

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE SANTA CRUZ  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E CONSERVAÇÃO DA  
BIODIVERSIDADE**

**MUDANÇAS DO REGIME DE LUZ EM SUB-BOSQUES DE FLORESTAS  
TROPICAIS ÚMIDAS**

**Orientador/e-mail: Marcelo Schramm Mielke/msmielke@uesc.br**

**Nome do Candidato/e-mail: Igor Pires Reis/igor\_pires\_r@hotmail.com**

**Nível/Ano de ingresso: Doutorado/2019**

**Ilhéus - 05/12/2019**

## RESUMO

A radiação solar é a principal fonte de energia para o processo fotossintético, sendo fundamental para o crescimento e desenvolvimento das plantas. A fonte de energia que chega ao sub-bosque deve passar por pequenas e médias lacunas do dossel da floresta, também conhecidas como clareiras. As clareiras são áreas temporalmente abertas na vegetação e fazem parte de um processo dinâmico nas comunidades vegetais. A formação de clareiras se dá pela mortalidade de árvores emergentes e de topo de dossel devido as perturbações florestais. As clareiras criam uma distribuição temporal e espacial do regime de luz que chega ao sub-bosque, refletindo posteriormente em diferentes condições microclimáticas. Cerca de 90% da radiação solar disponível no sub-bosque ocorre sob a forma de feixes de radiação direta conhecidos como *sunflecks*. A radiação solar por meio de *sunflecks* atinge o sub-bosque em intervalos curtos e subsequentes em florestas conservadas. Entretanto, em florestas degradadas a radiação solar que atinge o sub-bosque o faz em intervalos de tempo mais longos. A frequência e a duração dos *sunflecks* podem afetar o estabelecimento e o crescimento das plantas no sub-bosque. Os *sunflecks* de longa duração, por exemplo, podem levar a uma diminuição no recrutamento e na mortalidade de plântulas de espécies climáticas. As plântulas de sub-bosque precisam se aclimatar ao excesso de radiação, por isso apresentam uma série de ajustes morfofisiológicas em suas folhas por meio dos atributos foliares. Nosso objetivo é avaliar por meio de fotografias hemisféricas como diferentes estruturas de dosséis florestais alteram o regime de luz que chega no sub-bosque e, posteriormente, seus efeitos na vegetação regenerante medindo os atributos foliares de espécies de grupos sucessionais contrastantes. Nossa metodologia consiste, predominantemente, em fazer fotos hemisféricas e avaliar a frequência e o tempo de *sunflecks* por meio dos softwares GLA (*Gap Light Analyzer*) e o GLAMA (*Gap Light Analysis Mobile App*).

Palavras-chave: Perturbações, Clareiras, *Sunflecks*, Plântulas.

## INTRODUÇÃO

As diversas trajetórias sucessionais em florestas tropicais são influenciadas pelos fatores específicos do local, pela natureza e dinâmica de distúrbios, intensidade e frequência do uso anterior das terras e a natureza da matriz da paisagem (Becknell et al., 2018; Chazdon, 2008, 2003). A divisão de diferentes trajetórias em distintos estágios ou fases ao longo do tempo permitem a realização de estudos comparativos e os exames dos processos ecológicos que podem afetar as transições quanto estrutura, composição e propriedades ecossistêmicas da floresta (Chazdon, 2008). Portanto, diferentes padrões de regimes de luz na vegetação do sub-bosque advindos de diferentes clareiras formadas nas copas de dosséis impõem fortes filtros ecológicos no estabelecimento, crescimento e recrutamento das espécies vegetais no sub-bosque, e conseqüentemente podem descrever o estágio de sucessão do sitio florestal no espaço (Bazzaz and Carlson, 1982; Chazdon and Fetcher, 1984; Chazdon and Pearcy, 1986). Logo, a formação de clareiras

é o principal veículo pelo qual se expressa o processo de sucessão e regeneração de comunidades vegetais em florestas tropicais (Hubbell, 1986).

A radiação solar disponível no sub-bosque representa apenas 1-2% do total que chega no topo do dossel em florestas conservadas, é temporal e espacialmente variável, sendo que apresenta altos níveis de radiação solar direta, constituídos de cerca de 40% de radiação fotossinteticamente ativa, 60% de radiação infravermelho e são conhecidos como *sunflecks* (Avalos, 2019; Way and Pearcy, 2012a). Os *sunflecks* representam até 75-80% da densidade total do fluxo diário de fótons em sombra (Chazdon and Fetcher, 1984; Chazdon and Pearcy, 1991). Dessa forma, a energia contida nos *sunflecks* é responsável pela maior parte de carbono diário fixado pelas plantas do sub-bosque (Avalos, 2019). Os *sunflecks* devem passar por clareiras de diferentes dimensões e tamanhos que compõe o dossel da floresta (Whitmore, 1978). Portanto, o tamanho e a distribuição das clareiras no dossel, bem como a frequência e a duração dos *sunflecks*, estão diretamente relacionados ao grau de perturbação da floresta (Chazdon, 1988; Denslow, 1980; Whitmore, 1989).

As taxas de crescimento e sobrevivência principalmente durante as fases ontogenéticas iniciais e as fases subsequentes variam de acordo com as condições do regime de luz, que influenciam os atributos funcionais das espécies de plantas (Chazdon, 2016). No caso de *sunflecks* de longa duração advindos de clareiras maiores, o excesso de radiação solar disponível que chega ao sub-bosque pode levar a uma diminuição no recrutamento e na mortalidade de plântulas (Maciel et al., 2002; Martini, 2002). Em muitos casos, a mortalidade de plântulas pode estar diretamente relacionada à fotoinibição (Way and Pearcy, 2012), definida como um conjunto de processos fisiológicos que promovem a inibição da eficiência fotossintética por radiação direta excessiva (Powles, 1984). Espécies distintas podem se aclimatar de diferentes maneiras, de acordo com a ecologia funcional do grupo que pertence, sendo que os grupos tolerantes à sombra estão mais vulneráveis ao estresse luminoso (Way and Pearcy, 2012).

