

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

**Influência de fatores ambientais nos atributos foliares de espécies  
arbóreas em florestas montanas do sul da Bahia, Brasil**

**Orientador/e-mail:** Marcelo Schramm Mielke / [msmielke@uesc.br](mailto:msmielke@uesc.br)

**Nome do Candidato/e-mail:** Carolina Reis de Brito/ [carolina@brixtal.com.br](mailto:carolina@brixtal.com.br)

**Nível/Ano de ingresso:** Doutorado/2020

**Ilhéus 20/01/2021**

## RESUMO

O processo de mudanças climáticas globais é uma das principais ameaças a biodiversidade de ecossistemas naturais. Este processo é atribuído a ação antrópica e as predições quanto a seus efeitos na temperatura e eventos extremos do planeta são alarmantes. Apesar de existirem estudos que tratam da distribuição e diversidade de espécies em todo mundo, a quantidade de estudos com foco em regiões tropicais é menor, em especial na Mata Atlântica. Este é um bioma que apresenta maior risco em relação a eventos extremos de mudanças na temperatura e regime de chuvas, tendo em vista que já sofreu grande degradação e fragmentação. Compreender como espécies nativas da Mata Atlântica respondem ao aumento da temperatura em eventos extremos, tais como ondas de calor, é de extrema importância para estimar futuros padrões de distribuição e administrar áreas de conservação. Portanto, propomos neste trabalho o estudo do efeito de fatores ambientais, tais como temperatura e umidade, ao longo de um gradiente altitudinal, em espécies nativas de Mata Atlântica. Esperamos através desta pesquisa identificar espécies mais vulneráveis a mudanças climáticas, padrões de resposta relacionados ao estágio sucessional e sugerir medidas para conservação.

Palavras-chave: Mudanças climáticas, aclimação térmica, ondas de calor, sucessão ecológica, floresta montana, atributos foliares.

## INTRODUÇÃO

Uma das principais preocupações quanto ao futuro no século XXI é o efeito das mudanças climáticas globais na conservação da biodiversidade. Embora suas consequências já são registradas em todo o mundo com o aumento da temperatura, degelo de calotas polares e ondas de calor (IPCC 2014), os possíveis efeitos nas regiões tropicais ainda são pouco conhecidos, devido ao menor número de pesquisas nestas regiões (Anderson, 2016; Nievola et al. 2017). Outro fato que torna importante o estudo sobre as consequências das mudanças climáticas em regiões tropicais é a Hipótese da Variabilidade Climática (Janzen 1967; Wright et al., 2009; Valladares et al., 2014). Segundo esta hipótese, espécies tropicais apresentam menor capacidade de aclimação às mudanças na temperatura uma vez que estas espécies estão sujeitas a menor flutuação térmica se comparadas a espécies de clima temperado (Nievola et al., 2017; Müller et al., 2017). Mesmo que este padrão seja observado em diversas pesquisas (Esquivel-Muelbert et al., 2018; Valladares et al., 2014), algumas espécies tropicais expostas a maior temperatura apresentam aumento em atributos relacionados a fitness (Cai et al., 2012; Fu *et al.* 2015; Müller et al., 2017; Nievola et al., 2017), de forma que é desconhecido se existe um padrão na resposta ao aumento na temperatura em espécies tropicais. Portanto, é altamente recomendado o desenvolvimento de pesquisas que identifiquem possíveis respostas ao cenário de mudanças climáticas em regiões tropicais (Cavalere et al., 2015).

Espécies de Mata Atlântica possuem especial risco no contexto de sua conservação, visto que esse bioma é um dos três *hotspots* mais vulneráveis ao cenário de mudanças climáticas no mundo (Bellard et al., 2014). Esta fragilidade é produto de uma grande degradação e fragmentação, a qual reteve cerca de 28% (Rezende et al 2018) de seus 150 milhões hectares de área inicial (Ribeiro et al., 2009). Ainda assim, a Mata Atlântica possui uma vasta diversidade, proveniente de suas diferentes formações florestais (Vitória

et al. 2019). O estudo das consequências do aumento da temperatura nesta região é relevante para o desenvolvimento e manejo de unidades de conservação (Lemes et al., 2013; Raghunathan et al., 2019). Neste contexto, gradientes altitudinais são muito utilizados em estudos nos quais simulam mudanças climáticas (Cai et al., 2012; Almeida et al., 2012; Ran et al., 2013). Estes são considerados “laboratórios naturais”, nos quais ao longo da mudança na altitude ocorrem mudanças nas condições edafoclimáticas (Frene et al., 2013). Sendo assim, são gradientes altitudinais são fortes aliados na investigação as possíveis relações entre temperatura, umidade e os atributos funcionais de espécies vegetais.

Atributos funcionais, ou características funcionais, são características mensuráveis anatômicas, morfológicas ou fisiológicas, que possuem relação com a fitness do indivíduo. Estas características são excelentes ferramentas, capazes de relacionar o estado do organismo à condição ambiental a qual ele foi exposto (Violle et al., 2007). Dentre os atributos funcionais existentes, os atributos foliares apresentam especial interesse pelo fato de as folhas serem órgão altamente plásticos, além de serem de fácil obtenção. Compreender como os atributos foliares estão relacionados à tolerância a seca e a temperatura em gradientes altitudinais é importante para prever as respostas das espécies a ameaças do aquecimento global e eventos extremos (Salgado-Negret et al., 2015; Mujawamariya et al., 2018). Tendo isto em mente, este projeto possui três capítulos: o primeiro terá um desenvolvimento em campo (observacional), o segundo apresentará um enfoque experimental, e o terceiro será um capítulo teórico, com uma revisão sistemática em forma de meta-análise.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo geral**

Este projeto visa compreender e avaliar qual a influência do gradiente altitudinal e seus fatores ambientais em atributos foliares de espécies arbóreas nativas da Mata Atlântica e estimar como espécies tropicais irão responder à cenários de aumento na temperatura em eventos de ondas de calor no contexto de Mudanças Climáticas.

