



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

*Mapeamento de sistemas agroflorestais
na Costa do Cacau - Bahia.*

Orientador/e-mail: Daniel Piotto/daniel.piotto@ufsb.edu.br

Nome do Candidato/e-mail: Matheus Palma Rocha/mprocha.bio@gmail.com

Nível/Ano de ingresso: Doutorado/2019

**Ilhéus
29/09/2019**

RESUMO

O grande endemismo e a contínua ameaça de destruição e fragmentação da floresta atlântica no Brasil fizeram os remanescentes de vegetação costeira serem classificados com *hotspots* da biodiversidade global. No sul da Bahia as cabruças são sistemas agroflorestais tradicionais onde o cacau (*Theobroma cacao*) é plantado à sombra de florestas nativas raleadas. Facilmente confundidas com vegetação nativa, as cabruças não são substitutos para florestas com alta riqueza biológica uma vez que as plantações estão sofrendo alterações na sua composição de espécies ao longo do tempo. As recentes avaliações da distribuição da vegetação têm sido baseadas em dados de satélites ópticos, que podem ser enviesados pela presença de nuvens e pela mistura complexa de manchas de floresta e cabruças. Avanços nas técnicas e produtos de sensoriamento remoto, especialmente em tecnologias de detecção da luz compreendida (*Light Detection and Ranging*, LiDaR) tem melhorado a viabilidade de análises baseadas em árvores individuais. A utilização de algoritmos de detecção e delineamento individual de copa (*Individual Tree Detection and Delineation*, ITDD) é uma abordagem que tem sido utilizada em muitos estudos florestais para estimar biomassa acima do solo (*Above Ground Biomass*, AGB), identificação de espécies e análise de brechas nas florestas. No entanto as pesquisas realizadas utilizando ITDD são aplicadas em florestas boreais e raramente em florestas ombrófilas como a floresta atlântica. A hipótese deste trabalho é de que utilizando a tecnologia de sensoriamento remoto, LiDaR, é possível realizar uma análise individual das copas das árvores de floresta atlântica e cabruca e diferenciar estes ambientes pelo diâmetro das copas das árvores que compõem o dossel.

INTRODUÇÃO

Estima-se que apenas 0,4% da Floresta Atlântica permaneça intacta (SOS Mata Atlântica 1992). As perturbações ocorridas nesses ambientes são frequentemente associadas a atividades humanas (e. g. caça, exploração de madeira e outros produtos como mineração; Tabarelli et al 2005). Nos últimos 60 anos a região do litoral sul da Bahia sofreu grande intensificação atividade de desmatamento (Mendonça et al 1993, Thomas e Carvalho 1997). Sistemas agroflorestais (SAF) conhecidos como cabruca foram intensamente implantados no sul da Bahia em meados do século XIX e passaram por diversas modificações, incluindo períodos de expansão e redução de áreas cultivadas.

No início da década de 1960 a Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira (CEPLAC) promoveu um pacote tecnológico focado no aumento da produção de cacau através da redução dos níveis de sombreamento dos SAFs e a substituição de cabruças por plantações de cacau com árvores de sombreamento mono específicas. No entanto, devido à aversão ao risco predominante entre muitos fazendeiros, o programa não foi bem-sucedido em promover uma ampla substituição das cabruças ou redução dos níveis de sombreamento (Johns 1999). Na década de 1980 uma grande crise atingiu a produção local de cacau como resultado dos baixos preços do setor e da introdução da “vassoura de bruxa” *Moniliophthora perniciosa*. Muitas áreas de cabruca foram substituídas por culturas mais intensas ou pastos, enquanto outras foram simplesmente abandonadas. No entanto fatores ambientais e socioeconômicos da região cacaueira (e.g. clima, topografia, logística) não favoreceram a criação de gado ou cultivo de outras plantações, desse modo as cabruças permaneceram o principal componente da paisagem local. No começo da década de 1990 foi estimado que

70% dos 6800 km² de plantações de cacau na região eram cabruças. A legislação brasileira não permite mais que a Floresta Atlântica seja convertida em sistemas agroflorestais, desse modo não há novas cabruças sendo implantadas (Alger e Caldas 1994).

Ao longo da história nossa compreensão da distribuição das entidades ecológicas no espaço foi intensamente auxiliada por abordagens baseadas em processos (e.g. algoritmos, simulações estocásticas e modelos computacionais) e em fenômenos (e. g. modelos de regressão estatística) (Levin 1976, MacArthur e Wilson 1967). Tais modelos espaciais tem por objetivo auxiliar na compreensão dos processos ecológicos que atuam na distribuição das espécies e possibilitam predições ecológicas (como por exemplo a distribuição espacial; Pagel e Schurr 2012, Dietze 2017).

A hipótese da heterogeneidade em paisagens agrícolas afirma que paisagens com maior heterogeneidade na sua composição e estrutura podem desenvolver uma maior biodiversidade do que aquelas com menor heterogeneidade (Benton et al 2003, Oliver et al 2010, Fahrig et al 2011, Fahrig 2017, Wainwright et al 2018). Estudos recentes em Florestas Atlânticas mostram que a fragmentação florestal é uma das principais causas da extinção de espécies florestais em fragmentos florestais isolados (Cardoso da Silva e Tabarelli 2000). Isso sugere que o planejamento de conservação da região deve ser adaptado para dar enfoque à escala bioregional, que busca conectar fragmentos florestais isolados (Saatchi 2001).

