

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

RAQUEL FEITOSA DE ARAÚJO

TÉCNICAS DE ANÁLISE ESPACIAL EM EVENTOS PONTUAIS MARCADOS  
APLICADAS A ESPÉCIE *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze

CURITIBA

2022

RAQUEL FEITOSA DE ARAÚJO

TÉCNICAS DE ANÁLISE ESPACIAL EM EVENTOS PONTUAIS MARCADOS  
APLICADAS A ESPÉCIE *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de MBA em Manejo Florestal de Precisão, do Programa de Educação Continuada, Setor Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, como pré-requisito para obtenção do título de especialista.

Orientador(a): Prof. Dr. Ângelo Augusto Ebling

CURITIBA

2022

## AGRADECIMENTOS

Agradecer é um ato que sempre vai de encontro aos princípios de todo filho de Narciso, no entanto, como meu progenitor tem outro nome, faço questão de tecer alguns reconhecimentos.

Ao Criador, pois de uns tempos para cá, a ideia de ter um tem agradado.

Às mulheres da minha vida, Raimunda, Clívia, Clícia e Clígia, sempre presentes na minha caminhada.

Aos meus sete amores com quatro patas que diariamente, de maneira irônica, lembram-me de ser mais humana no melhor sentido da expressão.

Ao meu orientador, professor Ângelo Augusto Ebling, que resignou-se a suportar o fardo da minha presença desde a graduação. Agradeço pelas idas a campo, pelos puxões de orelha, por ser paciente comigo, pela gentileza tão característica, pelas histórias contadas e por tantos outros motivos que não cabem nestas linhas.

Aos pesquisadores e pesquisadoras que idealizaram e concretizaram o PELD (Projeto Ecológico de Longa Duração). Mais do que minha gratidão por contribuírem para elaboração deste trabalho, têm minha admiração.

À toda equipe do PECCA/UFPR, professores e tutores, por ajudarem-me a expandir minha visão sobre muitos aspectos de nossas florestas.

A todos, meu obrigada!

Raquel Feitosa de Araújo

## RESUMO

A espécie *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze é configurada como de grande importância cultural, econômica e ambiental, com base nisso, o presente estudo tem como objetivo geral descrever efeitos de heterogeneidade espacial e detectar zonas de crescimento em áreas no interior da FLONA de São Francisco de Paula, localizada no estado do Rio Grande do Sul, que abrigam a espécie *Araucaria angustifolia* a partir de métodos de análise espacial e geoprocessamento, lançando mão do cálculo e mapeamento de medidas centrométricas, levando em consideração variáveis dendrométricas (DAP, volume e incrementos), definição da intensidade destas métricas por unidade de área e modelagem e avaliação da densidade ponderada utilizando os atributos incremento em DAP e volume por meio da aplicação da função kernel ponderado. Os resultados indicaram estágios de desenvolvimento diferentes nas unidades estudadas, tomando como base os mapas de densidade de incremento em diâmetro e volume. Além disso, as variáveis DAP, volume e incrementos apresentam heterogeneidade espacial em direções ou eixos bem definidos, indicando que os valores variam de acordo com o espaço e tempo. Em relação ao raio adequado para a função de densidade Kernel ponderado, considerando populações de araucária, deve-se levar em consideração a distância entre os indivíduos e a densidade destes. Por fim, verificou-se que a modelagem de densidade Kernel foi eficiente para representação das variáveis estudadas apesar da heterogeneidade apresentada pelas medidas centrográficas nas áreas analisadas.

Palavras-chave: Kernel Ponderado. Araucária. São Francisco de Paula.