### **CAPÍTULO 1: Influência de um gradiente altitudinal em atributos foliares de espécies arbóreas nativas da Mata Atlântica do sul da Bahia**

Gradientes altitudinais apresentam mudanças graduais na temperatura e umidade e podem ser utilizados como “laboratórios naturais” (Frene et al 2013) em estudos os quais simulam mudanças climáticas (Ran et al., 2013; Cai et al., 2012; Almeida et al., 2012). Na região do sul da Bahia encontramos o complexo de montanhas Serra Bonita, que apresenta uma vegetação de Mata Atlântica distribuída em um gradiente altitudinal que ultrapassa 1000 m acima do mar (Rocha e Amorim, 2012). Dentro desta área encontramos a Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) Serra Bonita, com 2000ha. Este capítulo tem o intuito de avaliar a plasticidade de atributos foliares em espécies que ocorrem ao longo do gradiente altitudinal na RPPN Serra Bonita, que se encontra no Sul da Bahia. Serão então avaliadas as variações de atributos foliares em cinco espécies ao longo deste gradiente altitudinal, nas altitudes em torno de 500m, 700m e 900m. Este

gradiente amostrado reflete uma variação de cerca de 3°C (Rocha 2016), variação esta significativa para mudanças climáticas, tendo em vista que se encontra entre os cenários de mitigação intermediária na emissão de gases estufa (RCP4,5 e 6,0) e o de menor mitigação (RCP8,5) (IPCC 2014).

### **Objetivos específicos**

- Analisar a influência do gradiente altitudinal em atributos foliares de cinco espécies de Mata Atlântica com ampla distribuição na RPPN Serra Bonita;

### **Hipótese:**

i) Espécies pioneiras, por serem mais plásticas, apresentam maior variação nos atributos foliares ao longo gradiente altitudinal;

### **Metodologia**

#### **a) Área de estudo**

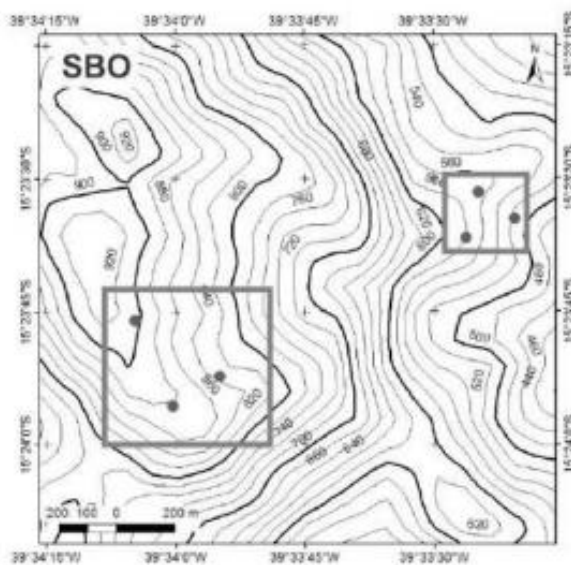
Pretende-se realizar esse estudo na RPPN Serra Bonita (15° 23' S e 39° 33'O) localizada no complexo de montanhas Serra Bonita, entre municípios de Camacan e Pau-Brasil (BA) (Rocha e Amorim, 2012). A RPPN Serra Bonita possui mais de 2.000 hectares e variação altitudinal entre 300 a 1.080 m acima do nível do mar (Amorim et al., 2009). A sua composição é de Floresta Ombrófila, contudo há a presença de elementos de floresta estacional semidecidual nas áreas mais baixas da reserva (Rocha e Amorim, 2012). O clima é do tipo Af na classificação de Köpen, quente e úmido. Nesta região encontram-se seis parcelas de 0,1ha com levantamento total de espécies arbóreas com DAP acima de 2,5 cm (Rocha 2016). Estas parcelas estão subdivididas em 10 subunidades de 2 x 50 m, dispostas paralelamente e equidistantes 20 m entre si. Estas subparcelas englobam o gradiente de cerca de 500 m.a.m. a 900 m.a.m.

#### **b) Seleção de espécies e amostragem**

Com base na literatura, serão selecionadas cinco espécies com base no levantamento florístico de Amorim et al. (2009) e Rocha e Amorim (2012) na região. As espécies corresponderão a diferentes guildas sucessionais, para relacionar a guilda a resposta de aclimatação. As espécies ainda não foram selecionadas, porém *Euterpe edulis*, *Cecropia glazovii*, *Tapirira guianensis*, *Guapira obtusa*, *Guapira opposita*, *Bathysa mendoncae* e *Plathyenia reticulata* são espécies registradas para a região, presentes ao longo de todo gradiente com grande abundância, e são possíveis espécies para este trabalho. Dentre estas espécies supracitadas, *C. glaziovii* e *P. foliosa* são espécies iniciais, tolerantes a luz. Já *E. edulis* e *T. guianensis* são secundárias iniciais, ou seja, tolerantes a sombra de sobosque, enquanto *B. mendoncae*, *G. obtusa* e *G. opposita* são secundárias tardias, tolerantes a sombra de dossel.

