



Método simplificado para quantificar a demanda relativa de luz de plantas para pautar a consorciação de espécies

Simplified method to quantify plant relative light demand to guide intercropping

TABOADA, Júlia Kuse¹; ANDRADE, Caio Bustani²; SANTOS, Izabela Marques dos³; SIDDIQUE⁴, Ilyas.

¹ Universidade Federal de Santa Catarina, julia.kuse97@gmail.com; ² Universidade Federal de Santa Catarina, cbagronomo@gmail.com; ³ Universidade Federal de Santa Catarina, izmarquess7@gmail.com; ⁴ Universidade Federal de Santa Catarina, ilysid@gmail.com

RESUMO EXPANDIDO

Eixo Temático: Manejo de Agroecossistemas

Resumo: O consórcio de espécies com diferentes demandas de luz é uma estratégia agroecológica que permite o uso eficiente do espaço. A seleção de espécies é feita com base na experiência dos produtores agroflorestais, porém, muitas vezes essas informações divergem, pois são originadas de observações em contextos ambientais diferentes. Uma forma de estimar a capacidade de sobrevivência e crescimento de uma espécie é através do ponto de compensação de luz da planta inteira, que pode ser estimado através do Índice de Área Foliar (IAF). Neste trabalho buscamos um método semi automatizado de processamento de imagens hemisféricas para obter valores de IAF, de forma a utilizá-los em modelos estatísticos como preditores do crescimento de plantas. No processamento, o canal GLA foi o de melhor performance, com uma alta capacidade de distinguir a vegetação. Os modelos com crescimento em altura e crescimento em área basal como resposta diferiram do modelo nulo a partir do resultado do teste de permutação.

Palavras-chave: índice de área foliar; fotos hemisféricas; sistemas agroflorestais; tolerância à sombra.

Introdução

A adoção de técnicas e manejos agroecológicos é uma estratégia para obter sistemas produtivos complexos, que promovem a saúde do ecossistema e geram renda (ALTIERI, 2004). O manejo agroecológico busca, entre outras, o uso otimizado dos recursos, aumentando a produtividade global e energia armazenada nos agroecossistemas (GLIESSMAN, 2009). O consórcio de espécies que apresentam distintas necessidades de radiação solar e ocupam diferentes nichos se apresenta como uma estratégia que permite o uso eficiente do espaço, atingindo altas produtividades por meio de cultivos adensados (STEENBOCK; VEZZANI, 2013).

Para obter uma alta eficiência do sistema produtivo, é necessário ter conhecimento sobre a necessidade de luz de cada espécie ou variedade. Atualmente, são



popularmente utilizadas as indicações de produtores agroflorestais sobre a demanda relativa de luz das espécies, no entanto, muitas vezes essas informações divergem, pois são originadas de observações e práticas em diferentes localidades, com contextos ambientais diferentes.

Isso faz com que a informação não seja facilmente comparável, não sendo tão útil para pautar de forma generalizável os consórcios de culturas. Além disso, pessoas que estão iniciando a prática agroecológica muitas vezes não têm esse conhecimento acumulado, e isso pode resultar em uma alta taxa de falhas devido ao adensamento excessivo de plantas com demandas parecidas.

A utilização de fotografias hemisféricas é há tempos utilizada na área de ecologia de florestas para estimar as propriedades da cobertura de copa, como o Índice de Área Foliar (IAF) (CHIANUCCI; CUTINI, 2012). Uma forma de estimar a capacidade de sobrevivência e crescimento de uma determinada espécie em condições de pouca disponibilidade de radiação solar é através do Ponto de Compensação de Luz da Planta Inteira (PCLPI) (BALTZER; THOMAS, 2007; LUSK; JORGENSEN, 2013).

O PCLPI, por sua vez, pode ser estimado através dos valores de IAF e IAC (Índice de Abertura de Copa). Dessa forma, ao processar imagens hemisféricas obtemos valores que servem para estimar a demanda relativa de luz das espécies de forma quantitativa. Com esses valores, pode-se agrupar as espécies em estratos, que são utilizados no planejamento de sistemas agroflorestais (SAFs). No entanto, há alguns desafios na utilização das fotos hemisféricas, sendo eles a aquisição e processamento das imagens (ZHAO et al. 2019), especialmente métodos automatizados para processar grandes números de imagens (CHIANUCCI; MACEK 2023).