## ABSTRACT

The species *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze is configured as of great cultural, economic and environmental importance, based on that, the present study aims to describe the effects of spatial heterogeneity and detect growth zones in areas in the interior of FLONA of São Francisco de Paula, located in the state of Rio Grande do Sul, which harbors the *Araucaria angustifolia* species based on spatial analysis and geoprocessing methods, using the calculation and mapping of centrometric measures taking into account dendrometric variables (DBH, volume and increments), definition of the intensity of these metrics per area unit and modeling and evaluation of the weighted density using the increment attributes in DAP and volume through the application of the weighted kernel function. The results indicated different stages of development in the studied units, based on the increment density maps in diameter and volume. Furthermore, the variables DAP, volume and increments present spatial heterogeneity in well-defined directions or axes, indicating that the values vary according to space and time. Regarding the adequate radius for the weighted kernel density function, considering araucaria populations, the distance between individuals and their density must be taken into account. Finally, it was found that the Kernel density model was efficient for representing the studied variables despite the heterogeneity shown by the centrophoric measurements in the analyzed areas.

Keywords: *Weigheted Kernel*. Araucaria. São Francisco de Paula.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>9</b>
2.1	Geral	9
2.2	Específicos	9
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b>	<b>10</b>
3.1	Contexto geral	10
3.2	Histórico	10
3.3	Processo pontual marcado	12
3.3.1	Aplicações no âmbito dos fenômenos naturais	13
3.4	Domínio do planalto das araucárias	15
3.4.1	Floresta Ombrófila Mista	16
3.5	Coníferas do Hemisfério Sul - Araucariaceae	17
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>19</b>
4.1	Área de estudo	19
4.2	Natureza e análise dos dados	20
4.3	Medidas centrográficas	21
4.4	Intensidade	22
4.5	Pacotes utilizados	24
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>25</b>
5.1	Medidas centrográficas	25
5.1.1	Centro médio e distância-padrão	25
5.1.2	Elipse de desvio-padrão	29
5.2	Intensidade	33
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>40</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>41</b>

<b>APÊNDICE A – CÓDIGOS EM LINGUAGEM R .....</b>	<b>46</b>
<b>APÊNDICE B – CENTRO MÉDIO E DESVIO-PADRÃO .....</b>	<b>48</b>
<b>APÊNDICE C – ELIPSE DE DESVIO-PADRÃO .....</b>	<b>63</b>
<b>APÊNDICE D – KERNEL PONDERADO .....</b>	<b>69</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A espécie *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze (araucária) é singular por um conjunto de fatores, seja pelo histórico evolutivo, pelas características ecológicas e fitogeográficas, seja pelo potencial nutritivo de seus frutos e porte cilíndrico do fuste, com copa umbeliforme, capaz de encher os olhos humanos ou quem sabe pelo ar solitário em meio aos campos gramíneos sulinos.

Quando deixou de suprir necessidades básicas humanas, como fonte de alimento e matéria-prima, passando a servir como substrato para o ganho econômico exacerbado por meio da extração desenfreada da madeira proveniente de seus espécimes ou quando tornou-se incômoda para o estabelecimento de pastos, viu-se todo o domínio das araucárias reduzir-se a pequenos e reclusos refúgios nas partes mais altas do planalto meridional (VEBLEN *et al.*, 1995; KERSTEN *et al.*, 2011; WREGE *et al.*, 2017).

O conhecimento científico acerca da espécie é primordial para tomadas de decisões em prol da conservação dos remanescentes e envolve toda a sociedade (BERCKERT *et al.*, 2014). E é pela busca de maiores informações sobre os diversos aspectos que envolvem a continuidade das populações de araucária restantes que novas formas de abordagem se estabelecem com auxílio dos adventos tecnológicos e o avanço da compreensão humana sobre os mecanismos de sustentação da vida.

Todo fenômeno ou evento sobre a superfície terrestre apresenta, atrelado a seus atributos, componentes temporais e espaciais (CÂMARA *et al.*, 2004; BIVAND *et al.*, 2016), isto também se estende às árvores. Assmann (1970) diz que variáveis como altura, DAP, área basal e volume são métricas de crescimento de uma formação florestal e que diferentes condições de sítio, por exemplo, garantem grupos de indivíduos em diferentes fases de desenvolvimento.