Este estudo será desenvolvido em três parcelas localizadas em Serra Bonita, BA. Estas parcelas se localizam em 513m, 700m e 904m acima do mar. As amostras (indivíduos de cada espécie) serão obtidas através de busca ativa ao longo das parcelas, mas serão evitadas amostras muito próximas. Quando não for possível evitar amostras próximas, apenas uma será escolhida como representativa. O tempo de vida de um indivíduo, fator que pode influenciar no estado de suas características funcionais, será mensurado indiretamente através do DAP ou altura. Assim, as amostras serão subdivididas em níveis

contínuos baseado em sua altura ou DAP. Serão obtidos parâmetros microclimáticos nas áreas por meio de um sensor de temperatura e umidade Hobo H8 Pro Series (Onset Computer, Bourne, Massachusetts, USA) que será instalado em diferentes altitudes para caracterização microclimática de cada área, assim como a abertura de dossel com fotos hemisféricas. Não há variação significativa no solo da área (Rocha e Amorim, 2012) e não será coletado material para análise do solo. A inclinação da área será mensurada com um clinômetro transversal aos indivíduos. Atributos funcionais foliares serão coletados nestas populações ao longo de um ano para amostrar a variação climática ao longo deste período.



**Figura 1:** Mapa disponível em Rocha (2016) com a localização das seis parcelas de 0,1ha distribuídas ao longo do gradiente altitudinal de Serra Bonita. O mapa demonstra as curvas de níveis e a coordenada de cada uma das seis parcelas. Os quadrados destacam a região entre 500m (à direita) e até 900m (à esquerda). Uma parcela será designada à 700m.

### c) Atributos foliares

As variáveis a serem mensuradas neste trabalho (variáveis resposta) são atributos foliares. Atributos foliares são características funcionais (ou atributos funcionais), que variam de acordo com o ambiente no qual a planta se encontra. Os atributos aqui propostos para estudo estão relacionados ao comportamento hídrico e fotossintético dos indivíduos. Apenas folhas saudáveis, completamente expandidas, com ausência de clorose, herbivoria ou qualquer tipo de patógeno, serão amostradas. As medidas fisiológicas serão obtidas primeiro, tendo em vista que a planta precisa estar intacta para coleta de dados. Para tal, será estimado o Índice do conteúdo de clorofila (ICF) através de um medidor portátil de clorofila ClorofiLog (Falker, Brasil). 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).

Em seguida será estimada a fluorescência da clorofila a: A emissão da fluorescência da clorofila a será mensurada por meio de um fluorômetro portátil Pocket PEA (Hansatech Instruments, UK). Será colocado um clipe na folha para mantê-la no escuro durante 20 minutos garantindo a oxidação de todo o sistema de transporte de elétrons da fotossíntese.

Após esse período, as folhas serão expostas a um pulso saturante de luz (3500  $\mu\text{mol}$  fótons  $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , comprimento onda de 650 nm, por 1 s), e os sinais de emissão de fluorescência registrados no sistema de aquisição de dados do Pocket PEA, utilizando um software específico. Dentre os parâmetros obtidos, serão selecionados o rendimento quântico potencial do fotossistema II (Fv/Fm), a eficiência máxima de excitação não-fotoquímica ( $\phi\text{Do}$ ), a densidade de centro de reação por clorofila (RC/ABS) e o índice de desempenho (PI abs) (Strasser e Strasser, 1995).

Após as mensurações não destrutivas, cada indivíduo terá uma seção coletada para análise de suculência e folhas coletadas para análise morfológica, via digitalização. Cada folha terá uma sessão de 1  $\text{cm}^2$  retirada, essa sessão será hidratada até o ponto de saturação ao longo de 24h em ambiente resfriado de 4°C. Em seguida esse material será pesado e obtido o peso fresco máximo. Após, o material será completamente seco em uma estufa a 50°C e posteriormente pesado para obtenção do peso seco. Para suculência será usada a equação  $\text{Suculência (g m}^{-2}) = (\text{Peso Fresco Máximo} - \text{Peso Seco}) / \text{Área}$  (Mantovani, 1999). Quanto a análise morfológica, a área foliar (AF) será estimada através de imagens com um equipamento de digitalização convencional, e mensurada através do software *Image ProPlus*. Esta folha será então seca em estufa a 50°C até alcançar o peso seco. Para cálculo de massa específica foliar será utilizada a equação  $\text{MFE (g m}^{-2}) = \text{Peso seco} / \text{Área}$ .

Serão coletadas amostras de 1  $\text{cm}^2$  da área intercostal de cada folha para estimativa quanto aos parâmetros anatômicos capazes de influenciar taxas fotossintéticas (Carins-Murphy et al., 2012), dentre eles: espessura e perimetria do mesofilo, áreas do mesofilo ocupada por parênquima e espaços intercelulares, densidade de venação e densidade estomática. As amostras serão retiradas e fixada em glutaraldeído 2,5% em tampão fosfato 0.1 M ou FAA 70%. Posteriormente elas serão desidratadas em série alcoólica crescente, perfundidas por resina de metacrilato, sendo então seccionadas e coradas com Azul de Toluidina 0,5% (O'Brien e McCully, 1981). Os parâmetros anatômicos serão quantificados por meio do programa *Image Pro-Plus*.

#### **d) Análise dos dados**

Os dados da parte observacional podem ser analisados através de uma regressão linear múltipla, com os fatores ambientais como variáveis explicativas. Uma associação multivariada de atributos também será analisada por meio de uma análise de componente principal (PCA) para averiguar se altitude explica a variação dos atributos foliares.

Todas as análises serão realizadas por meio do software estatístico R.