Dessa forma, as espécies que se encontram no sub-bosque apresentam uma série de ajustes no seu fenótipo por meio da plasticidade fenotípica, que consiste na habilidade de um genótipo expressar diferentes fenótipos em resposta a uma variação ambiental (Cerqueira et al., 2018; dosAnjos et al., 2015; Gratani, 2014). Esses fenótipos também são expressos em escala de folha que é o órgão mais plástico da planta e são responsáveis pela captação de luz. As folhas podem transpor e quantificar as mudanças do regime luminoso através dos atributos foliares (Peppe et al., 2011). Os estudos sobre os atributos foliares consistem numa importante ferramenta usada para entender as respostas da vegetação às mudanças ambientais, pois é tido como um importante indicador ecológico em função da expressão de fenótipos às quais está submetido (Cianciaruso et al., 2009; Rodriguez et al., 2016). Assim, o tamanho e a distribuição das lacunas no dossel têm influência importante na dinâmica dos *sunflecks* e isso pode influenciar os atributos foliares de espécies presentes no sub-bosque (Melo Júnior et al., 2017).

### **Objetivo Geral**

Avaliar por meio de fotografias hemisféricas como diferentes estruturas de dosséis florestais alteram o regime de luz que chega no sub-bosque e, posteriormente, seus efeitos na vegetação regenerante.

### **Objetivo Específicos**

- Verificar o contraste temporal do regime de luz no sub-bosque num gradiente de sucessão.

- Avaliar o efeito do regime de luz, medidos por meio do tempo de duração dos *sunflecks*, nos atributos foliares de plantas jovens de quatro espécies diferentes (duas espécies climáticas e duas pioneiras).

- Realizar comparações entre diferentes câmeras digitais, softwares e aplicativos, buscando padronizar procedimentos para a análise de regimes de luz no sub-bosque por meio de fotografias hemisféricas.

## **Hipóteses:**

### **Capítulo 1 – Regime de luz ao longo de uma cronosequência**

Para realizar hipóteses do regime de luz num gradiente de sucessão com diferentes idades caracterizamos, de acordo com a literatura, a estrutura do topo de dossel e a composição da vegetação esperada ao longo de uma sucessão previsível de 50 anos de acordo com mapas de uso de terra anteriores disponível para a região da área de estudo, assim podemos descrever melhor sobre as clareiras, frequência e o tempo de *sunflecks*. Para mais informações sobre a cronosequência (vide Becknell et al., 2018; Piotto et al., 2009).

**Inicial (1 a 10 anos):** Esperamos que em gradientes de sucessão iniciais tenha uma dinâmica de clareiras mais intensa, ou seja, a abertura e o fechamento de clareiras acontecem com maior frequência ao longo do tempo devido as espécies pioneiras com idades semelhantes que são dominantes no local e apresentam crescimento e ciclo de vida rápidos. Logo, teremos o dossel representando com um maior número de clareiras menores ao longo do tempo, ou seja, maior frequência de *sunflecks* de tempos menores devido ao preenchimento homogêneo com árvores de estágios sucessionais iniciais, sendo substituídas constantemente por espécies heliófitas e pioneiras, porém com a estatura dos estratos de dossel e subdossel menores a estágios mais avançados de florestas (Montgomery and Chazdon, 2001; Nicotra et al., 1999).

**Intermediário (11 a 20 anos):** O estágio secundário intermediário inicia-se cerca de 20 anos após um distúrbio. Espécies arbóreas que se estabeleceram durante os estágios iniciais começam a alcançar o dossel e substituir as espécies pioneiras. Essas árvores apresentam um ciclo de vida maior que o das pioneiras iniciais e, quando a luz está disponível, podem crescer muito rapidamente, com algumas espécies alcançando tamanhos maiores e podendo se tornar emergentes em estágios sucessionais futuros. Esperamos para esses gradientes de sucessão tenham maior frequência de *sunflecks* de tempos intermediários e longos por causa de uma maior heterogeneidade da copa de dossel da floresta (Budowski, 1970; Dupuy and Chazdon, 2008).

**Avançado 1 (21 a 30 anos):** Florestas secundárias tardias desenvolvem uma estrutura vertical mais complexa, com árvores nos estratos emergentes, no dossel e no subdossel com distribuição homogênea. No subdossel, plântulas de espécies tolerantes à sombra estabelecem-se e são recrutadas como árvores pequenas. Durante essa fase, a riqueza de espécies da floresta aumenta aos poucos, parcialmente por causa do estabelecimento de espécies arbóreas menores de subdossel (LaFrankie et al., 2006). O tamanho das árvores torna-se mais heterogêneo conforme os indivíduos de espécies iniciais e tardias se misturam na floresta. Nessas florestas conservadas e de sucessão mais avançadas apresentam maior frequência e ocorrência de clareiras menores devido as perturbações localizadas (endógenas) com quedas de árvores e galhos que acontecem

de maneira uniforme ao longo do tempo, por isso esperamos que haja uma maior frequência de *sunflecks* de tempos menores nesses gradientes de sucessão (Chazdon, 2012).