Afim de descrever e compreender de que maneira se comportam estes atributos quantitativos sob a ótica do espaço é que este trabalho busca aplicar técnicas de análise espacial em espécimes de araucária localizadas em áreas inventariadas no interior de uma unidade de conservação.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Geral**

O presente estudo tem como objetivo geral descrever efeitos de heterogeneidade espacial e detectar zonas de crescimento em áreas no interior da FLONA de São Francisco de Paula, localizada no estado do Rio Grande do Sul, que abrigam a espécie *Araucaria angustifolia* a partir de métodos de análise espacial e geoprocessamento.

### **2.2 Específicos**

- Calcular e mapear medidas centrométricas levando em consideração atributos dendrométricos (DAP, volume e incrementos periódicos anuais-IPA);
- Definir intensidade destas métricas por unidade de área;
- Modelar e avaliar a densidade ponderada com base no incremento em DAP e volume por meio da aplicação da função Kernel;

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 Contexto geral

Todo fenômeno ou evento sobre a superfície terrestre apresenta atrelado a seus atributos componentes temporais e espaciais. Com base nisso, a estatística espacial pode ser definida como um conjunto de técnicas que permite a coleta, visualização, descrição e análise de padrões e relações existentes entre variáveis geográficas (CÂMARA *et al.*, 2004; BIVAND *et al.*, 2016).

A análise espacial se aplica quando determinado evento apresenta propriedades expressas pela dependência espacial, desta forma, os valores dos atributos possuem certo grau de organização e continuidade que variam de local para local. Neste caso, a estatística clássica não deve ser empregada, pois a variação espacial vai de encontro com sua principal hipótese: a aleatoriedade, em outras palavras, que as realizações das variáveis sejam independentes entre si (YAMAMOTO e LANDIM, 2015).

O geógrafo e cartógrafo Waldo Rudolf Tobler, falecido em 2018, resumiu a ideia central de dependência espacial no seguinte enunciado, conhecido como a Primeira Lei da Geografia: *“Everything is related to everything else, but near things are more related than distant things”* (Tudo é parecido, mas coisas próximas são mais parecidas que àquelas que são mais distantes) (TOBLER, 1970). No geral, objetos com maior proximidade espacial, tendem a expressar algumas características com maior ou menor relação de acordo com a distância entre eles.

#### 3.2 Histórico

Auguste Comte, filósofo positivista francês do século XVIII, em seu livro *“Cours de Philosophie Positive”*, afirma que para se conhecer a fundo uma ciência, deve-se entender sua história. Com base nisso, fez-se um apanhado histórico geral sobre o processo de construção da estatística espacial.

O mapa abaixo pode ser considerado a representação de um exemplo pioneiro no âmbito da análise espacial de eventos (FIGURA 1), em que intensos

surtos de cólera, trazidos por navios saídos do Oriente, durante o século XIX, assolavam a capital inglesa (JOHNSON, 2007).