## **CAPÍTULO 2: Resposta de espécies nativas ao gradiente ambiental em três altitudes**

Existem poucos estudos que tratam das consequências do aumento na temperatura em espécies vegetais em regiões tropicais (Anderson, 2016). Estas regiões são extremamente importantes para o planeta por possuírem a maior diversidade, maior número de *hotspots* e comportarem as maiores florestas que têm papel fundamental no controle do clima mundial (Slot et al., 2016; Nievola et al., 2017). Alguns processos e respostas podem ser observados apenas através de condições controladas, e por isso é necessário o desenvolvimento de experimentos climáticos em regiões tropicais (Cavalere et al., 2015; Nievola et al. 2017; Slot et al 2019). Portanto, este capítulo tem interesse em simular um

evento de onda de calor em mudas de cinco espécies de Mata Atlântica em um experimento com condições controladas. Neste experimento pretendemos relacionar o estado dos atributos foliares das espécies em diferentes altitudes em condições controladas, apenas com variações na umidade, temperatura e luz. Também pretendemos comparar a variação nas respostas obtidas em campo no capítulo 1, com os dados obtidos neste capítulo, com condições controladas.

### **Objetivos específicos**

- Investigar como o aumento da temperatura altera a produtividade e relações hídricas;
- Relacionar a capacidade de aclimação térmica ao estágio sucessional;
- Identificar espécies com menor capacidade de aclimação térmica, mais vulneráveis a ameaça climática, e sugerir espécies prioritárias para conservação;

### **Hipóteses**

- i) Espécies tardias possuem menor extensão do ótimo térmico e conseqüente menor aclimação térmica se comparadas a espécies pioneiras;
- ii) Espécies pioneiras possuem altas taxas fotossintéticas em temperaturas mais altas;
- iii) Espécies tardias, que apresentam menor plasticidade térmica, apresentam maior risco a extinção e, portanto, são prioritárias para conservação;

### **Metodologia**

#### **a) Área de estudo**

Na região mais central do complexo Serra Bonita está localizada a Reserva Particular do Patrimônio Natural Serra Bonita (RPPN Serra Bonita), que possui atualmente uma área de cerca de 2.500 hectares. Fora da RPPN Serra Bonita, e na base do complexo de montanhas Serra Bonita encontramos a Fazenda Santo Antônio. Parte do experimento será desenvolvido lá, sendo que estas bases são de grande importância para o suporte e desenvolvimento do experimento. Outra parte do experimento será realizado a nível do mar, na Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC), no campo de estudos agrônômicos. Cada altitude consistirá em um tratamento, compondo três tratamentos cada um em uma altitude diferente: 0 m.a.m, 200 m.a.m e 800 m.a.m.

#### **b) Espécies de estudo**

As espécies selecionadas para este capítulo serão as mais próximas possível evolutivamente das utilizadas no capítulo 1. Elas serão adquiridas através do Programa Arboretum de Conservação e Restauração da Diversidade Florestal, localizado em Teixeira de Freitas (BA).

#### **c) Experimento de onda de calor**

Esta etapa experimental pretende comparar o estado de atributos foliares de espécies nativas em diferentes temperaturas e umidades, simulando uma onda de calor. O experimento será conduzido com mudas envasadas em uma área experimental (*common*

*garden*) em condições semi-controladas em três altitudes diferentes: no campus da UESC (0m.a.m), na Fazenda Santo Antônio (200m.a.m) e no Centro de Pesquisa da RPPN Serra Bonita (800m.a.m.). O tratamento de 800m apresentará condições de maior umidade e menor temperatura, enquanto o tratamento à nível do mar apresentará condições mais quentes e com menor umidade. O tratamento de 200m apresentará condições intermediárias. Cada tratamento (Altitude) possuirá duas intensidades de luz: sombra e sol. Essa intensidade possuirá réplicas, constituindo, dois plots iluminados (Sol) e dois plots com sombreamento de uma caixa de sombreamento (Sombra) (fig2). Esta diferença de iluminação tem como objetivo avaliar a resposta a altitude de espécies com diferentes tolerâncias à luz.

Altitude/luz	Sombra a	Sombra b	Sol a	Sol b
<b>0m</b>	sp1 x 3	sp1 x 3	sp1 x 3	sp1 x 3
	sp2 x 3	sp2 x 3	sp2 x 3	sp2 x 3
	sp3 x 3	sp3 x 3	sp3 x 3	sp3 x 3
	sp4 x 3	sp4 x 3	sp4 x 3	sp4 x 3
	sp5 x 3	sp5 x 3	sp5 x 3	sp5 x 3
<b>200 m</b>	sp1 x 3	sp1 x 3	sp1 x 3	sp1 x 3
	sp2 x 3	sp2 x 3	sp2 x 3	sp2 x 3
	sp3 x 3	sp3 x 3	sp3 x 3	sp3 x 3
	sp4 x 3	sp4 x 3	sp4 x 3	sp4 x 3
	sp5 x 3	sp5 x 3	sp5 x 3	sp5 x 3
<b>800 m</b>	sp1 x 3	sp1 x 3	sp1 x 3	sp1 x 3
	sp2 x 3	sp2 x 3	sp2 x 3	sp2 x 3
	sp3 x 3	sp3 x 3	sp3 x 3	sp3 x 3
	sp4 x 3	sp4 x 3	sp4 x 3	sp4 x 3
	sp5 x 3	sp5 x 3	sp5 x 3	sp5 x 3

**Figura 2:** Esquema do desenho experimental desenvolvido em três localidades. Cada altitude corresponderá a um tratamento, variando de 0 m acima do mar, até 800 m acima do mar. Os tratamentos serão subdivididos em duas intensidades de luz, sendo elas sombra e sol. As intensidades possuirão duplicata. Serão distribuídas cinco espécies de guildas sucessionais diferentes de forma aleatória entre os tratamentos. Os tratamentos receberão 12 réplicas de cada espécie, distribuídas entre as duas intensidades de luz.