Portanto, buscou-se um método semi automatizado de processamento de imagens hemisféricas de forma a obter um valor acurado do IAF e do IAC, para utilizar esses valores em modelos estatísticos como preditores do crescimento de plantas. Com isso, pretendeu-se estimar a demanda relativa de luz das plantas utilizadas em SAFs, para que as informações sobre os estratos possam ser divulgadas de forma aberta e comparável, sendo mais eficaz para o planejamento de consórcios.

Metodologia

O experimento foi realizado na Fazenda Experimental da Ressacada, área da Universidade Federal de Santa Catarina, em Florianópolis/SC, nos meses de janeiro a agosto de 2022. Foi realizado o plantio de sete espécies arbustivas consorciadas



com diferentes densidades de feijão-de-porco (*C. ensiformis*) (SANTOS et al., 2022). A escolha das espécies de arbustos se deu a partir de atributos funcionais, que são características dos organismos que influenciam sua performance e sobrevivência no meio onde se encontram (NOCK; VOGT; BEISNER, 2016). A tolerância à sombra, a alta capacidade de rebrota, a baixa densidade do caule e o bom desenvolvimento em solos com baixa fertilidade foram atributos selecionados.

A coleta de dados foi feita em março e agosto de 2022. Os dados coletados foram os de: sobrevivência e altura, que foi usado para o cálculo de taxa de crescimento em altura; diâmetro à altura da base, que foi usado para o cálculo de taxa de crescimento em área basal; e fotografias hemisféricas, feitas com uma câmera Kodak Pixpro SP360 posicionada em cima dos arbusto e apontadas para o céu.

Os valores de IAF e IAC foram extraídos das fotos hemisféricas de forma semi-automatizada utilizando o pacote hemispheR (CHIANUCCI; MACEK, 2023), implementado em linguagem R. Os canais de entrada de imagem B (banda azul), 2BG (contraste acentuado entre bandas azul e verde), GEI (Green Excess Index) e GLA (Green Leaf Algorithm) foram testados para avaliar o efeito das condições de iluminação difusa na binarização das imagens e, conseqüentemente, no cálculo do IAF e IAC.

Foram gerados modelos lineares mistos com as variáveis resposta sendo taxa de crescimento em altura e taxa de crescimento em área basal, e com as variáveis preditoras IAF e IAC interagindo com espécie. Os resíduos do modelo linear violaram os pressupostos de uma distribuição normal, portanto, foram aplicados testes de permutação para a obtenção das significâncias dos modelos. Foi utilizado o pacote predictmeans (LUO; GANESH; KOOLAARD, 2022) e a função permlmer para a realização dos testes de permutação, que avaliam se o modelo testado é significativamente diferente do modelo nulo. As análises foram realizadas no software R 4.1.2. (R CORE TEAM, 2022), com a interface do RStudio (RSTUDIO TEAM, 2022).

Resultados e Discussão

A extração do IAF e IAC se mostraram sensíveis às condições de iluminação quando na captura das imagens (Figura 1). Os canais B e 2BG superestimam a área foliar ao interpretarem nuvens como folhas, especialmente em condições de ausência de vegetação. Os resultados do GEI, que é indicado para distinção de vegetação em imagens de cima para baixo, não atendem ao propósito deste estudo. Não obstante, o GLA, inicialmente indicado para as mesmas condições que o GEI,



foi o canal com a melhor performance, com uma alta capacidade de distinguir alvos, sendo o indicado para estudos futuros em condições análogas. No entanto, existem outros métodos para estimar o IAF que podem ser testados, como a regressão não-linear binária, que utiliza dados binários de lacuna/não-lacuna em fotos hemisféricas, que consegue analisar ao mesmo tempo o IAF e a distribuição do ângulo foliar (ZHAO et al. 2019). Os resultados do processamento utilizando o GLA foram utilizados nas modelagens subsequentes.

