusta coffee shaded by rubber trees and at full sun. *Revista Ciência Agronômica*, 47, 700-709.
- Ataide, W. L. da S., de Oliveira, F. D. A., e Pinto, C. A. D. (2020). Balanço de radiação, energia e fechamento do balanço em uma floresta prístina na Amazônia oriental. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 13(06), 2603-2627.
- Azeez, L. (2022). Demonstration of Net Solar Radiation Geographical Behavior Revers Correlation with Relative Humidity in Iraq. *Iraqi Journal of Science*, 63(6), 2741-2754. <https://doi.org/10.24996/ijjs.2022.63.6.38>.
- Azevedo, P. V. D., Saboya, L. M., Dantas Neto, J., Oliveira, F. D. S., Bezerra, J. R., e Farias, C. H. D. A. (2014). Disponibilidade energética para a cultura da cana-de-açúcar nos tabuleiros costeiros do estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 18, 1031-1038.
- Bakanoğullari, F., Şaylan, L., e Yeşilköy, S. (2022). Effects of phenological stages, growth and meteorological factor on the albedo of different crop cultivars. *Italian Journal of Agrometeorology*. <https://doi.org/10.36253/ijam-1445>.
- Banerjee, S., e Dutta, P. (2016). Albedo Pattern Over Rice Field in Lower Gangetic Plains of West Bengal During Kharif and Boro Seasons. *Indian journal of applied research*, 5.
- Bergamaschi, H., e Bergonci, J. I. (2017). As plantas e o clima: princípios e aplicações. Guaíba: Agrolivros.

- Costa, J. D. O., Coelho, R. D., Barros, T. H. D. S., Fraga, E. F., e Fernandes, A. L. T. (2019). Leaf area index and radiation extinction coefficient of a coffee canopy under variable drip irrigation levels. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 41.
- Cui, Y., Liu, J., Hu, Y., Wang, J., e Kuang, W. (2012). Modeling the radiation balance of different urban underlying surfaces. *Chinese Science Bulletin*, 57, 1046-1054.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (1999). Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro: Embrapa, 412p.
- Fernandes, G. S. T., Lopes, P. M. O., de Melo, C. G. B., Lima, R. L. F., dos Santos, A., e de Oliveira Silva, D. A. (2021). Balanço de radiação em áreas de expansão agrícola no Sudoeste do Piauí. *Revista de Geociências do Nordeste*, 7(1), 13-20.
- Ferrão, R. G.; Fonseca, A.F.A.; Ferrão, M.A.G; Muner, L. H. (2017). Café Conilon. 2 ed. Vitória, ES : Incaper. 784 p.
- Ferreira, T., Silva, B., Moura, M., Verhoef, A., e Nóbrega, R. (2020). The use of remote sensing for reliable estimation of net radiation and its components: a case study for contrasting land covers in an agricultural hotspot of the Brazilian semiarid region. *Agricultural and Forest Meteorology*. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.108052>.
- Garcia, A. D. B., Mendonça, J. C., Almeida, C.M., Lazzarini, L. M., Ribeiro, C.C. (2022). Optimum economic irrigation levels of conilon coffee (*Coffea canephora*) in the North Fluminense Region, Brazil. *Journal of Agricultural Sciences Research*, V. 2, N. 2.
- Gentil, M. S. (2010) Transpiração e eficiência do uso da água em árvores clonais de Eucalyptus aos 4 anos em áreas com e sem irrigação em Eunápolis, Bahia. (Master's dissertation, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"). 71 p.
- Holwerda, F., e Meesters, A. G. C. A. (2019). Soil evaporation in a shaded coffee plantation derived from eddy covariance measurements. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 124, 1472–1490. <https://doi.org/10.1029/2018JG004911>.
- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Normais climatológicas – Período de 1991 – 2020. (2023). Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/normais>. Acesso em 17 de janeiro de 2023.
- Krieger, J. M., Vieira, I. S., da Silva, W. D. O. A., Souza, J. L., Lyra, G. B., e Lyra, G. B. (2020). Balanço de radiação utilizando métodos de estimativa da radiação solar em cultivo de cana-de-açúcar. *Agrometeoros*, 27(1).