Cada tratamento receberá 12 mudas de cada uma das cinco espécies selecionadas, totalizando 60 mudas por tratamento. Em suma serão 3 tratamentos (altitudes) x 2 intensidades de luz x 2 duplicatas de intensidade de luz x 5 espécies x 3 indivíduos em cada duplicata, totalizando 180 mudas.

As mudas serão obtidas do Programa Arboretum de Conservação e Restauração da Diversidade Florestal, e, portanto, apresentarão baixa variabilidade genética e serão distribuídas de forma aleatória entre os tratamentos. Elas serão transplantadas para vasos de 1,5L, contendo substrato (solo, areia, e composto orgânico, 3:2:1). A irrigação será controlada duas vezes por semana até atingir a capacidade de campo. A radiação fotossinteticamente ativa será mensurada ao longo do experimento com o radiômetro S-LIA-M003, acoplado à estação meteorológica Hobo Micro Station Data Logger (Onset, USA). O data logger será programado para registrar as condições em intervalos de 5



minutos e salvar dados a cada 30 min. Ao final de seis meses de experimento já é esperado obter resultados de aclimatação térmica e será feita a coleta de dados.

#### **d) Avaliação da capacidade fotossintética**

Os parâmetros de fluorescência, concentração de pigmentos e anatomia serão obtidos conforme a metodologia explicitada no capítulo 1. Além destes parâmetros, também serão obtidos dados de trocas gasosas neste experimento. Para tal, as mudas serão a curvas de resposta a luz utilizando-se do analisador de trocas gasosas por infravermelho (IRGA) LI6400 (Li-Cor, USA), equipado com a luz 6400-02B RedBlue. Curvas serão construídas com base em Cerqueira et al. (2017) entre zero e 1600  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . As curvas serão ajustadas segundo a equação descrita em Prado & Moraes (1997), visando quantificar as variáveis taxa fotossintética ( $Pn_{\text{max}}$ ) e ponto de saturação luminosa ( $I_{\text{max}}$ ) através do programa elaborado por Lobo et al. (2013). Também serão estimadas com o mesmo equipamento a condutância estomática ( $g_e$ ) e taxa de transpiração ( $E$ ). Por meio do valor de  $Pn$  será calculada a taxa de assimilação ( $A$ ) e estimado a eficiência do uso de água ( $WUE$ ) através da equação  $WUE = A/E$ , e a eficiência interna com a equação  $WUE_i = A/g$  (Beer et al., 2009).

#### **e) Avaliação do crescimento**

Finalmente, indivíduos de cada espécie serão coletados por completo e separados em suas porções de caule, pecíolo, folha e raiz. Estas partes serão armazenadas em sacos de papel e secos a 55°C até a peso seco constante. Após essa etapa, cada porção será pesada em balança digital com precisão de 0,01 g para mensuração de investimento de biomassa em cada estrutura da planta.

#### **f) Análise dos dados**

Para o experimento será utilizado testes ANOVA (análise de variância) com a altitude e luz como fator fixo e o plot/sombreamento e espécie com fatores aleatórios. O modelo linear utilizado seguirá a metodologia de Ntawuhiganayo et al. (2019) adaptado.

Todas as análises serão realizadas por meio do software estatístico R.

### **CAPÍTULO 3: Padrão de resposta de espécies tropicais e temperadas em experimentos de aquecimento**

Uma das mais importantes hipóteses discutidas para mudanças climáticas em espécies tropicais é a hipótese da variabilidade climática (Nievola et al., 2017; Müller et al., 2017). Esta hipótese defende que espécies tropicais estão expostas a condições climáticas mais estáveis, com menor flutuações térmicas se comparadas a outras regiões e, portanto, apresentam menor capacidade de aclimatação às mudanças na temperatura (Janzen 1967; Wright et al., 2009; Valladares et al., 2014). Apesar de ser amplamente discutida como argumento para fragilidade de espécies tropicais (Slot et al 2016), existem divergências quanto a resposta de espécies vegetais tropicais. Em alguns trabalhos foi observada uma resposta negativa (Esquivel-Muelbert et al., 2018; Valladares et al., 2014), enquanto algumas espécies tropicais expostas a maior temperatura apresentam aumento em atributos relacionados a fitness, como aumento na taxa de crescimento e maior germinação de sementes (Cai et al., 2012; Fu *et al.* 2015; Müller et al., 2017; Nievola et

al., 2017). Dessa forma é ainda desconhecido se existe um padrão de resposta para espécies tropicais para o aumento na temperatura e se existe mesmo maior impacto para espécies tropicais se comparadas a demais espécies. Este capítulo então visa averiguar através de uma meta análise como espécies tropicais respondem ao aumento da temperatura. Será avaliado em experimentos de aquecimento a taxa de crescimento de espécies tropicais e não tropicais e comparados os dois grupos.