Avançado 2 (Aproximadamente 50 anos): Espera-se que nessa fase de sucessão a floresta perca a sua característica coetânea conforme as árvores de dossel morrem e criam clareiras que são focos de regeneração de árvores tolerantes e intolerantes à sombra (Guariguata and Ostertag, 2001). O dossel é enriquecido com espécies tolerantes a sombra que são capazes de regenerar no sub-bosque, o que leva a composição de espécies a se estabilizar. São árvores de crescimento lento, madeira densa que apresentam estatura parecidas e uma homogeneidade na copa, com clareiras pequenas e uniformes. Esperamos *sunflecks* de tempos curtos ao longo desse gradiente de sucessão (Chazdon, 2012).

## **Capítulo 2 – Diferentes espécies sob distintos regimes de luz**

Plantas jovens apresentam maiores níveis de plasticidade fenotípica em relação às adultas (Valladares et al., 2004). São ajustes fenotípicos para aclimação das plantas em diferentes condições de luminosidade podendo refletir nas folhas que é o órgão mais plástico e sensível às variáveis ambientais (Fahn et al., 1986). São ajustes necessários para regulação da fotossíntese dentro dos limites genéticos específicos, de forma a manter um balanço positivo de carbono (Kitajima, 1996; Krause et al., 2001). Partindo disso, a categorização de espécies a partir de ajustes nas características foliares que podem ser fisiológicos, morfológicos e anatômicos fornecem indicativos das estratégias ecológicas por diferentes espécies no sub-bosque da floresta (Ackerly, 2004; Garnier et al., 2001). A frequência e duração de *sunflecks* advindos da dinâmica de clareiras, ou seja, regimes de luz distintos podem refletir ajustes em suas folhas novas (Martins et al., 2009). Essas modificações na estrutura foliar podem ocorrer de maneira idiossincrática entre as espécies, e são observadas ao longo da expansão e desenvolvimento das folhas que influenciam os padrões de variação temporal de características foliares em uma comunidade do sub-bosque (Gago et al., 2016; Lambers et al., 2008; Martins et al., 2009).

Partindo disso, este capítulo tem como objetivo avaliar a plasticidade fenotípica de folhas de 2 espécies pioneiras e 2 espécies climácicas submetidas a contrastantes regimes luminosos ocasionados por diferentes estruturas de dosséis. Dessa forma, avaliaremos a capacidade de aclimação das plântulas e o seu desempenho para superar a heterogeneidade ambiental advindas de diferentes condições de luz (Cagnolo et al., 2006). O uso de tais relações tem prestado grande contribuição para o entendimento dos fatores que afetam o crescimento e a forma como a radiação solar penetra em um dossel e chega ao sub-bosque florestal (Monsi and Saeki, 1953). Além disso, poderemos inferir sobre as reais posições ocupadas das espécies no contexto da sucessão florestal, sendo que muitas das classificações do status sucessional das espécies não transparecem sobre a plasticidade fisiológica (caracteres relacionados a eficiência da etapa fotoquímica e das trocas gasosas) e a plasticidade morfológica (associada a capacidade de sobreviver e crescer no sub-bosque da floresta) e/ou o fazem de forma errada (Cerqueira et al., 2018; Pepe et al., 2011; Valladares et al., 2004).

Quando a planta está sob altos níveis de irradiância e suas folhas estão expostas ao sol (folhas de sol), as mesmas se caracterizam por serem mais espessas (maior parênquima paliçádico), com pequena área foliar e maior proporção de clorofila a e b (Terashima and Yano, 2004). Já em plantas que se encontram no sub-bosque, ou seja, em locais de sombra, temos as folhas de sombra que geralmente apresentam uma maior

eficiência quântica aparente, menor taxa de respiração escura, menor ponto de compensação de luz, menor ponto de saturação luminosa e menor fotossíntese bruta sob luz saturante quando comparadas com as folhas de sol (Kim et al., 2005). Espécies presentes no sub-bosque submetidas a grande abertura de clareiras podem desencadear uma série de reações de estresses refletindo em seus atributos foliares devido aos *sunflecks* de tempos longos (Krause et al., 2001; Krause and Winter, 1996; Way and Pearcy, 2012b). Em ambientes de alta irradiância, devido a abertura de uma clareira recente por exemplo, as plantas do sub-bosque que apresentam folhas de sombra devem possuir adaptações morfofisiológicas que diminuam ou mesmo evitem os efeitos sinérgicos desses estresses, uma vez que precisam alcançar seu estado funcional máximo da fotossíntese (Valladares et al., 2004). Já as espécies heliófitas que apresentam folhas de sol caracterizam em possuir altas taxas de substituição foliar, o que reduz a longevidade foliar e aumenta os atributos de mecanismos protetores das folhas para interceptação de luz intensa (Whitmore, 1989).

### **Capítulo 3 – Fotografia hemisférica: Uma solução na estimativa das propriedades do dossel da floresta**

As fotos hemisféricas fazem o registro permanente da caracterização do dossel da floresta e a distribuição geométrica da fração de clareiras, principalmente para calcular a abertura do dossel e os diferentes regimes de luz no sub-bosque (Chianucci and Cutini, 2012). Existem vários estudos que confirmaram a precisão das fotografias hemisféricas digitais nas estimativas das propriedades do dossel da floresta (Chianucci and Cutini, 2013; Macfarlane et al., 2007; Pisek et al., 2011). No entanto, existem algumas etapas críticas que precisam ser testadas para uma melhor avaliação e eficácia do método, e até mesmo explorar o seu potencial. Por isso, avaliaremos diferentes câmeras para aquisição das fotos hemisféricas; diferentes softwares e procedimentos para o processamento de imagens; revisar alguns procedimentos de aquisição das imagens em campo a partir da literatura, e, por último, fazer comparações das técnicas, equipamentos e softwares com o objetivo de apresentar se existe uma diferença significativa entre as metodologias e indicar a metodologia mais precisa e/ou ideal.