Sensoriamento remoto é a tecnologia que permite obter imagens e outros tipos de dados, da superfície terrestre, por meio de captação e registro da energia refletida ou emitida pela superfície. A obtenção de dados por sensoriamento remoto, como qualquer outra atividade, requer o uso de energia. A energia com a qual operam os sensores remotos pode ser proveniente de uma fonte natural como a luz do Sol e o calor emitido pela superfície da Terra, ou pode ser artificial como, por exemplo, a do flash de uma câmera fotográfica e o sinal em micro-ondas produzido por um radar.

Avanços nas técnicas e produtos de sensoriamento remoto, especialmente em tecnologias de detecção da luz compreendida (Light Detection and Ranging, LiDaR) tem melhorado a viabilidade de análises baseadas em árvores individuais. Na última década o LiDaR aéreo se tornou líder em tecnologia de sensoriamento remoto para fazer caracterização de florestas 3D pois ele permite a extração de atributos da estrutura do dossel e das copas em diferentes resoluções espaciais, o que proporciona uma descrição estrutural da floresta mais significativa (Popescu 2003).

Embora seja difícil identificar áreas de cabruca que foram abandonadas numa matriz territorial com muitas manchas de floresta, através da utilização da tecnologia LiDaR, é possível gerar modelos de elevação do dossel de uma determinada área florestal e delinear copas individuais em áreas de floresta através de uma abordagem chamada segmentação individual de copas.

A utilização de algoritmos de detecção e delineamento individual de copa (Individual Tree Detection and Delineation, ITDD) é uma abordagem que tem sido utilizada em muitos estudos florestais para estimar biomassa acima do solo (*above ground biomass*, AGB), identificação de espécies e análise de brechas (GAPs) nas florestas (Yin 2019). Capaz de

extrair informações como altura da árvore e diâmetro da copa, os métodos de ITDD se tornaram um grande complemento para avaliações de campo (Yin 2019).

No entanto as pesquisas realizadas utilizando ITDD são aplicada em florestas boreais e raramente em florestas ombrófilas como a floresta atlântica (Dalponte et al 2014, Ørka et al 2012, Yang et al 2016) porque os algoritmos ITDD funcionam melhor quando as copas estão isoladas e com vazios entre elas (Koch et al 2014 e Wannasiri et al 2013).

OBJETIVOS

Recentemente foi realizada uma pesquisa utilizando dados obtidos através de tecnologia LiDaR. Em dezembro de 2015 foram coletados dados relacionados a uma área de 4529 ha na parte sul do Parque Estadual Serra do Conduru (Becknell et al 2018). Tendo em vista a problemática do manejo de florestas atlânticas no sul da Bahia devido ao complexo mosaico vegetacional da paisagem é possível utilizar estes dados para responder questões relevantes para o mapeamento das cabruças na costa do cacau.

Levando em consideração que o processo inicial de qualquer cabruca é a supressão da vegetação do sub-bosque, assim como algumas árvores do dossel, espera-se que os indivíduos nesses ambientes tenham uma vantagem em espaço, o que não acontecesse no caso de uma floresta conservada. Essa vantagem permite que mais luz solar penetre no interior da floresta e também permite que os indivíduos que foram mantidos no dossel possam desenvolver seus galhos de forma mais livre. A cultura da cabruca foi drasticamente reduzida e muitas áreas de plantio sofreram diferentes graus de influência (desde o abandono até a derrubada total e implantação de monoculturas), desse modo há uma certa dificuldade em classificar essas paisagens utilizando imagens de satélite. A hipótese deste trabalho é de que utilizando a tecnologia de sensoriamento remoto LiDaR é possível realizar uma análise das copas individuais das árvores de floresta atlântica e cabruca e diferenciar estes ambientes pelo tamanho das copas das árvores de compõem o dossel.