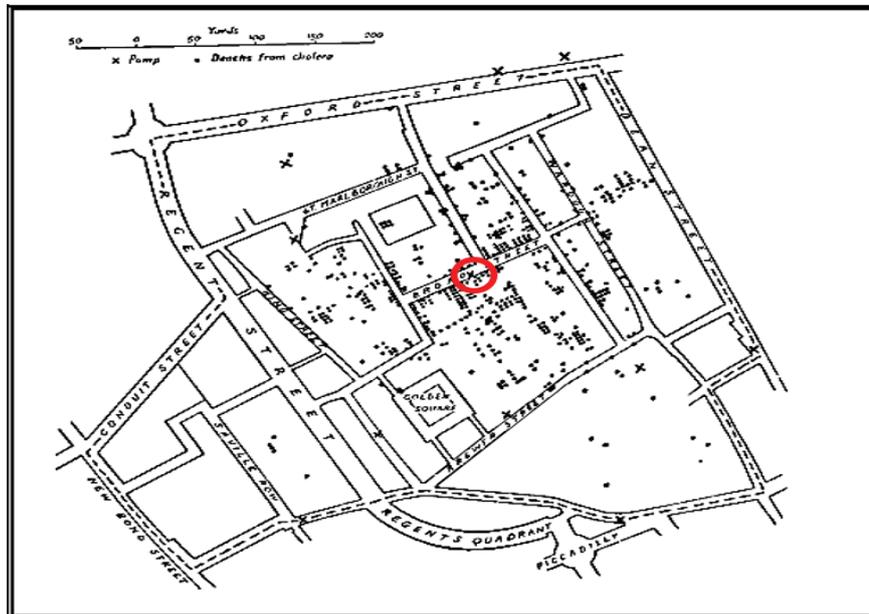


FIGURA 1 - Mapa adaptado do bairro de Soho, Londres, com a localização de casos de óbito (representados por pontos) e bombas de água (representados por cruzes)

FONTE: Mapa retirado do livro “*The ghost map: The Story of London’s most terrifying epidemic – and how it changed science, cities and the modern world*” – Johnson (2007).

Em toda Londres, um bairro em questão, apresentava altos índices de mortalidade pela doença. O bairro ou distrito de *Soho*, além dos mais elevados números de mortos causados pela cólera, também abrigava John Snow, médico precursor da epidemiologia, que reuniu e mapeou informações sobre a quantidade de casos locais e as bombas de água que abasteciam a cidade. Constatou-se que a bomba da *Broad street* (em vermelho no mapa) era o epicentro da epidemia (JOHNSON, 2007).

De maneira menos intuitiva que o exemplo anterior e assumindo um viés científico e experimental, no século XX, Louie H. Smith, dentro da experimentação agrônômica, levantou questões envolvendo a variação entre parcelas, segundo ele, muito ocasionada pelas diferenças no solo.

A natureza desse tipo de experimento tornava impraticável a eliminação ou controle de fontes de variação. Com base nestes questionamentos, foram instaladas parcelas em campo para avaliar o rendimento de variedades de milho, levando em consideração a disposição espacial, em consequência, as nuances do mesmo solo em diferentes pontos do terreno (SMITH, 1910).

Um outro exemplo materializa-se em estudos feitos por Robert L. Pendleton, em 1919. A *University of California* cooperou fortemente com a Agência estadunidense de Solos (*United States Bureau of Soil*) no mapeamento e classificação dos solos ocorrentes no estado da Califórnia. Pendleton, durante os anos de 1914 a 1915, representando a universidade supracitada, esteve engajado nestas atividades e durante a realização destas, verificou erros nos métodos de amostragem adotadas pela agência oficial que desconsideravam as diferenças locais em solos da mesma categoria (PENDLETON, 1919).

Os esforços direcionados a compreensão da variabilidade foram sobrepostos pela adoção de técnicas baseadas na casualização, repetição e amostragem ao acaso durante um longo tempo. No entanto, a partir de observações feitas por Daniel Gerhardus Kriger em minas de ouro na África do Sul, que atribuíam as distâncias entre pontos a variância de concentração do metal entre as amostras, surgiu a geoestatística que foi estruturada pela teoria das variáveis regionalizadas, com formulação do francês George François Paul Marie Matheron (MATHERON, 1971; VIEIRA, 2000; PELISSARI, 2015; YAMAMOTO e LANDIM, 2015).

Desde então, os estudos realizados com base em análises espaciais ganham espaço nas mais diversas áreas do conhecimento humano, como: florestal, meteorologia, saúde, dentre outras (GORENSTEIN, *et al.* 2007; BARBOSA *et al.* 2014; BARRETO *et al.*, 2017; FERREIRA *et al.*, 2017; LUZARDO *et al.*, 2017; RIZZATI *et al.*, 2020).