### **Objetivos específicos:**

- Verificar se a hipótese da variabilidade climática influencia em um menor crescimento em espécies tropicais sob o aumento na temperatura;

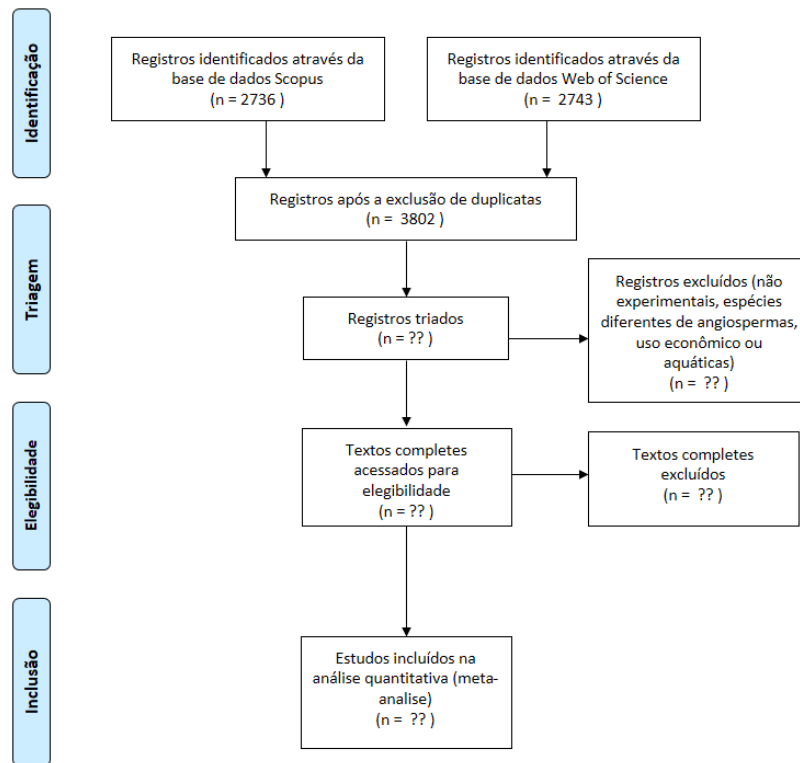
### **Hipóteses**

i) Espécies tropicais apresentam menor ótimo térmico e como consequência apresentam menor taxa de crescimento quando expostas a maiores temperaturas se comparadas a espécies temperadas;

### **Metodologia**

#### **a) Revisão sistemática com meta-análise**

Este capítulo está se desenvolvendo através de uma revisão sistemática seguindo Pullin e Stewart (2007). A busca por artigos foi desenvolvida através dos bancos de dados Scopus e Web of Science. Os termos de busca utilizados foram “warming” AND “experiment” AND “plant’ or ‘tree’”, os quais obtiveram como retorno 2736 artigos pela plataforma Scopus e 2743 pela plataforma Web of Science. Posteriormente a extração de dados destas bases os dados foram organizados através e triados através da metodologia de bibliometria (*Science Mapping*) de Baldan (2020), utilizando o pacote Bibliometrix no software R. Assim, foram excluídas duplicatas e totalizando 3802 artigos para ambas as bases. Estes artigos serão triados pelo resumo afim de selecionar apenas os artigos que tratem de experimentos, com espécies de angiospermas, não comerciais e não aquáticas. Os resultados obtidos até o momento estão esquematizados no fluxograma abaixo (fig. 3).



**Figura 3:** Fluxo diagrama PRISMA mostrando o processo utilizado para seleção dos estudos para revisão sistemática.

Em seguida os artigos que foram aprovados na triagem serão lidos para seleção de elegibilidade, com posterior extração de dados e análise estatística. Serão extraídos dados correspondentes a espécies estudadas, morfotipos, tipo de experimento, variação térmica, tempo de aclimação, média da taxa de crescimento e desvio padrão. Caso seja necessário estas informações também servirão como moderadores.

### b) Análise estatística

Será empregado um teste  $Q$  de Cochran, para estimar se os estudos que compõem a meta-análise são homogêneos. Será utilizado um modelo de efeito aleatório, tendo em vista a grande variedade de metodologias e espécies. Um teste de Hedges  $g$  para tamanho de efeito de médias será feito para testar os dados. Caso seja necessário serão divididos em moderadores de acordo com a metodologia e/ou morfotipo. Um gráfico em floresta será desenvolvido para estimar e demonstrar o tamanho do efeito global ( $M^*$ ). Por fim, os vieses serão testados através de um teste de Shapiro, um teste funil (*funnel test*) e o teste “remover e preencher” (*trim and fill*).

Todas as análises serão realizadas por meio do software estatístico R.

## IMPACTOS DO ESTUDO PARA A CONSERVAÇÃO

Ainda são pouco conhecidos os possíveis efeitos de mudanças na temperatura em espécies arbóreas que ocorrem em regiões tropicais, devido ao menor número de pesquisas nesta região, se comparada a regiões subtropicais e temperadas (Thomas et al., 2009; Anderson, 2016; Holm et al., 2017; Nievola et al., 2017; Esquivel-Muelbert et al., 2018). Regiões tropicais possuem uma grande diversidade de espécies, o que dificulta estimativas quanto

a sua fragilidade a mudanças climáticas (Feeley et al., 2012; Bellard et al., 2014). Aliado a isto, a Hipótese da Variabilidade Climática ainda prevê pequena plasticidade para espécies tropicais (Wright et al., 2009; Feeley et al., 2012; Valladares et al., 2014), porém ainda não testadas (Anderson et al., 2016).

A Mata Atlântica corre especial risco no contexto de conservação de florestas tropicais devido a sua destruição e fragmentação (Colombo e Joly, 2010; Bellard et al., 2014). O efeito de mudanças climáticas em conjunto com a degradação antrópica pode causar grande risco para as espécies que ocorrem naturalmente neste bioma (Raghunathan et al., 2019). Para prever e minimizar as consequências das mudanças climáticas em espécies de árvores tropicais, é necessário compreender os processos ecológicos e respostas específicas que determinam como o clima influencia na distribuição e na aptidão das espécies (Olsen et al., 2016). Mais especificamente, este projeto visa avaliar a fragilidade a variação térmica em cinco espécies de Mata Atlântica e atribuir o risco de declínio destas populações no futuro. Sendo assim, espécies que demonstrarem maior fragilidade à variação térmica, ou seja, apresentarem menor aclimatação térmica, serão aquelas prioritárias para conservação. Também é recomendado que instituições para conservação mantenham, de diversas populações destas espécies, material genético para bancos de germoplasma, mudas para jardins botânicos, e sementes para bancos de sementes e assim perpetuar parcialmente a variabilidade da espécie. Este estudo contribui para compreensão de como espécies nativas respondem ao aumento da temperatura, e é de extrema importância para incorporar dados a modelagens, estimar espécies com maior risco de extinção, planejar áreas de conservação e organizar estratégias de manejo (Nicotra et al., 2010; Cavaleri et al., 2015; Raghunathan et al., 2019).