## **METODOLOGIA**

### **Áreas de estudo**

#### **Capítulo 1 – Cronossequência e regime de luz num gradiente de sucessão**

O estudo referente ao capítulo 1 será realizado em um amplo remanescente de Mata Atlântica no Parque Estadual da Serra do Conduru (PESC) (14 ° 20' -14 ° 30 'S; 39 ° 02' -39 ° 08' W), sul da Bahia, Brasil, entre janeiro e dezembro de 2020. O clima da região é quente e úmido, definido de acordo com a classificação climática de Köppen (1976) como tropical úmido, sem uma estação seca definida. A precipitação anual na área é de 1800 a 2000 mm e tem uma temperatura média anual que varia entre 24-25 ° C. A vegetação mais prevalente na região é a Floresta Ombrófila Densa Submontana, ou Floresta úmida do sul da Bahia, caracterizada por árvores altas, um dossel denso com mais de 25 metros e grandes quantidades de lianas e epífitas (Thomas, 2003). O parque protege umas das maiores áreas de Mata Atlântica no nordeste do Brasil, apresenta floresta secundária em diferentes estágios de regeneração, com áreas de restauração florestal, de florestas antigas que foram seletivamente exploradas no passado, com

extração seletiva, caça e colheita de fibras e algumas áreas de pasto e ocupadas dentro do parque. Além de estradas e trilhas usadas pelos moradores locais (Becknell et al., 2018).

Para o presente estudo a cronosequência de idade das florestas foram estabelecidos de acordo com uma série temporal de imagens do satélite Landsat. Para criar essa cronosequência foi usado técnicas de fotografias de alta resolução e mapas de uso de terra anteriores disponível para a região. As janelas de sensoriamento remoto foram baseadas em fotografias aéreas. Mapas de uso da terra foram gerados para cada conjunto de fotos aéreas e mapas de classes de idade da floresta foram derivados usando o SIG (Sistema de informações geográficas). Áreas cobertas com nuvens foram descartadas. Para áreas nubladas, a determinação da idade foi feita com base nos dados dos anos anteriores e subsequentes. Gerando assim quatro gradientes de sucessão de idades distintas: Inicial: 1 e 10 anos; Intermediário: 11 a 20 anos; Avançado 1: 21 a 30 anos e Avançado 2: Aproximadamente 50 anos (Becknell et al., 2018; Piotto et al., 2009).

Fotos hemisféricas serão tiradas em duas estações: junho-julho de 2020 (Inverno) e janeiro-fevereiro de 2021 (Verão) para fazer medidas da abertura do dossel e análises de *sunflecks*, usando uma câmera digital Nikon Coolpix 4300 (compacta); A câmera será equipada com uma lente olho de peixe (180°). Para obter as imagens, a lente será nivelada com um nível de bolha comum. Além disso, um ponto ao longo do perímetro da lente será marcado com ajuda de uma bússola para ser usado como referência ao norte magnético, que será georreferenciado com o GPS. Fotografias hemisféricas serão obtidas preferencialmente pouco antes do nascer do sol, pouco antes do pôr do sol ou sob céu nublado, para obter o melhor contraste e evitar a superexposição. Será montado em um tripé de 1,30 m, nivelado com o solo.

Para a escolha dos pontos para a instalação dos pontos iremos escolher áreas de acordo com o mapa de gradiente de sucessão de diferentes idades da floresta calculadas pelo Landsat. Serão 30 parcelas de 0,25ha (50 x 50m) para cada idade de gradiente de sucessão. As parcelas serão divididas em quadrantes onde será feito uma foto no centro de cada quadrante, totalizando 4 fotos por parcela. Dessa forma, obteremos para as duas estações 480 fotos. As fotos hemisféricas abrangem um diâmetro de 10m, com isso as mesmas não se sobrepõem. Após a obtenção das fotos usaremos o programa GLA (Gap Light Analyzer) (Frazer, 1999) para processamento das fotos.

## **Capítulo 2 – Diferentes espécies sob distintos regimes de luz**

### **2.1 Seleção dos ambientes e instalação do experimento na floresta**

Será conduzido um experimento no interior de uma área de floresta secundária no *campus* da Universidade Estadual de Santa Cruz em Ilhéus, Bahia, Brasil (39°10'O; 14°47'S). Essa área possui aproximadamente 9 ha e desde 1995 vem sendo realizados plantios com várias espécies arbóreas nativas da floresta Atlântica. Nessa área serão selecionados pontos com ambientes de gradientes de cobertura florestal contrastantes com base na estimativa da abertura do dossel obtida por meio do densiômetro. As fotografias hemisféricas serão obtidas utilizando-se uma câmera fotográfica digital Nikon Coolpix 4300, equipada com uma lente olho-de-peixe (180°), montada sobre um tripé a 1,5 m do solo, e serão analisadas no software GLA e o GLAMA (Frazer, 1999; Tichý, 2016).

Vamos distribuir 20 pontos em uma área de 9 ha com uma equidistância de 30 metros conferindo independência. Para isso delimitaremos a área com ajuda de um GPS

e o programa Google Earth. Todos os pontos serão georreferenciados. Os pontos estarão no centro de quadrados estabelecidos por estacas de 1 m<sup>2</sup> cada. Em cada ponto serão plantadas quatro mudas de espécies distintas, duas climácicas (tolerantes a sombra) e duas pioneiras (intolerantes a sombra), totalizando em 80 mudas.