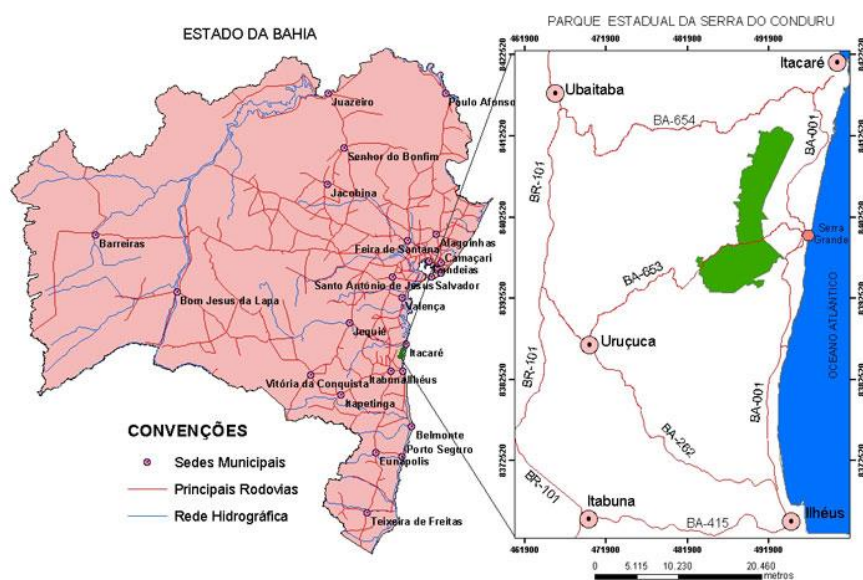
Objetivos Específicos

- Validar o uso de dados obtidos através da tecnologia de sensoriamento remoto LiDaR para detectar indivíduos arbóreas em floresta ombrófila e SAF cabruca.
- Avaliar a variação do diâmetro da copa de espécies presentes na cabruca e na floresta
- Avaliar a relação do diâmetro da copa de espécies arbóreas com cabruças de diferentes idades
- Avaliar a relação do diâmetro da copa de espécies arbóreas inseridas em sítios com diferentes índices de heterogeneidade de habitat
- Relacionar a diversidade estrutural de habitat com variáveis ambientais

METODOLOGIA

Área de Estudo

O Parque Estadual da Serra do Conduru (PESC) está inserido na Costa do cacau, uma das primeiras zonas turísticas criadas na Bahia - estabelecida no primeiro zoneamento realizado em 1991 - e atualmente reúne oito municípios: Canavieiras, Ilhéus, Itabuna, Itacaré, Pau Brasil, Santa Luzia, Una e Uruçuca (PDITS, 2015). O PESC foi criado pelo decreto 6227 de 1997 e posteriormente ampliado pelo decreto 8702 de 2003 o parque atualmente abrange uma área de 12% do município de Uruçuca, 5,3% do município de Itacaré e 0,8% do município de Ilhéus. Com 9275 ha de superfície, essa UC está distribuída entre os municípios da seguinte forma: 44% da unidade em Uruçuca, 41% da unidade em Itacaré e 15% da unidade em Ilhéus (figura 1) (PESC, 2019).



(Figura 1: Parque Estadual da Serra do Conduru, disponível em <http://www.parquedoconduru.eco.br/index.php/o-parque/mapas>”).

O PESC está inserido no bioma da Mata Atlântica e seu ecossistema é classificado como floresta ombrófila densa submontana em diversos estágios sucessionais. O projeto “Mata Atlântica Nordeste” de autoria do Jardim Botânico de Nova York e do Herbário da Comissão Executiva do Planejamento da Lavoura Cacaueira (CEPLAC) realizado no ano de 1993 deu início ao processo de formação do parque, que hoje conta com 52% de regularização fundiária. No entanto, apesar de contar alta riqueza biológica e grande endemismo de espécies, o PESC continua vulnerável e sem a necessária infraestrutura de proteção e de uso público.

A metodologia aplicada foi originalmente utilizada para avaliar o diâmetro de copas do dossel numa floresta de terras baixas dipterocarpaceae, com dossel fechado e estruturalmente similar ao dossel de florestas ombrófilas e cabrucas, resguardadas as devidas perturbações decorrentes do manejo das últimas áreas. As áreas do estudo original tiveram sua vegetação suprimida ao longo de 100 anos, fazendo com que as áreas de floresta original tivessem a

mesma idade que as florestas secundárias. Esse histórico de perturbações e sucessão ecológica tornam a metodologia facilmente aplicável nas florestas atlânticas do sul da Bahia (Jaafar et al 2019).

Amostragem de Campo

A coleta de dados em campo será realizada ao longo de porções de terreno retangulares medindo 50 M por 100 M, e esta será subdividida em oito porções experimentais medindo 25 M por 25 M. Em cada porção serão coletadas pelo menos 100 árvores de referência com diâmetro na altura do peito (DAP) ≥ 10 cm. Os indivíduos coletados serão avaliados de acordo com cinco parâmetros: posicionamento horizontal (x, y), DAP, altura total, diâmetro da copa e espécie.

O centro das porções será georreferenciado utilizando estações totais. O posicionamento dos indivíduos arbóreos será realizado com o telêmetro *Trimble Laser Ace 1000* (Figura 2) com uma precisão de 50 cm após pós-processamento. A posição dos troncos será gravada utilizando a localização relativa do centro das porções, que serão por sua vez processadas com dados de estações locais, resultando numa média de erros de aproximadamente 50 cm horizontais. A altura das árvores será mensurada utilizando um hipsômetro e o DAP e o diâmetro da copa foram medidas utilizando uma fita de diâmetro (d-tape). Para medir o diâmetro da copa, o ponto no solo que estiver exatamente abaixo da ponta de um galho de um dos lados será marcado. Para medir o diâmetro da copa, o ponto no solo que estiver exatamente abaixo da ponta de um galho de um dos lados será marcado.



Figura 2: *Trimble Laser Ace 1000*

Desse modo a distância das linhas fornecerá a distância horizontal entre as duas posições, que é igual ao diâmetro da copa. O raio da copa será medido em direções ortogonais respectivamente ao tronco da árvore. Para medir os lados da copa que não serão facilmente avaliados, como no caso das árvores crescendo em encostas escarpadas ou ângulos inclinados, será utilizado um laser medidor de distância (Jaafar et al 2017, Jaafar et al 2018).