### **3.3 Processo pontual marcado**

De acordo com Cressie (1993), considera-se táxons ou categorias de dados espaciais: Eventos ou padrões pontuais, Superfícies contínuas/ Superfícies aleatórias, Áreas com contagens e Taxas agregadas.

Processos pontuais, eventos ou padrões pontuais são pontos localizados no espaço ou área de estudo. O principal objetivo das análises voltadas para esse tipo de dado geográfico é estudar a distribuição espacial das coordenadas, atentando-se ao padrão assumido, se é aleatório, aglomerado ou regular (BADDELEY *et al.*, 2016).

Uma atenção maior é dada quando se detecta padrões de conglomerados espaciais, pois estes apresentam desvios significativos se comparados a uma distribuição estocástica, no geral, um processo de Poisson (NEVES *et al.*, 2015).

Indo mais a fundo na caracterização de padrões pontuais, é válido ressaltar que a área de abrangência do evento não é considerada, apenas sua ocorrência em si. Por exemplo, focos de calor ou incêndios florestais, são vistos como pontos no espaço.

No geral, valores ou atributos não são associados aos pontos, quando isso ocorre, refletindo na comparação de estruturas de dependência e distribuição espacial diferentes, denomina-se processo pontual marcado.

Alguns métodos estatísticos são utilizados para explorar eventos pontuais, cita-se estimadores de intensidade (Kernel é o mais conhecido) para analisar o comportamento de padrões de ocorrência, ligados a efeitos de primeira ordem ou o número de eventos por unidade de área (BOWMAN e AZZALIN, 1997; BRUNSDON e COMBER, 2019).

Para efeitos de segunda ordem, também conhecidos como locais ou de pequena escala, que performam o grau de correlação entre pares de eventos e resultam em maior ou menor dependência espacial, faz-se uso de funções que estimam essa dependência. Cita-se o método do vizinho mais próximo ou função de distribuição cumulativa G (Função do vizinho mais próximo) e a função K (Função K de Ripley) ou medida de segunda ordem reduzido (CÂMARA *et al.*, 2004).

### **3.3.1 Aplicações no âmbito dos fenômenos naturais**

Como dito anteriormente, a componente espacial de dados, cada vez mais, tem se tornando uma peça importante para compreensão de fenômenos em diversas áreas do conhecimento humano. Quando se fala em eventos de ordem ambiental/agronômica/florestal que se encaixam no grupo de fenômenos naturais, as aplicações são inúmeras, algumas delas são vistas em mapeamento de risco de incêndio florestal (KUTER *et al.*, 2011), densidade em florestas naturais (NEVES *et al.*, 2015) e quantificação de carbono no solo (BARRETO *et al.*, 2017), por exemplo.

Stoyan e Penttinen (2000) explanam sobre as aplicações de alguns métodos de análise de processos pontuais em descrições e estimativas

florestais. Segundo os autores, nenhum outro campo do conhecimento humano explora e estimula a metodologia estatística relativa a eventos como a área florestal.

Em processos marcados, as coordenadas assumidas pelas árvores são os “pontos” ou ocorrências no plano, e as características associadas a elas como altura, diâmetro a altura do peito (DAP), incremento médio, entre outras, são denominadas “marcas”. Esta categoria é encarada pelos autores citados anteriormente como uma importante ferramenta de inventários florestais “multi-recursos”.

Um outro trabalho, este feito por Dralle e Rudemo (1996) em um povoamento de albedos no noroeste de Copenhage, na Dinamarca, retrata o uso de uma variante da função de densidade Kernel (*Kernel Smoothing* ou “suavizador de Kernel”) para estimar o número de troncos por hectare a partir de dados coletados usando técnicas de fotogrametria.