Após a transferência das mudas para cada ponto, serão obtidas em cada ponto três fotografias hemisféricas mensalmente, entre janeiro e julho de 2020, sendo que utilizaremos a média das fotos para os cálculos de abertura do dossel e a frequência de *sunflecks*. As fotografias hemisféricas serão obtidas utilizando-se uma câmera fotográfica digital Nikon Coolpix 4300, equipada com uma lente olho-de-peixe (180°), montada sobre um tripé a 1,5 m do solo, e serão analisadas no software GLA e o GLAMA (Frazer, 1999; Tichý, 2016). Para a obtenção das imagens, um ponto no perímetro da lente será marcado com fita adesiva vermelha, para ser utilizado como referência ao norte magnético, com o auxílio de uma bússola. Com isso, a câmera será posicionada no tripé e orientada para o norte magnético, sendo obtidas as fotografias. Fotografias hemisféricas serão obtidas preferencialmente pouco antes do nascer do sol, pouco antes do pôr do sol ou sob céu nublado, para obter o melhor contraste e evitar a superexposição.

## 2.2 Expansão foliar e atributos foliares

Para estudos de expansão foliar três folhas das diferentes espécies de plântulas serão marcadas com esmalte. Para as folhas marcadas, ao longo de seis meses (janeiro-julho de 2020), sem retirar as folhas das plantas, serão estimados o Índice do conteúdo de clorofila (ICF) através de um medidor portátil de clorofila ClorofiLog (Falker, Brasil). Serão realizadas três leituras em três regiões do mesófilo por folha sempre realizadas na mesma região, para cálculo da média. O ClorofiLog estima o ICFa e o ICFb. A partir destes serão calculados o índice de clorofila total (ICFt), que é a soma do índice de clorofila a e b, e a razão clorofila a e b (ICF a/b). Após isso, para estudo dos atributos foliares, todo mês coletaremos três folhas, não marcadas com esmalte, completamente expandidas e maduras para análises dos atributos foliares. É importante salientar que as folhas não poderão estar necrosadas ou herbivoradas, em fases ontogenéticas iniciais e/ou senescência (Cerqueira et al., 2018). Cada uma das folhas de cada fragmento será digitalizada através de um equipamento de digitalização convencional, para análises de atributos foliares através do software Image J (<http://rsb.info.nih.gov/nih.image/>). Estes atributos compreendem a área foliar (AF), volume das folhas (VF), forma das folhas (FF) e comprimento do pecíolo (CP), volume do pecíolo (VP) e diâmetro do pecíolo (DP). Após essas medições nas folhas serão realizadas as medições dos seguintes atributos foliares:

Espessura: a espessura da lâmina foliar será medida com auxílio de um micrômetro digital.

Tenacidade: será realizada a análise de dureza foliar com o auxílio de um penetrômetro que indica a pressão necessária para perfuração de um círculo com 8 mm de diâmetro de lâmina foliar.

Massa seca: as folhas serão armazenadas em sacos de papel, colocadas para secar em estufa de circulação forçada de ar a 75°C, até atingir massa constante e pesadas em balança analítica para obter a massa seca (MS).

Massa foliar específica (MFE): a MFE será calculada a partir da razão MS/AF.

## Capítulo 3 – Fotografia hemisférica: Uma solução na estimativa das propriedades do dossel da floresta

Faremos cerca de 20% à mais de fotos hemisféricas do banco total de fotos feitas no arboreto da UESC usando diferentes câmeras: uma câmera digital Nikon Coolpix 4300 (compacta); Samsung NX 3000 (Mirrorless) e dois modelos diferentes de Smartphones com câmeras frontais e o conjunto hemiview com câmera DSLR (Rich et al., 1999). Todas as câmeras serão equipadas com uma lente olho de peixe (180°), com exceção o conjunto hemiview que já apresenta acoplado uma lente olho de peixe no equipamento.

## **ANÁLISE DOS DADOS**

Para análise da cronossequência de 4 áreas diferentes com 30 réplicas para diferentes sucessões de uso de terra usaremos uma ANOVA por termos variáveis categóricas (diferentes sucessões) e contínuas (*sunflecks* e abertura do dossel). Para análises de efeitos dos *sunflecks* nos atributos foliares da vegetação regenerante do sub-bosque em duas espécies climáticas e duas espécies pioneiras, as 3 variáveis são contínuas (*sunflecks*, abertura do dossel e atributos foliares), e por isso faremos uma seleção de modelos (GLM).

## **IMPACTOS DO ESTUDO PARA A CONSERVAÇÃO**

A análise da estrutura da vegetação, como a abertura e fechamento do dossel, é útil em estudos de monitoramento, como por exemplo, de mudanças fenológicas, recuperação das plantas após impactos ambientais ou estresse e dinâmica do dossel. A técnica de fotografias hemisféricas digitais permite o acesso a informações acerca do efeito de perturbações naturais que levam a modificações nas características estruturais do dossel e na distinção de estágios sucessionais oferecendo uma melhor percepção do funcionamento dos ecossistemas. Assim, o estudo da estrutura e dinâmica do dossel florestal é um caminho promissor para se obter o conhecimento de características que possam atuar como indicadores de estágios sucessionais, de mecanismos que atuam nas relações entre a diversidade de plantas e processos dos ecossistemas, contribuindo para o planejamento do manejo florestal, conservação da diversidade e dos serviços ecossistêmicos (Muscolo et al., 2014).