## REFERÊNCIAS

- Almeida, J. P., Montúfar, R., & Anthelme, F. (2013). Patterns and origin of intraspecific functional variability in a tropical alpine species along an altitudinal gradient. *Plant Ecology & Diversity*, 6(3-4), 423-433.
- Amorim, A. M., Jardim, J. G., Lopes, M. M. M., Fiaschi, P., Borges, R. A. X., de Oliveira Perdiz, R., & Thomas, W. W. (2009). Angiospermas em remanescentes de floresta montana no sul da Bahia, Brasil. *Biota Neotropica*, 9(3), 313-348.
- Anderson, J. T. (2016). Plant fitness in a rapidly changing world. *New Phytologist*, 210(1), 81-87.
- Baldam, Roquemar. Science Mapping (Bibliometria) with R Studio, Bibliometrix and international indexes. (2020) Ufes: Vitória, 2020. Disponível: <http://cope.ufes.br>. Access: 10/06/2020.
- Beer, C., Ciais, P., Reichstein, M., Baldocchi, D., Law, B. E., Papale, D., ... & Gianelle, D. (2009). Temporal and among-site variability of inherent water use efficiency at the ecosystem level. *Global biogeochemical cycles*, 23(2).
- Bellard, C., Leclerc, C., Leroy, B., Bakkenes, M., Veloz, S., Thuiller, W., & Courchamp, F. (2014). Vulnerability of biodiversity hotspots to global change. *Global Ecology and Biogeography*, 23(12), 1376-1386.
- Cai, Z. Q., Jiao, D. Y., Tang, S. X., Dao, X. S., Lei, Y. B., & Cai, C. T. (2012). Leaf photosynthesis, growth, and seed chemicals of Sacha Inchi plants cultivated along an altitude gradient. *Crop science*, 52(4), 1859-1867.
- Carins Murphy, M. R., Jordan, G. J., & Brodribb, T. J. (2012). Differential leaf expansion can enable hydraulic acclimation to sun and shade. *Plant, Cell & Environment*, 35(8), 1407-1418.

- Cavaleri, M. A., Reed, S. C., Smith, W. K., & Wood, T. E. (2015). Urgent need for warming experiments in tropical forests. *Global Change Biology*, 21(6), 2111-2121.
- 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*, 32(1), 191-202.
- Colombo, A. F., & Joly, C. A. (2010). Brazilian Atlantic Forest lato sensu: the most ancient Brazilian forest, and a biodiversity hotspot, is highly threatened by climate change. *Brazilian Journal of Biology*, 70(3), 697-708.
- Esquivel-Muelbert, A., Baker, T. R., Dexter, K. G., Lewis, S. L., Brienen, R. J., Feldpausch, T. R., ... & Higuchi, N. (2019). Compositional response of Amazon forests to climate change. *Global change biology*, 25(1), 39-56.
- Feeley, K. J., Rehm, E. M., & Machovina, B. (2012). perspective: The responses of tropical forest species to global climate change: acclimate, adapt, migrate, or go extinct?. *Frontiers of Biogeography*, 4(2).
- Frenne P. De., Graae B. J., Rodríguez-Sánchez F, Kolb A, Chabrierie O, Decocq G, Kort H. De, Schrijver A. De, Diekmann M, Eriksson O, Gruwez R, Hermy M, Lenoir J, Plue J, Coomes D. A., Verheyen K. (2013). Latitudinal gradients as natural laboratories to infer species' responses to temperature. *Journal of Ecology* 101:784–795
- Fu, G., Shen, Z. X., Sun, W., Zhong, Z. M., Zhang, X. Z., & Zhou, Y. T. (2015). A meta-analysis of the effects of experimental warming on plant physiology and growth on the Tibetan Plateau. *Journal of Plant Growth Regulation*, 34(1), 57-65.
- Holm, J. A., Kueppers, L. M., & Chambers, J. Q. (2017). Novel tropical forests: response to global change.
- IPCC, 2014: *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.). IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp
- Janzen, D. H. (1967). Why mountain passes are higher in the tropics. *The American Naturalist*, 101(919), 233-249.
- Lemes, P., Melo, A. S., & Loyola, R. D. (2014). Climate change threatens protected areas of the Atlantic Forest. *Biodiversity and Conservation*, 23(2), 357-368.
- Lobo, F. D. A., De Barros, M. P., Dalmagro, H. J., Dalmolin, Â. C., Pereira, W. E., De Souza, E. C., ... & Ortíz, C. R. (2013). Fitting net photosynthetic light-response curves with Microsoft Excel—a critical look at the models. *Photosynthetica*, 51(3), 445-456.
- Mantovani, A. (1999). A method to improve leaf succulence quantification. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 42(1), 0-0.
- Mujawamariya, M., Manishimwe, A., Ntirugulirwa, B., Zibera, E., Ganszky, D., Ntawuhiganayo Bahati, E., ... & Uddling, J. (2018). Climate Sensitivity of Tropical Trees Along an Elevation Gradient in Rwanda. *Forests*, 9(10), 647.
- Müller, L. L. B., Albach, D. C., & Zotz, G. (2017). 'Are 3° C too much?': thermal niche breadth in Bromeliaceae and global warming. *Journal of Ecology*, 105(2), 507-516.
- Nicotra, A. B., Atkin, O. K., Bonser, S. P., Davidson, A. M., Finnegan, E. J., Mathesius, U., ... & van Kleunen, M. (2010). Plant phenotypic plasticity in a changing climate. *Trends in plant science*, 15(12), 684-692.
- Nievola, C. C., Carvalho, C. P., Carvalho, V., & Rodrigues, E. (2017). Rapid responses of plants to temperature changes. *Temperature*, 4(4), 371-405.
- Ntawuhiganayo, E. B., Uwizeye, F. K., Zibera, E., Dusenge, M. E., Ziegler, C., Ntirugulirwa, B., ... Uddling, J. (2019). Traits controlling shade tolerance in tropical montane trees. *Tree Physiology*, 40, 183–197.