- Mares, C., Mares, I., Dobrica, V., e Demetrescu, C. (2021). Quantification of the Direct Solar Impact on Some Components of the Hydro-Climatic System. *Entropy*, 23. <https://doi.org/10.3390/e23060691>.
- Mendonça, J. C. (2023) Índices hídricos, de aridez e de umidade na região norte do estado do Rio de Janeiro. In: Guedes, D. M.; da Silva, L. F. e de Oliveira, V. C. Avances científicos y tecnológicos en ciencias agrícolas 3. 1ed. Ponta Grossa: Atena Editora, v. 3, p. 8-20.

- Mendonça, J. C., Garcia, A. D. B., e de Almeida, C. M. (2021). Efeito de diferentes lâminas de irrigação na uniformidade de grãos moça do café Conilon, em Campos dos Goytacazes, RJ. *IRRIGA*, 26(2), 411-421.
- Nyeki, S., Wacker, S., Aebi, C., Gröbner, J., Martucci, G., e Vuilleumier, L. (2019). Trends in surface radiation and cloud radiative effect at four Swiss sites for the 1996–2015 period. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 19(20), 13227-13241.
- Pezzopane, J. R. M., Pedro Júnior, M. J., e Gallo, P. B. (2005). Radiação solar e saldo de radiação em cultivo de café a pleno sol e consorciado com banana'Prata Anã. *Bragantia*, 64, 485-497.
- Pezzopane, J. R. M., Marsetti, M. M. S., Souza, J. M. D., e Pezzopane, J. E. M. (2010). Condições microclimáticas em cultivo de café Conilon a pleno sol e arborizado com noqueira macadâmia. *Ciência Rural*, 40, 1257-1263.
- Pinto, J. V. D. N., Costa, D. L. P., Nunes, H. G. G. C., Silva Junior, A. C. D., Sousa, A. M. L. D., Souza, P. J. D. O. P. D., e Ortega-Farias, S. (2022). Radiation Balance and Partitioning of Latent and Sensible Heat Fluxes over a Lime Orchard in Eastern Amazon. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 37, 491-502.
- Prezotti, L.C. (2014) Sistema de recomendação de calagem e adubação. Disponível em: Acesso em 25/01/2016.
- Querino, C. A. S., Biudes, M. S., Machado, N. G., Querino, J. K. A. da S., Moura, M. A. L., e Alves, P. V. (2020). Modelling parametrization to estimate atmospheric long wave radiation in the Northern Mato Grosso, Brazil. *Ciência E Natura*, 42, e105. <https://doi.org/10.5902/2179460X41205>.
- Querino, C. A. S., Júnior, J. M. L., e Moura, M. A. L. (2022). Balanço de Radiação no Bioma Caatinga no Semiárido Alagoano. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 15(06), 2715-2729.
- Querino, C. A. S., Muirdes, M. S., Machado, N. G., da Silva Querino, J. K. A., Neto, L. A. S., Silva, M. J. G., ... e Nogueira, J. (2017). Balanço de ondas curtas sobre floresta sazonalmente alagável do Pantanal Mato-Grossense. *Revista Brasileira de Climatologia*, 20.
- Schöffel, E. R., dos Santos, P. M., da Rosa Maciel, L., e Herter, F. G (2021). Fluxos de energia radiante em cultivos de amora-preta 'Tupy'. *Revista caminhos de geografia*. V 22, N8. 169-181.
- Veloso, G. A., da Silva, L. A. P., e Ferreira, M. E. (2020). Análise do balanço de radiação e energia em áreas de veredas no norte de Minas Gerais, bioma Cerrado. *Cerrados*, 18(1), 220-247.
- Vezy, R., Christina, M., Roupsard, O., Nouvellon, Y., Duursma, R., Medlyn, B., ...e Le Maire, G. (2018). Measuring and modelling energy partitioning in canopies of varying complexity using MAESPA model. *Agricultural and forest meteorology*, 253, 203-217.
- Yuan, S., Wang, Y., Zhang, H., Zhao, J., Guo, X., Xiong, T., Li, H., e Zhao, H. (2022). Blue-Sky Albedo Reduction and Associated Influencing Factors of Stable Land Cover Types in the Middle-High Latitudes of the Northern Hemisphere during 1982-2015. *Remote. Sens.*, 14, 895. <https://doi.org/10.3390/rs14040895>.