Em nível de indivíduo, espera-se que os resultados obtidos por meio desta pesquisa mostrem como as perturbações e abertura de clareiras, influenciam os atributos foliares de plantas jovens de diferentes grupos ecológicos no sub-bosque, e quais atributos foliares melhor caracterizam essa resposta e até que ponto o fenótipo desses atributos mudam em função dos *sunflecks*. Dessa forma, esclareceremos mais sobre o status sucessionais das espécies, estabelecimento e crescimento de mudas em condições de luz distintos. Isso pode ajudar na conservação da biodiversidade e na restauração florestal (Cerqueira et al., 2018). O plantio de enriquecimento é uma técnica comum em florestas tropicais (Erskine et al., 2006). Essa técnica se baseia no plantio de uma mistura de espécies de diferentes grupos sucessionais simultaneamente em lacunas de clareiras florestais e fragmentos remanescentes florestais incapazes de se regenerar naturalmente (Brancalion et al., 2010). Sendo um método eficaz quando são introduzidas mudas produzidas sob condições controladas e seletivamente plantadas no campo de acordo com os seus requisitos do gradiente de luz (Kenzo et al., 2016).

Escolheremos quatro espécies-chave para elaboração de planos de gestão, uma vez que por meio de sua conservação, outras espécies que com ela interagem têm suas chances de manutenção aumentadas em um ambiente alterado. Além disso, por meio da

plasticidade fotossintética dessas espécies-chave é possível determinar estratégias ideais de mudas em programas de restauração florestal (dosAnjos et al., 2015).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ackerly, D.D., 2004. Adaptation, niche conservatism, and convergence: Comparative studies of leaf evolution in the California chaparral. *Am. Nat.* 163, 654–671. <https://doi.org/10.1086/383062>
- Avalos, G., 2019. Shade tolerance within the context of the successional process in tropical rain forests. *Rev. Biol. Trop.* 67, S53–S77. <https://doi.org/10.15517/rbt.v67i2supl.37206>
- Bazzaz, F.A., Carlson, R.W., 1982. Oecologia Photosynthetic Acclimation to Variability in the Light Environment of Early and Late Successional Plants 313–316.
- Becknell, J.M., Keller, M., Piotto, D., Longo, M., Nara dos-Santos, M., Scaranello, M.A., Bruno de Oliveira Cavalcante, R., Porder, S., 2018. Landscape-scale lidar analysis of aboveground biomass distribution in secondary Brazilian Atlantic Forest. *Biotropica* 50, 520–530. <https://doi.org/10.1111/btp.12538>
- Brancalion, P.H.S., Rodrigues, R.R., Gandolfi, S., Kageyama, P.Y., Nave, A.G., Gandara, F.B., Barbosa, L.M., Tabarelli, M., 2010. Instrumentos legais podem contribuir para a restauração de florestas tropicais biodiversas. *Rev. Arvore* 34, 455–470. <https://doi.org/10.1590/s0100-67622010000300010>
- Budowski, G., 1970. The distinction between old secondary and climax species in tropical Central American lowlands. *Trop. Ecol.* 11, 44–48.
- Cagnolo, L., Cabido, M., Valladares, G., 2006. Plant species richness in the Chaco Serrano Woodland from central Argentina: Ecological traits and habitat fragmentation effects. *Biol. Conserv.* 132, 510–519. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2006.05.012>
- Cerqueira, A.F., Dalmolin, Â.C., dos Anjos, L., da Silva Ledo, C.A., da Costa Silva, D., Mielke, M.S., 2018. Photosynthetic plasticity of young plants of *Carpotroche brasiliensis* (Raddi) A. Gray, Achariaceae. *Trees - Struct. Funct.* 32, 191–202.

- <https://doi.org/10.1007/s00468-017-1623-6>
- Chazdon, R., 2012. Regeneração de florestas tropicais Tropical forest regeneration. *Bol. do Mus. Para. Emílio Goeldi. Ciências Nat.* 7, 195–218.
- Chazdon, R.L., 2016. Renascimento de florestas: regeneração na era do desmatamento, Oficina de. ed.
- Chazdon, R.L., 2008. Beyond deforestation: Restoring forests and ecosystem services on degraded lands. *Science* (80-. ). 320, 1458–1460.  
<https://doi.org/10.1126/science.1155365>
- Chazdon, R.L., 2003. Tropical forest recovery: Legacies of human impact and natural disturbances. *Perspect. Plant Ecol. Evol. Syst.* 6, 51–71.  
<https://doi.org/10.1078/1433-8319-00042>
- Chazdon, R.L., 1988. Sunfleck and their importance to forest understory plants. *Adv. Ecol. Res.* 18, 1–63. [https://doi.org/10.1016/s0065-2504\(08\)60179-8](https://doi.org/10.1016/s0065-2504(08)60179-8)
- Chazdon, R.L., Fetcher, N., 1984. Photosynthetic Light Environments in a Lowland Tropical Rain Forest in Costa Rica. *J. Ecol.* 72, 553–564.
- Chazdon, R.L., Pearcy, R.W., 1991. The Importance of Sunflecks for Forest Plants Understory periods of radiation 41, 760–766.
- Chazdon, R.L., Pearcy, R.W., 1986. Photosynthetic responses to light variation in rainforest species. *Oecologia* 69, 524–531. <https://doi.org/10.1007/BF00410358>
- Chianucci, F., Cutini, A., 2013. Estimation of canopy properties in deciduous forests with digital hemispherical and cover photography. *Agric. For. Meteorol.* 168, 130–139. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2012.09.002>
- Chianucci, F., Cutini, A., 2012. Digital hemispherical photography for estimating forest canopy properties: Current controversies and opportunities. *IForest*.  
<https://doi.org/10.3832/ifor0775-005>
- Cianciaruso, M.V., Silva, I.A., Batalha, M.A., 2009. Phylogenetic and functional diversities: New approaches to community Ecology. *Biota Neotrop.* 9, 93–103.  
<https://doi.org/10.1590/S1676-06032009000300008>
- Denslow, J.S., 1980. Gap Partitioning among Tropical Rainforest Trees. *Biotropica* 12, 47–55. <https://doi.org/10.2307/2388156>
- dosAnjos, L., Oliva, M.A., Kuki, K.N., Mielke, M.S., Ventrella, M.C., Galvão, M.F., Pinto, L.R.M., 2015. Key leaf traits indicative of photosynthetic plasticity in tropical tree species. *Trees - Struct. Funct.* 29, 247–258.  
<https://doi.org/10.1007/s00468-014-1110-2>
- Dupuy, J.M., Chazdon, R.L., 2008. Interacting effects of canopy gap, understory vegetation and leaf litter on tree seedling recruitment and composition in tropical secondary forests. *For. Ecol. Manage.* 255, 3716–3725.  
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.03.021>
- Erskine, P.D., Lamb, D., Bristow, M., 2006. Tree species diversity and ecosystem function: Can tropical multi-species plantations generate greater productivity? *For. Ecol. Manage.* 233, 205–210. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.05.013>
- Fahn, A., Werker, E., Baas, P., 1986. Wood anatomy and identification of trees and