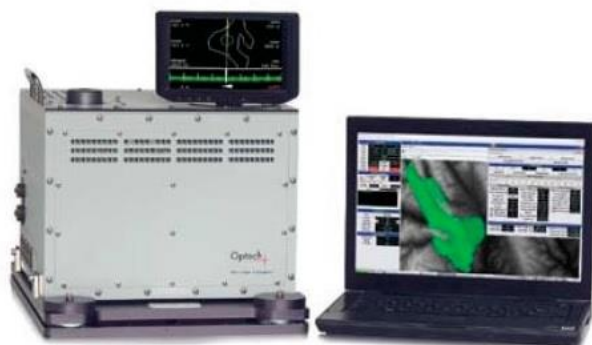
Quantificação da heterogeneidade de habitat

A heterogeneidade de habitat será realizada utilizando a média da proporção de diferentes substratos de todas as oito parcelas de 25 por 25 M num mesmo sítio.

Amostragem LiDaR

A tecnologia de LiDaR (*Light Detection and Ranging*) fornece um pacote de dados que podem ser utilizados para gerar modelos de elevação do dossel de uma determinada área florestal. O CHM (*Canopy Height Model*) por sua vez tem sido amplamente utilizado para detectar e delinear copas individuais em áreas de floresta através de uma abordagem chamada segmentação individual de copas. No entanto, os métodos atuais de segmentação ITC (*Individual Tree Crown*) para florestas de dossel denso (como as florestas tropicais) tem sua eficiência limitada, sendo necessária a aplicação de uma série de técnicas para estimar com precisão atributos arbóreos tais como: altura da árvore, largura média da copa e biomassa acima do solo.

Os dados LiDaR foram coletados em dezembro de 2015 ao longo de uma área de 4529 há na sessão sul do Parque Estadual da Serra do Conduru. A empresa brasileira GEOID Laser Mapping obteve os dados de dimensão reduzida e múltiplo retorno (até 4 retornos por pulso) com um sensor Optech Orion 300 (Figura 3) (Ussyshkin e Theriault, 2010) montado numa aeronave sobrevoando a área numa altitude média de 850 m sobre o nível do solo com visão de campo de 12° e sobreposição de linha de voo de 65 por cento. A densidade média de retorno do LiDaR foi de 94 pontos/m².



(Figura 3: Optech Orion 300)

O modelo de elevação digital foi gerado a partir dos dados LiDaR pela GEOID utilizando um processo previamente descrito e visto como preciso (Leitold et al 2015). Após subtrair a altitude do solo baseando-se no modelo digital de elevação, a média da altura do dossel em escalas de 30 e 50 m-pixel foi calculada criando inicialmente um mapa de altura do dossel com escala de 1 m e depois retirando a média desse mapa de altura do dossel sobre uma área de 30 e 50 m de pixel.

Processamento de dados LiDaR

O *software* FUSION/LDV (versão 3.80) será utilizado para processar os dados LiDaR e gerar três produtos principais: o Modelo Digital de Elevação (DTM), o Modelo Digital de Superfície (DSM) e o Modelo de Altura do Dossel (CHM) (Kane 2015). O CHM será gerado através da diferença entre o DSM e o DTM. O CHM de resolução de 1-M será gerado utilizando a função de Modelo de Copa do *software* FUSION. Para eliminar efetivamente o ruído, o CHM será suavizado com um filtro Gaussiano de baixa passagem 3 x 3 como a

técnica apresentada em Vauhkonen 2011.

Mais detalhes sobre o processamento de dados LiDaR pode ser encontrado em Jaafar 2019. O processo desenvolvido para aumentar a precisão do delineamento ITC consiste em cinco passos básicos:

(1) determinar o tamanho de copa dominante a partir de imagens CHM através de um procedimento automático que emprega semi-variograma e análise morfológica; (2) produção dos segmentos abertos de árvores a partir de imagens CHM baseados em tamanho de copas utilizando algoritmos baseados em morfologia matemática; (3) identificação de segmentos abertos arbóreos e avaliação os segmentos problemáticos através de refinamento por um conjunto de regras determinadas anteriormente através da exploração dos sítios de estudo; (4) refinamento dos segmentos pré-determinados que foram marcados como problemáticos utilizando o algoritmo baseado em distância (DBA) desenvolvido por Li et al 2012 e (5) correlacionar as árvores identificadas baseando-se em pontos de LiDaR 3D em cada segmento pré-determinado.

Caracterizar estruturas espaciais - baseando-se nos tamanhos e formatos - através de operações de abertura morfológica servirá para separar tipos diferentes de objetos dentro de uma imagem em escala de cinza. Desse modo, aplicando os princípios mencionados anteriormente, várias copas de árvores dentro de CHM elaborado a partir de LiDaR serão separadas individualmente. O estabelecimento de elementos estruturantes (SE), uma característica de processos de análise morfológica, isolará objetos de diferentes tamanho (Soille 1999).