Com o intuito de compreender os processos de distribuição espacial de indivíduos da espécie *Ocotea odorífera* (Vell.) Rohwer na Floresta Nacional de Irati, sob o domínio Mata Atlântica, no Paraná, os autores Potkker *et al.* (2016) submetem os dados considerados integrantes de um processo espacial pontual ao estimador de densidade Kernel para detecção de formação de possíveis “clusters” e a função K de Ripley não homogênea para descrição dos padrões de correlação existentes.

Para explicação do comportamento geográfico da espécie, fez-se uso da discriminação de fatores ambientais. Constatou-se que agrupamentos maiores eram formados em regiões mais elevadas dentro da superfície amostrada, muito provavelmente em pontos com solos bem drenados (POTKKER *et al.*, 2016).

No âmbito do monitoramento e proteção florestal, mapas de risco de incêndios florestais, por exemplo, são ferramentas valiosas para planejamento de prevenção e combate. O histórico de focos de incêndios, no geral, é computado no formato de vetor pontos, enquanto as demais informações como área limite, topografia e clima, em um ambiente de SIG (Sistema de informação geográfica), assumem o formato de polígonos ou grades regulares (*raster* no caso das grades), o que gera incompatibilidade quando se pensa em processar essas informações em um ambiente computacional. O uso de Kernel, também conhecido como “mapas de calor” em softwares geográficos, atua como uma

solução simples que converte os dados pontuais em superfícies contínuas. Kuter *et al.* (2011), Menezes *et al.* (2019) e Dias *et al.* (2020) fizeram uso dessa técnica para mapeamento de focos de calor e riscos de incêndio em áreas de vegetação.

### 3.4 Domínio do planalto das araucárias

Pode-se dizer que é uma tarefa difícil falar sobre o Domínio do Planalto das Araucárias sem mencionar a geomorfologia que o sustenta e a influência decisiva que exerce sobre o local.

O Planalto Meridional é composto por um grupo de serras, mesetas, escarpas, *cuestas*, colinas e outras formações planálticas que são majoritárias na paisagem. Analisando o relevo do sul do Brasil, Ab'Saber (1967) faz um corte no sentido litoral – interior e descreve os principais marcos, sendo um deles logo visto após as vertentes da Serra do mar, o chamado Planalto Curitibano ou Primeiro Planalto, descrito como suave e colinoso.

Adentrando o interior, sinalizado por um conjunto de falhas datadas do período Terciário, inicia-se o segundo planalto, em uma altitude de 1.200 metros. Um fato curioso sobre o trecho que aloca esta segunda região é a ocorrência de redutos ou manchas de Cerrado nos cortes mais baixos, entre 350 a 560 metros. O relevo é classificado como ruiforme pelo aspecto das formações encontradas (SILVA, 2009).

O limite físico que marca o fim do segundo planalto e o início do terceiro é dado pela Serra da Esperança, escarpa que com cerca de 1.200 metros de elevação. Esta terceira parte é composta, quase integralmente por rochas de origem vulcânica. Nas baixas altitudes, entre 200 e 400 metros, há áreas de transição entre o domínio das araucárias e outros próximos como o de Cerrado e o tropical atlântico no sentido oriental – austral. Já no oposto, ocidente – setentrional, as florestas de araucárias, gradualmente, abrem espaço para as florestas estacionais (Ab'SABER, 1967).

Ressalta-se a importância dos orobiomas intradominiais Serra do Mar e Serra Geral que demarcam os limites do Planalto das Araucárias e o domínio dos mares de morro na parte oriental. Os marcos ocidentais são caracterizados por formações suaves (VERVLOET *et al.*, 2012).

De acordo com Alvares *et al.* (2014), o clima no planalto meridional é o mesotérmico úmido (Cfb – Köppen-Geiger), com temperatura média entre 13° e 20°C, chuvas bem distribuídas com precipitação entre 1.100 e 2.500 mm ao ano, estações bem marcadas em inverno seco, com temperatura abaixo de 5° C e verão úmido.