- O'Brien, T. P., & McCully, M. E. (1981). *The study of plant structure principles and selected methods* (No. 581.4 O2).
- Olsen, S. L., Töpper, J. P., Skarpaas, O., Vandvik, V., & Klanderud, K. (2016). From facilitation to competition: Temperature-driven shift in dominant plant interactions affects population dynamics in seminatural grasslands. *Global Change Biology*, 22(5), 1915-1926.
- Prado, C. D. A., & De Moraes, J. A. P. V. (1997). Photosynthetic capacity and specific leaf mass in twenty woody species of Cerrado vegetation under field conditions. *Photosynthetica*, 33(1), 103-112.
- Raghunathan, N., François, L., Dury, M., & Hambuckers, A. (2019). Contrasting climate risks predicted by dynamic vegetation and ecological niche-based models applied to tree species in the Brazilian Atlantic Forest. *Regional environmental change*, 19(1), 219-232.
- Ran, F., Zhang, X., Zhang, Y., Korpelainen, H., & Li, C. (2013). Altitudinal variation in growth, photosynthetic capacity and water use efficiency of *Abies faxoniana* Rehd. et Wils. seedlings as revealed by reciprocal transplantations. *Trees*, 27(5), 1405-1416.
- Ribeiro, M. C., Metzger, J. P., Martensen, A. C., Ponzoni, F. J., & Hirota, M. M. (2009). The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. *Biological conservation*, 142(6), 1141-1153.
- Rezende, C. L., Scarano, F. R., Assad, E. D., Joly, C. A., Metzger, J. P., Strassburg, B. B. N., ... & Mittermeier, R. A. (2018). From hotspot to hopespot: An opportunity for the Brazilian Atlantic Forest. *Perspectives in ecology and conservation*, 16(4), 208-214.
- Rocha, D. S. B., & Amorim, A. M. A. (2012). Altitudinal heterogeneity in northern Atlantic Forest: a case study in southeastern Bahia, Brazil. *Acta Botanica Brasilica*, 26(2), 309-327.
- Rocha D. S. B. (2016). *Diversidade Vegetal em Floresta Atlântica no Sul da Bahia: Uma Avaliação dos Efeitos Ambientais Sobre a Composição E Estrutura Da Comunidade Arbórea*. Dissertação de mestrado, Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, BA, Brasil.
- Salgado-Negret, B., Canessa, R., Valladares, F., Armesto, J. J., & Pérez, F. (2015). Functional traits variation explains the distribution of *Aextoxicon punctatum* (Aextoxicaceae) in pronounced moisture gradients within fog-dependent forest fragments. *Frontiers in plant science*, 6, 511.
- Strasser, B. J., & Strasser, R. J. (1995). Measuring fast fluorescence transients to address environmental questions: the JIP test, P. Mathis (Ed.), *Photosynthesis: From Light to Biosphere*, Vol. V. In *Proceedings of the Xth International Photosynthesis Congress*. Montpellier, France, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Slot, M., & Winter, K. (2016). The Effects of Rising Temperature on the Ecophysiology of Tropical Forest Trees. *Tree Physiology*, 6, 385-412.
- Slot, M., Krause, G. H., Krause, B., Hernández, G. G., & Winter, K. (2019). Photosynthetic heat tolerance of shade and sun leaves of three tropical tree species. *Photosynthesis Research*, 141(1), 119-130.
- Thomas, W. W., Jardim, J. G., Fiaschi, P., Mariano-Neto, E., & Amorim, A. M. (2009). Composição florística e estrutura do componente arbóreo de uma área transicional de Floresta Atlântica no sul da Bahia, Brasil. *Revista Brasileira de Botânica*, 32(1), 41-54.
- Valladares, F., Matesanz, S., Guilhaumon, F., Araújo, M. B., Balaguer, L., Benito-Garzón, M., ... & Nicotra, A. B. (2014). The effects of phenotypic plasticity and

- local adaptation on forecasts of species range shifts under climate change. *Ecology letters*, 17(11), 1351-1364.
- Violle, C., Navas, M. L., Vile, D., Kazakou, E., Fortunel, C., Hummel, I., & Garnier, E. (2007). Let the concept of trait be functional!. *Oikos*, 116(5), 882-892.
- Vitória, A. P., Alves, L. F., & Santiago, L. S. (2019). Atlantic forest and leaf traits: an overview. *Trees*, 1-13.
- Wright, S. J., Muller-Landau, H. C., & Schipper, J. A. N. (2009). The future of tropical species on a warmer planet. *Conservation biology*, 23(6), 1418-1426.