SE poderão ser encarados como uma matriz consistindo em 0s (erosão) ou 1s (dilatação) em relação aos tamanhos diferentes e formatos diferentes. Objetos que cobrirem completamente os SE serão separados e truncados, enquanto outros serão eliminados. Aplicando-se esse princípio ao CHM, operações de abertura com SE podem separar copas de árvores. Aqui, o formato 3D de copas de árvores será considerado com meio-elipsóide, essas elipses irão descrever a estrutura das copas como refinado ou grosseiro.

Observando de uma perspectiva 3D, a imagem CHM poderá ser verticalmente escaneada com o algoritmo ao longo de um plano horizontal do topo à base. O tamanho da elipse (ou da copa da árvore) será determinado do disco diamétrico mais largo na base. Como resultado, o tamanho da copa da árvore poderá ser estimado utilizando morfologia matemática com um disco de elementos estruturantes (SE) (Soille 1999).

Para investigar o tamanho potencial de copas, uma série de discos de SE com diâmetros de 1 a 19 pixels será utilizada na operação de abertura morfológica numa imagem CHM para gerar uma série de imagens CHM abertas. Essas imagens CHM abertas são marcadas como OC_i , $i = 1, 3, \dots, 19$, onde i é o diâmetro da SE utilizado para gerar OC_i . Foi gerado também um valor médio da diferença ($OC_{i+2} - OC_i$), onde i e $i+2$ indicam os diâmetros SE correspondentes, para as imagens abertas contínuas.

Se houver qualquer diferença significativa em tamanhos de objetos entre duas imagens abertas adjacentes, irá ocorrer um mínimo local. Valores médios de CHM avaliados indicarão

o tamanho dominante e a amplitude de tamanhos dos objetos. Para essa pesquisa 1 pixel será considerado equivalente a 1M e as janelas terão tamanhos equivalentes a: 1-2 pixels, 3-5 pixels, 7-11 pixels, 13-15 pixels e 17-19 pixels.

O tamanho dos galhos será marcado no primeiro grupo, enquanto os demais grupos serão categorizados como coroas pequenas, médias, grandes ou agrupamento de árvores. Para indicar a amplitude do grupo, o valor mínimo de cada tamanho de copa será tratado como grupo representativo para os tamanhos de copa dominantes. Estes, futuramente, serão tratados como níveis de copa pequena, média e grande.

Análise estatística

Levando em consideração a alta densidade de troncos e a estrutura fechada de dossel das florestas na área de estudo, será necessária uma análise minuciosa para delinear satisfatoriamente a copa das árvores de diferentes tamanhos. Estatística Semi-variograma será utilizada para estimar a amplitude do tamanho das copas em CHM (Soille 1999) por sua capacidade de caracterizar a estrutura espacial de superfícies observadas, como foi demonstrado em estudos anteriores (Clark 1979 e St-Onge 1995). O semi-variograma mede metade da variância entre pares de pixels numa distância de separação crescente (*lag*), indicando assim a escala espacial de variabilidade na altura de dossel observada. Com distância de separação (*lag* = 0) o valor de semi-variograma também é zero.

A semivariância aumenta com a distância do *lag* até alcançar um platô a partir do qual a primeira resultante pode ser utilizada para inferir o tamanho máximo de copa. Uma vez que o nível da copa será selecionado baseando-se no valor mínimo dentro do grupo de tamanho de copa, objetos com tamanho maior serão retidos pelo filtro ou por uma operação de abertura morfológica.