### 3.4.1 Floresta Ombrófila Mista

De acordo com o Manual Técnico da Vegetação Brasileira (IBGE, 2012), a região fitoecológica “Floresta Ombrófila Mista” (FOM) ou “Mata de Araucária” é encontrada no Planalto Meridional brasileiro, com maior representatividade da espécie arbórea *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, o que remete ao conceito de domínio de paisagem de Aziz Nacib Ab’Saber, que integra esta formação vegetacional ou “*fácie*” ao domínio araucária.

Algumas disjunções desta formação são encontradas em refúgios como a Serra da Mantiqueira Meridional e na Serra do Mar, dando indícios da dispersão paleogeográfica da espécie-símbolo, araucária, que, por sinal, diverge da atual (BAUERMMAN e BEHLING, 2009).

A vegetação é fortemente influenciada pela geomorfologia local, por conta disto, a formação assume quatro feições ou fitofisionomias: Aluvial, Submontana, Montana e Alto-montana (FIGURA 2).

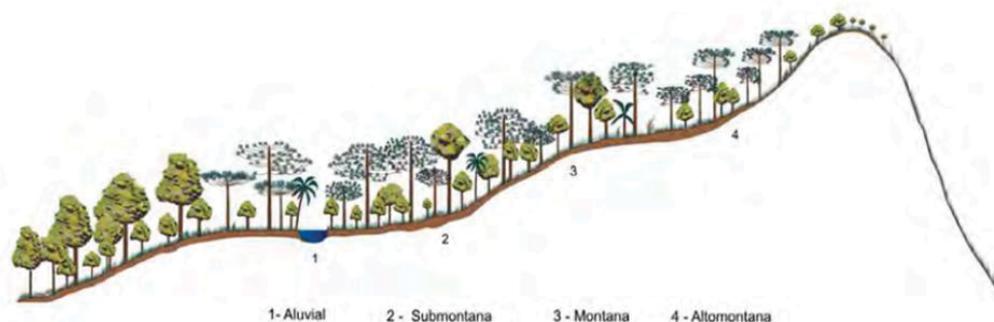


FIGURA 2 - Corte vertical esquemático do relevo sob Floresta Ombrófila Mista  
FONTE: Veloso et al. (1991)

### 3.5 Coníferas do Hemisfério Sul - Araucariaceae

A família Araucariaceae data do período Triássico Tardio (220 milhões de anos atrás), pertencente a era dos dinossauros ou Mesozóica, também marcada por grandes extinções em massa, ou seja, os indivíduos primitivos do táxon em questão pertenceram a flora dos supercontinentes da pré-história (KERSHAW e WAGSTAFF, 2001).

Aspectos relacionados ao surgimento da família, o padrão de abrangência dos gêneros e espécies e o histórico de distribuição, bem como algumas peculiaridades biológicas e a presença de fósseis, auxiliam na reconstrução da biogeografia e dos paleoambientes do hemisfério sul na época da deriva continental, padrões de clima e vegetação, além da dinâmica tectônica vigente, por exemplo (VEBLEN *et al.*, 1995). Os dois maiores gêneros da família Araucariaceae são *Araucaria* e *Agathis*.

As coníferas encontradas na América do Sul, pertencentes a família em discussão, dominam os cenários subtropicais sul brasileiro e das latitudes temperadas da região andina, com destaque a espécie *Araucaria angustifolia* (FIGURA 3).