- shrubs from Israel and adjacent regions. Israel Academy of Sciences and Humanities, Israel.
- <https://doi.org/https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19870614977>
- Frazer, G.W., 1999. Gap Light Analyzer ( GLA ):
- Gago, J., Daloso, D. de M., Figueroa, C.M., Flexas, J., Fernie, A.R., Nikoloski, Z., 2016. Relationships of leaf net photosynthesis, stomatal conductance, and mesophyll conductance to primary metabolism: A multispecies meta-analysis approach. *Plant Physiol.* 171, 265–279. <https://doi.org/10.1104/pp.15.01660>
- Garnier, E., Laurent, G., Bellmann, A., Debain, S., Berthelie, P., Ducout, B., Roumet, C., Navas, M.L., 2001. Consistency of species ranking based on functional leaf traits. *New Phytol.* 152, 69–83. <https://doi.org/10.1046/j.0028-646X.2001.00239.x>
- Gratani, L., 2014. Plant Phenotypic Plasticity in Response to Environmental Factors. *Adv. Bot.* 2014, 1–17. <https://doi.org/10.1155/2014/208747>
- Guariguata, M.R., Ostertag, R., 2001. Neotropical secondary forest succession: Changes in structural and functional characteristics. *For. Ecol. Manage.* 148, 185–206. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(00\)00535-1](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00535-1)
- Hubbell, S.P., 1986. Biology, chance, and history and the structure of tropical rain forest tree communities. *Community Ecol.* 314–329.
- Kenzo, T., Yoneda R, M.Y., Azani, A.M., Majid, M.N., 2016. GROWTH AND PHOTOSYNTHETIC RESPONSE OF FOUR MALAYSIAN INDIGENOUS TREE SPECIES UNDER DIFFERENT LIGHT CONDITIONS. *J. Trop. For. Sci.* 23, 271–281.
- Kim, G.T., Yano, S., Kozuka, T., Tsukaya, H., 2005. Photomorphogenesis of leaves: Shade-avoidance and differentiation of sun and shade leaves. *Photochem. Photobiol. Sci.* 4, 770–774. <https://doi.org/10.1039/b418440h>
- Kitajima, K., 1996. Ecophysiology of Tropical Tree Seedlings, in: *Tropical Forest Plant Ecophysiology*. pp. 559–596. [https://doi.org/10.1007/978-1-4613-1163-8\\_19](https://doi.org/10.1007/978-1-4613-1163-8_19)
- Krause, G.H., Koroleva, O.Y., Dalling, J.W., Winter, K., 2001. Acclimation of tropical tree seedlings to excessive light in simulated tree-fall gaps. *Plant, Cell Environ.* 24, 1345–1352. <https://doi.org/10.1046/j.0016-8025.2001.00786.x>
- Krause, G.H., Winter, K., 1996. Photoinhibition of Photosynthesis in Plants Growing in Natural Tropical Forest Gaps. A Chlorophyll Fluorescence Study. *Orig. Pap.* 109, 456–462.
- LaFrankie, J. V., Ashton, P.S., Chuyong, G.B., Co, L., Condit, R., Davies, S.J., Foster, R., Hubbell, S.P., Kenfack, D., Lagunzad, D., Losos, E.C., Nor, N.S.M., Tan, S., Thomas, D.W., Valencia, R., Villa, G., 2006. Contrasting structure and composition of the understory in species-rich tropical rain forests. *Ecology* 87, 2298–2305. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2006\)87\[2298:CSACOT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2006)87[2298:CSACOT]2.0.CO;2)
- Lambers, H., Chapin, I., Stuart, F., Pons, T.L., 2008. *Plant physiological ecology*, Springer S. ed.
- Macfarlane, C., Grigg, A., Evangelista, C., 2007. Estimating forest leaf area using cover and fullframe fisheye photography: Thinking inside the circle. *Agric. For.*