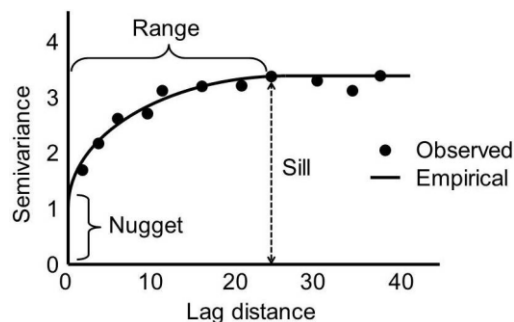
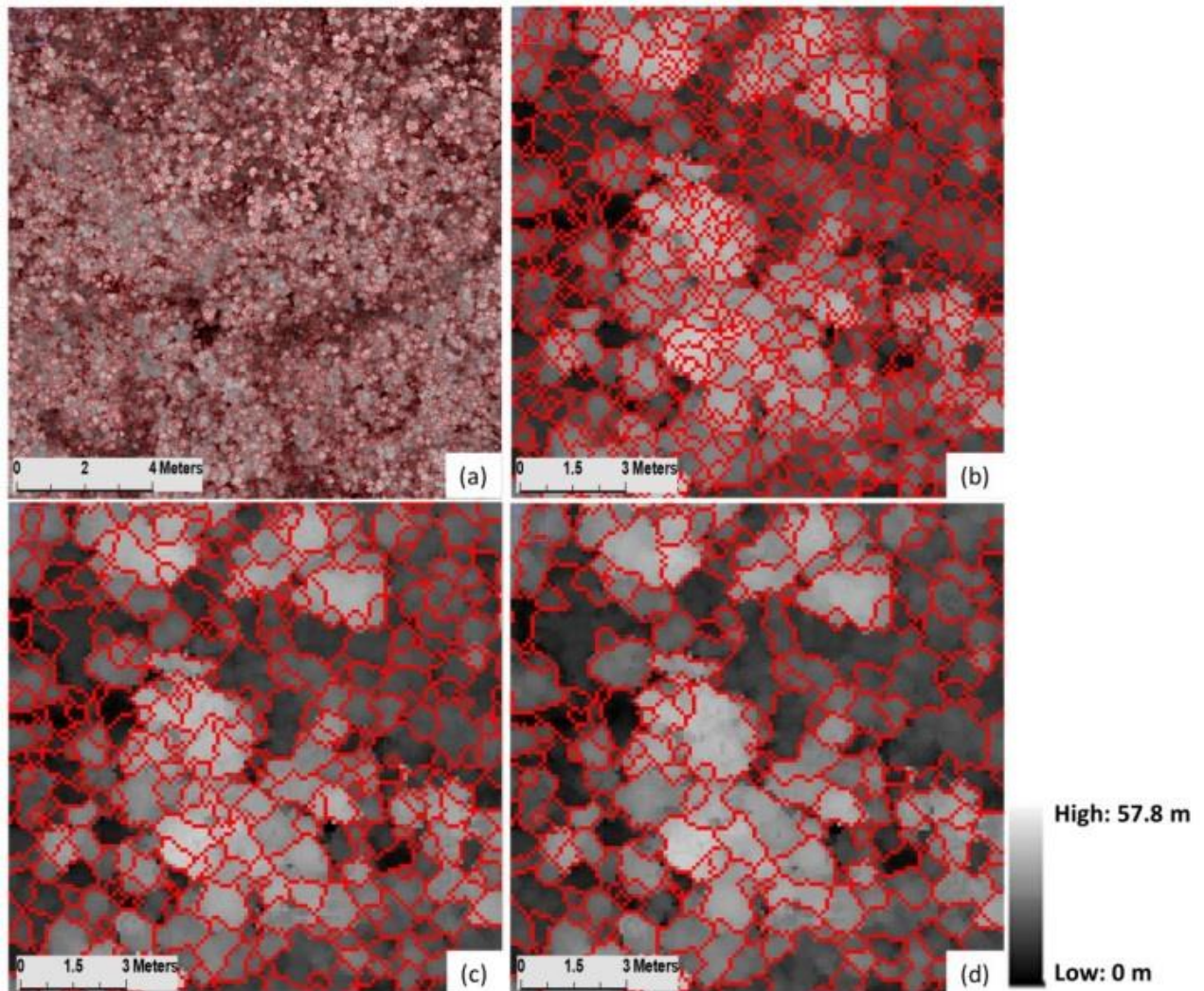


Figura 4: Modelo de semivariograma

A principal operação realizada será a identificação de topos de árvores por segmentação de marcos controlada por marcadores. O algoritmo assumirá (i) que uma copa de árvore num CHM pode ser considerada um meio elipsóide que representa estruturas grosseiras ou refinadas, e que (ii) a extensão horizontal a dada altura pode ser determinada através da seção transversal horizontal das copas, que contém o topo das árvores a determinada altura. Em seguida será aplicada uma operação de abertura morfológica - com um disco de SE de diâmetro d - ao CHM com o intuito de remover as copas de árvores que forem menores do que o disco de SE e limitar as outras horizontalmente.

Os topos das árvores das copas limitadas serão similares a determinadas altitudes da seção transversal horizontal. Múltiplas operações de abertura (e.g. múltiplas camadas de seções transversais) com tamanhos de discos de SE diferentes serão necessárias para organizar todas as copas de árvores e combinar camadas diferentes de seções transversais para gerar uma camada de marcadores de copas. Essa camada poderá então ser chamada de mapa de segmentação de copas (Figura 5).



(Figura 5: Mapa de segmentação de copas produzido por Jaafar 2018. (a) mapa de segmentação de copas numa área de 100 ha e a segmentação de copas (b) pequenas, (c). médias e (d) grandes).

A avaliação da diferença entre as médias do diâmetro das copas de árvores na cabruca e na floresta será realizada através de uma Análise de Variância. A ANOVA é um método estatístico para testar a igualdade de três ou mais populações, baseado na análise das variâncias amostrais. Os dados amostrais são separados em grupos segundo uma característica (fator), este, por sua vez, é uma característica que permite distinguir diferentes populações umas das outras.

A relação existente entre a idade da cabruca e o diâmetro da copa das árvores amostradas

será avaliada através de um processo chamado de Regressão Linear. Com esse método podemos usar uma reta para resumir essa relação. Essa reta poderá ser utilizada também para previsões a partir dos dados de entrada.

IMPACTOS DO ESTUDO PARA A CONSERVAÇÃO

No caso do Sul da Bahia, o sistema de áreas protegidas tanto não representa adequadamente as tipologias vegetacionais e distribuição de espécies quanto é inadequado pois protege fragmentos que estão isolados. As geotecnologias são úteis para apoiar o planejamento e a criação de diretrizes de conservação.