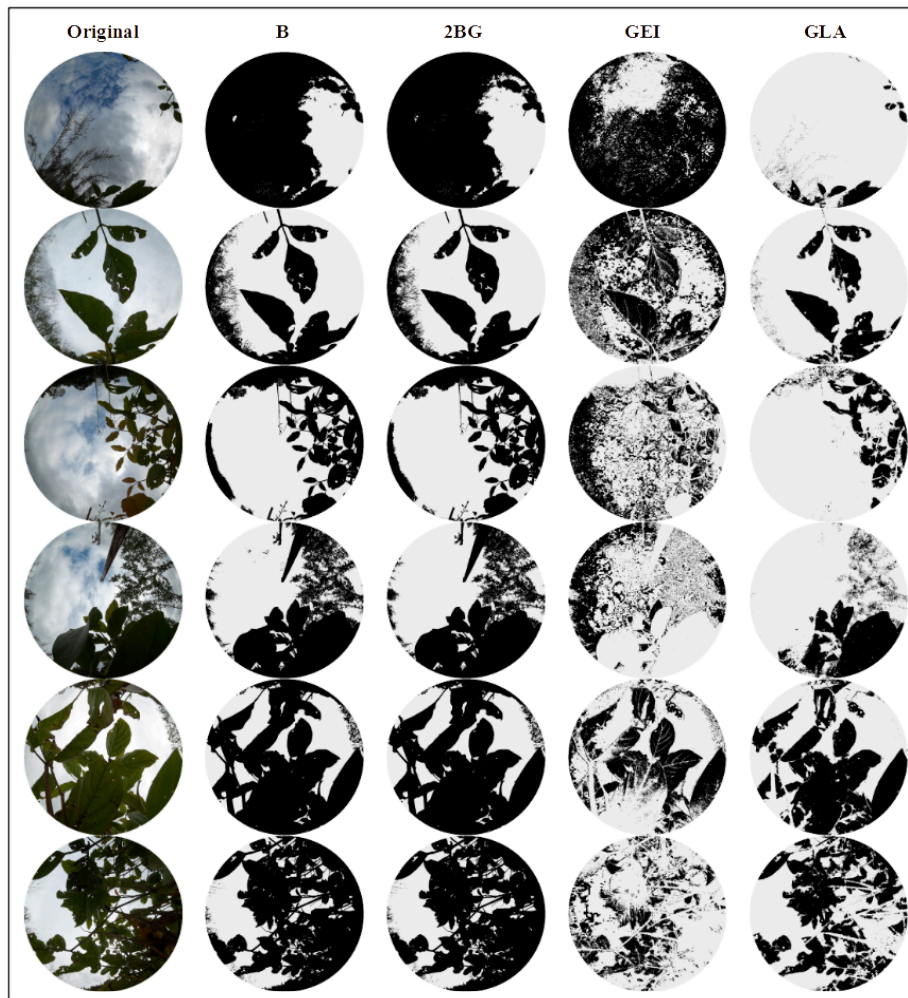


Figura 1: Quadro comparativo das imagens hemisféricas originais e os resultados da binarização utilizando o pacote hemispheR e os canais de entrada B, 2BG, GEI e GLA em diferentes condições de céu e cobertura vegetal.

Os modelos com taxa de crescimento em altura e taxa de crescimento em área basal como variáveis resposta diferiram do modelo nulo a partir do resultado do teste de permutação, com $p = 0.026$ e $p = 0.007$ respectivamente. A rejeição do modelo nulo é um bom indicativo de que o sombreamento e as espécies



apresentam influência significativa sobre o crescimento. Lusk e Jorgensen (2013) indicam uma correlação positiva do PCLPI com o com as taxas de crescimento em altura em alta luminosidade. Portanto, com o PCLPI, que aqui foi estimado a partir do IAF e IAC, é possível distinguir espécies com diferentes tolerâncias à sombra.