- Meteorol. 146, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2007.05.001>
- Maciel, M.N.M., Watzlawick, L.F., Schoeninger, E.R., 2002. Efeito da radiação solar na dinâmica de uma floresta. *Rev. Ciências Exatas e Nat.* 4, 101–114.
- Martini, A.M.Z., 2002. Estrutura e composição da vegetação e chuva de sementes em sub-bosque, clareiras naturais e área perturbada por fogo em floresta tropical no sul da Bahia.
- Martins, J.R., Alvarenga, A.A., De Castro, E.M., Da Silva, A.P.O., Oliveira, C., Alves, E., 2009. Anatomia foliar de plantas de alfavaca-cravo cultivadas sob malhas coloridas. *Cienc. Rural* 39, 82–87.
- Melo Júnior, J.C.F. de, Silva, M.M. da, Amorim, M.W., Tussolini, E.G.R., 2017. Adaptações estruturais de sete espécies ciófitas arbustivas de Floresta Ombrófila Densa. *Hoehnea* 44, 193–201. <https://doi.org/10.1590/2236-8906-77/2016>
- Monsi, M., Saeki, T., 1953. The light factor in plant communities and its significance for dry matter production. *Japanese J. Bot.* 14, 22–52.
- Montgomery, R.A., Chazdon, R.L., 2001. Forest structure, canopy architecture, and light transmittance in tropical wet forests. *Ecology* 82, 2707–2718. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2001\)082\[2707:FSCAAL\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2001)082[2707:FSCAAL]2.0.CO;2)
- Muscolo, A., Bagnato, S., Sidari, M., Mercurio, R., 2014. A review of the roles of forest canopy gaps. *J. For. Res.* 25, 725–736. <https://doi.org/10.1007/s11676-014-0521-7>
- Nicotra, A.B., Chazdon, R.L., Iriarte, S.V.B., 1999. Spatial heterogeneity of light and woody seedling regeneration in tropical wet forests. *Ecology* 80, 1908–1926. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(1999\)080\[1908:SHOLAW\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(1999)080[1908:SHOLAW]2.0.CO;2)
- Peppe, D.J., Royer, D.L., Cariglino, B., Oliver, S.Y., Newman, S., Leight, E., Enikolopov, G., Fernandez-Burgos, M., Herrera, F., Adams, J.M., Correa, E., Currano, E.D., Erickson, J.M., Hinojosa, L.F., Hoganson, J.W., Iglesias, A., Jaramillo, C.A., Johnson, K.R., Jordan, G.J., Kraft, N.J.B., Lovelock, E.C., Lusk, C.H., Niinemets, Ü., Peñuelas, J., Rapson, G., Wing, S.L., Wright, I.J., 2011. Sensitivity of leaf size and shape to climate: Global patterns and paleoclimatic applications. *New Phytol.* 190, 724–739. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2010.03615.x>
- Piotto, D., Montagnini, F., Thomas, W., Ashton, M., Oliver, C., 2009. Forest recovery after swidden cultivation across a 40-year chronosequence in the Atlantic forest of southern Bahia, Brazil. *Plant Ecol.* 205, 261–272. <https://doi.org/10.1007/s11258-009-9615-2>
- Pisek, J., Ryu, Y., Alikas, K., 2011. Estimating leaf inclination and G-function from leveled digital camera photography in broadleaf canopies. *Trees - Struct. Funct.* 25, 919–924. <https://doi.org/10.1007/s00468-011-0566-6>
- Powles, S.B., 1984. Photoinhibition of photosynthesis induced by visible light. *Plant Physiol.* 35, 15–44.
- Rich, P.M., Vieglais, D.A., Burek, K., Webb, N., 1999. HemiView user manual.
- Rodriguez, G., Maiti, R., Kumari, A., 2016. Biodiversity of Leaf Traits in Woody Plant Species in Northeastern Mexico: A Synthesis. *For. Res* 5, 169.

- Terashima, I., Yano, S., 2004. Developmental process of sun and shade leaves in *Chenopodium album* L. *Plant, Cell Environ.* 27, 781–793.  
<https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2004.01182.x>
- Thomas, W.W.W.W., 2003. Natural vegetation types in Southern Bahia. *New York Bot. Gard.* 111 1–4. <https://doi.org/10.3900/fpj.4.2.97.p>
- Tichý, L., 2016. Field test of canopy cover estimation by hemispherical photographs taken with a smartphone. *J. Veg. Sci.* 27, 427–435.  
<https://doi.org/10.1111/jvs.12350>
- Valladares, F., Allen, M.T., Pearcy, R.W., Valladares, F., Allen, M.T., Pearcy, R.W., 2004. International Association for Ecology Photosynthetic Responses to Dynamic Light under Field Conditions in Six Tropical Rainforest Shrubs Occuring along a Light Gradient Published by : Springer in cooperation with International Association for Ecology Stab. *J. Exp. Bot.* 111, 505–514.
- Way, D.A., Pearcy, R.W., 2012a. Tree Physiology review Sunflecks in trees and forests : from photosynthetic physiology to global change biology. *Tree Physiol. Rev.* 1066–1081. <https://doi.org/10.1093/treephys/tps064>
- Way, D.A., Pearcy, R.W., 2012b. Sunflecks in trees and forests: From photosynthetic physiology to global change biology. *Tree Physiol.* 32, 1066–1081.  
<https://doi.org/10.1093/treephys/tps064>
- Whitmore, T., 1978. Gaps in the forest canopy. *Trop. Trees as living Syst.*
- Whitmore, T.C., 1989. CANOPY GAPS AND THE TWO MAJOR GROUPS OF FOREST TREES. *America (NY).* 70, 536–538.