O projeto de mapeamento anual da cobertura e uso do solo do Brasil é uma iniciativa que envolve uma rede colaborativa com especialistas nos biomas, usos da terra, sensoriamento remoto, SIG e ciência da computação que utiliza processamento em nuvem e classificadores automatizados desenvolvidos e operados a partir da plataforma Google Earth Engine para gerar uma série histórica de mapas anuais de cobertura e uso da terra no Brasil. Para a realização adequada desse projeto é necessário um mapa preciso de fragmentos florestais, sua distribuição e sua relação espacial com diversos tipos de cultivo, incluindo cabucas. Sem a habilidade de determinar a localização precisa e grau de degradação em paisagens similares a floresta, o poder público não é capaz de tomar decisões de manejo fundamentadas em dados confiáveis.

A pesquisa científica em ecologia precisa se fundamentar em dados confiáveis. Diferentes métodos podem ser utilizados para adquirir essa informação. As técnicas de observação terrestre via satélite oferecem uma abordagem satisfatória para análises espaciais que utilizem dados de cobertura e também vegetacionais. Dentre estas, a tecnologia LiDaR oferece uma abordagem inovadora para a avaliação ecológica. Assim, a combinação de resoluções temporais, espaciais e espectrais - juntas com análises estatísticas relevantes - podem auxiliar no processo de tomada de decisão em atividades como o manejo de Unidades de Conservação ou a avaliação dos impactos causados pelo manejo das cabucas.

REFERÊNCIAS

ATLÂNTICA, SOS Mata et al. Atlas da evolução dos remanescentes florestais e ecossistemas associados do domínio da Mata Atlântica no período 1985-1990. **São Paulo: Fundação SOS Mata Atlântica/Inpe**, v. 93, 1992.

ALGER, Keith; CALDAS, Marcellus. The declining cocoa economy and the Atlantic Forest of Southern Bahia, Brazil: conservation attitudes of cocoa planters. **Environmentalist**, v. 14, n. 2, p. 107-119, 1994.

AYRES, J. M. et al. PP/G7-Programa Piloto para a Proteção das Florestas Tropicais Brasileiras. **Projeto Parques e Reservas-Abordagens Inovadoras para a Conservação da Biodiversidade do Brasil: Os Corredores Ecológicos do Brasil**. Versão, v. 3, 1997.

AYRES, J. M. Abordagens inovadoras para conservação da biodiversidade do Brasil: os corredores ecológicos das florestas neotropicais do Brasil. **Ministério do Meio Ambiente**, 1997.

CLARK, I. The semivariogram—part 1. **Engineering Mining Journal**, v. 180, n. 7, p. 90-94, 1979.

SOILLE, Pierre. Morphological phase unwrapping. **Optics and lasers in Engineering**, v. 32, n. 4, p. 339-352, 1999.

LI, Wenkai et al. A new method for segmenting individual trees from the lidar point cloud. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 78, n. 1, p. 75-84, 2012.

VAUHKONEN, Jari et al. Comparative testing of single-tree detection algorithms under different types of forest. **Forestry**, v. 85, n. 1, p. 27-40, 2011.

KANE, Van R. et al. Mixed severity fire effects within the Rim fire: relative importance of local climate, fire weather, topography, and forest structure. **Forest Ecology and Management**, v. 358, p. 62-79, 2015.

LEITOLD, Veronika et al. Airborne lidar-based estimates of tropical forest structure in complex terrain: opportunities and trade-offs for REDD+. **Carbon balance and management**, v. 10, n. 1, p. 3, 2015.

WAN MOHD JAAFAR, Wan et al. Improving Individual Tree Crown Delineation and Attributes Estimation of Tropical Forests Using Airborne LiDAR Data. **Forests**, v. 9, n. 12, p. 759, 2018.

WAN-MOHD-JAAFAR, W. S. et al. Modelling individual tree aboveground biomass using discrete return lidar in lowland dipterocarp forest of Malaysia. **Journal of Tropical Forest Science**, p. 465-484, 2017.

WAN MOHD JAAFAR, Wan et al. Improving Individual Tree Crown Delineation and Attributes Estimation of Tropical Forests Using Airborne LiDAR Data. **Forests**, v. 9, n. 12, p. 759, 2018.

BECKNELL, Justin M. et al. Landscape-scale lidar analysis of aboveground biomass distribution in secondary Brazilian Atlantic Forest. **Biotropica**, v. 50, n. 3, p. 520-530, 2018.

WANNASIRI, Wasinee et al. Extraction of mangrove biophysical parameters using airborne LiDAR. **Remote Sensing**, v. 5, n. 4, p. 1787-1808, 2013.

KOCH, Barbara et al. Segmentation of forest to tree objects. In: **Forestry Applications of Airborne Laser Scanning**. Springer, Dordrecht, 2014. p. 89-112.

YANG, Bisheng et al. Automatic forest mapping at individual tree levels from terrestrial laser scanning point clouds with a hierarchical minimum cut method. **Remote Sensing**, v. 8, n. 5, p. 372, 2016.

ØRKA, Hans Ole et al. Simultaneously acquired airborne laser scanning and multispectral imagery for individual tree species identification. **Canadian Journal of Remote Sensing**, v. 38, n. 2, p. 125-138, 2012.