Conclusões

O processamento semi automatizado do IAF e IAC a partir de fotos hemisféricas é uma alternativa de baixo custo para extração de atributos de copa. O desenvolvimento de um algoritmo capaz de realizar o processamento semi automatizado é de grande relevância para a pesquisa, facilitando as análises sobre o PCLPI. A análise dos canais e escolha do mais adequado para estimar a área ocupada pela vegetação é uma parte fundamental do processamento das imagens. Esse tópico é de extrema importância para o planejamento e implementação de SAFs com eficiente uso do espaço e insumos, contribuindo para o avanço da elaboração e aplicação de estratégias de manejo agroecológico. Com a ferramenta da modelagem estatística, podemos utilizar os valores de IAF e IAC como preditores de crescimento e sobrevivência de plantas, podendo estimar a demanda de luz de cada planta, produzindo informação relevante para a tomada de decisões em SAFs.

Agradecimentos

Agradecemos Diogo Feistauer pelas contribuições na concepção, implantação, manejo e medições, Larisse Maria de Azevedo Cavalcante e André Ribeiro Jr pelas contribuições na concepção e implantação, Augusto Voss Pereira e Antônio Marcos Miranda pela assessoria técnica e manejo mecanizado. Agradecemos à CAPES pela bolsa de mestrado de JKT e ao CNPq pela bolsa PIBIC de IMS.

Referências bibliográficas

ALTIERI, Miguel. **Agroecologia: a dinâmica produtiva da agricultura sustentável**. 4.ed. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 2004.

BALTZER, Jennifer L.; THOMAS, Sean. C. Determinants of whole-plant light requirements in Bornean rain forest tree saplings. **Journal of Ecology**, v. 95, n. 6, p. 1208–1221, 2007.

CHIANUCCI, Francesco.; CUTINI, Andrea. Digital hemispherical photography for estimating forest canopy properties: current controversies and opportunities. **iForest - Biogeosciences and Forestry**, v. 5, n. 1, p. 290–295, 28 dez. 2012.

CHIANUCCI, Francesco.; MACEK, Martin. hemispher: an R package for fisheye



canopy image analysis. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 336, p. 109470, jun. 2023.

GLIESSMAN, Stephen. R. **Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável**. 4. ed. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 2009.

LUO, Dongwen.; GANESH, Siva.; KOOLAARD, John. **predictmeans: Predicted Means for Linear and Semi Parametric Models**. 2022. Disponível em: <<https://CRAN.R-project.org/package=predictmeans>>

LUSK, Christopher. H.; JORGENSEN, Murray. A. The whole-plant compensation point as a measure of juvenile tree light requirements. **Functional Ecology**, v. 27, n. 6, p. 1286–1294, 2013.

NOCK, Charles. A.; VOGT, Richard. J.; BEISNER, Beatrix. E. Functional Traits. Em: **eLS**. John Wiley & Sons, p. 1–8, fev. 2016.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing**. Vienna, Austria, 2022. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>>

RSTUDIO TEAM. **RStudio: Integrated Development Environment for R**. Boston, MA, 2022. Disponível em: <<http://www.rstudio.com/>>

SANTOS, Izabela. M.; FEISTAUER, Diogo.; PEREIRA, Augusto. V.; SIDDIQUE, Ilyas. **Tolerância à sombra das árvores tardias como critério de consorciação: Feijão-de-porco facilita o estabelecimento de arbustos para adubação verde em solos de baixa fertilidade**. Relatório final do projeto de pesquisa do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC/CNPq), Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis-SC. 2022.

STEENBOCK, Walter.; VEZZANI, Fabiane. M. **Agrofloresta: aprendendo a produzir com a natureza**. Curitiba: Cooperafloresta, 2013.

ZHAO, Kaiguang.; RYU, Youngryel.; HU, Tongxi.; GARCIA, Mariano.; LI, Yang.; LIU, Zhen.; LONDO, Alexis.; WANG, Chao. How to better estimate leaf area index and leaf angle distribution from digital hemispherical photography? Switching to a binary nonlinear regression paradigm. **Methods in Ecology and Evolution**, 10, no. 11, p.1864-1874, jul. 2019.