DALPONTE, Michele et al. Tree crown delineation and tree species classification in boreal forests using hyperspectral and ALS data. **Remote sensing of environment**, v. 140, p. 306-317, 2014.

YIN, Dameng; WANG, Le. Individual mangrove tree measurement using UAV-based LiDAR data: Possibilities and challenges. **Remote sensing of environment**, v. 223, p. 34-49, 2019.

POPESCU, Sorin C.; WYNNE, Randolph H.; NELSON, Ross F. Measuring individual tree crown diameter with lidar and assessing its influence on estimating forest volume and biomass. **Canadian journal of remote sensing**, v. 29, n. 5, p. 564-577, 2003.

SAATCHI, S. et al. Examining fragmentation and loss of primary forest in the southern Bahian Atlantic forest of Brazil with radar imagery. **Conservation Biology**, v. 15, n. 4, p. 867-875, 2001.

DA SILVA, Jose Maria Cardoso; TABARELLI, Marcelo. Tree species impoverishment and the future flora of the Atlantic forest of northeast Brazil. **Nature**, v. 404, n. 6773, p. 72, 2000.

FAHRIG, Lenore. Ecological responses to habitat fragmentation per se. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 48, p. 1-23, 2017.

FAHRIG, Lenore et al. Functional landscape heterogeneity and animal biodiversity in agricultural landscapes. **Ecology letters**, v. 14, n. 2, p. 101-112, 2011.

OLIVER, Tom et al. Heterogeneous landscapes promote population stability. **Ecology letters**, v. 13, n. 4, p. 473-484, 2010.

BENTON, Tim G.; VICKERY, Juliet A.; WILSON, Jeremy D. Farmland biodiversity: is habitat heterogeneity the key?. **Trends in ecology & evolution**, v. 18, n. 4, p. 182-188, 2003.

DIETZE, Michael C. Prediction in ecology: a first-principles framework. **Ecological applications**, v. 27, n. 7, p. 2048-2060, 2017.

PAGEL, Jörn; SCHURR, Frank M. Forecasting species ranges by statistical estimation of ecological niches and spatial population dynamics. **Global Ecology and Biogeography**, v. 21, n. 2, p. 293-304, 2012.

WILSON, Edward O.; MACARTHUR, Robert H. **The theory of island biogeography**. Princeton University Press, 1967.

LEVIN, Simon A. Population dynamic models in heterogeneous environments. **Annual review of ecology and systematics**, v. 7, n. 1, p. 287-310, 1976.

JOHNS, Norman D. Conservation in Brazil's chocolate forest: the unlikely persistence of the traditional cocoa agroecosystem. **Environmental Management**, v. 23, n. 1, p. 31-47, 1999.

THOMAS, W. W.; CARVALHO, AM de; MACBRYDE, O. H. Atlantic moist forest of southern Bahia. **Centres of plant diversity: a guide and strategy for their conservation**, v. 3, p. 364-368, 1997.

MENDONÇA, José Rezende; SILVA, Luiz Alberto Mattos; THOMAS, William Wayt. **45 anos de desmatamento no sul da Bahia**. CEPLAC, 1993.

TABARELLI, MARCELO et al. Desafios e oportunidades para a conservação da biodiversidade na Mata Atlântica brasileira. **Megadiversidade**, v. 1, n. 1, p. 132-138, 2005.
ST-ONGE, B. A.; CAVAYAS, F. Estimating forest stand structure from high resolution imagery using the directional variogram. **International Journal of Remote Sensing**, v. 16, n. 11, p. 1999-2021, 1995.

WAINWRIGHT, Claire E. et al. Links between community ecology theory and ecological restoration are on the rise. **Journal of applied ecology**, v. 55, n. 2, p. 570-581, 2018.

CRONOGRAMA

ATIVIDADES A SEREM EXECUTADAS EM 2019 - 2020	MESES DO ANO					
	12 - 01	02 - 03	04 - 05	06 - 07	08 - 09	10 - 11
Organização do equipamento e pessoal	X	X				
Visitas para reconhecimento da área de pesquisa	X	X	X	X		
Visitas para obtenção das poligonais referentes à cabruças no interior do PESC			X	X	X	X
Identificação individual das copas	X	X	X			
Classificação supervisionada da vegetação				X	X	X

ATIVIDADES A SEREM EXECUTADAS EM 2020 - 2021	MESES DO ANO					
	12 - 01	02 - 03	04 - 05	06 - 07	08 - 09	10 - 11
Visitas para obtenção das poligonais referentes à cabruças no interior do PESC	X	X	X			
Visitas para montagem das parcelas e coleta de variáveis ecológicas				X	X	X
Identificação individual das copas	X	X	X			
Classificação supervisionada da vegetação				X	X	X

ATIVIDADES A SEREM EXECUTADAS EM 2021 - 2022	MESES DO ANO					
	12 - 01	02 - 03	04 - 05	06 - 07	08 - 09	10 - 11
Visitas para montagem das parcelas e coleta de variáveis ecológicas	X	X	X	X		
Visitas para revisão de variáveis e coletas					X	X
Identificação individual das copas	X	X	X			
Classificação supervisionada da vegetação				X	X	X