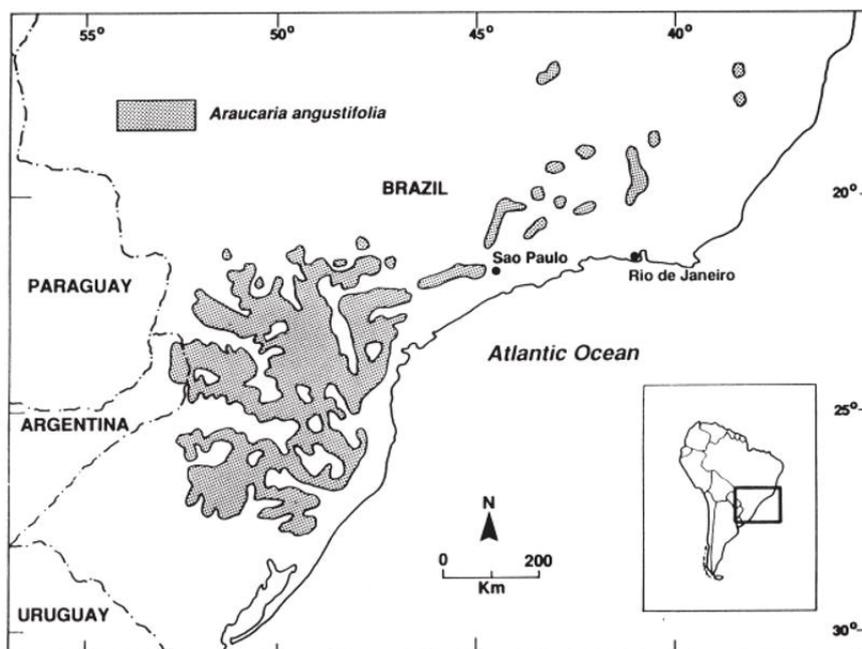


FIGURA 3 - Distribuição da *Araucaria angustifolia* no sul do Brasil  
FONTE: Veblen *et al.* (1995)

O intenso vulcanismo na região do Planalto Meridional sugere que a espécie tenha iniciado sua jornada através do Escudo Atlântico, formado durante os processos de fechamento de oceanos primitivos no entono do cráton São Francisco, resultado da quebra do grande continente Rodínia que deu forma inicial ao que se conhece hoje por América do Sul e África (DELGADO *et al.*, 2003; IBGE, 2012; MEIRELES *et al.*, 2014).

A araucária é considerada umas das espécies nativas brasileiras de maior crescimento e grande potencial para ganho genético. A biologia sexual das plantas configura indivíduos dióicos, polinização anemófila, gerando sementes grandes, dispersas por animais (zoocoria) como roedores, aves, primatas, porcos domésticos da família Peccaries (catitus ou queixadas). A germinação das sementes acontece logo após desmembrarem-se da árvore-mãe, com viabilidade inferior a seis semanas. São fisiologicamente resistentes a ambientes sombreados, podendo desenvolver-se sob a copa de outros indivíduos maiores, no entanto, o incremento é reduzido (VEBLEN *et al.*, 1995; MARAN *et al.*, 2016; WREGE, 2017).

A importância histórico-biológica, ambiental e socioeconômica da araucária motivou e ainda motiva estudos sobre seus hábitos espaciais, padrões de crescimento, ecologia, botânica e biométrie e ainda métodos mais adequados de pesquisa afim de zelar por sua manutenção, que tem sido ameaçada frente a exploração inadequada da madeira, ao avanço da conversão do uso do solo para abertura de novas áreas de cultivo agrícola e às mudanças climáticas (RIBEIRO *et al.*, 2013; SANQUETTA *et al.*, 2014; WREGE, 2016; CHASSOT e FLEIG, 2018; DEBASTIANI, 2019).

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 Área de estudo

A Floresta Nacional de São Francisco de Paula (FLONA) é uma unidade de conservação federal de uso sustentável, localizada no município de São Francisco de Paula (FIGURA 4), sob o domínio Mata Atlântica, ao nordeste do estado do Rio Grande do Sul, abrange uma superfície de aproximadamente 1.616 ha. É uma região de altitude (652,69 m a 944,31 m), relativamente fria, com verões brandos, invernos úmidos e de baixas temperaturas. De acordo com a classificação de Köppen-Geiger, o clima é do tipo subtropical Cfb, temperado.

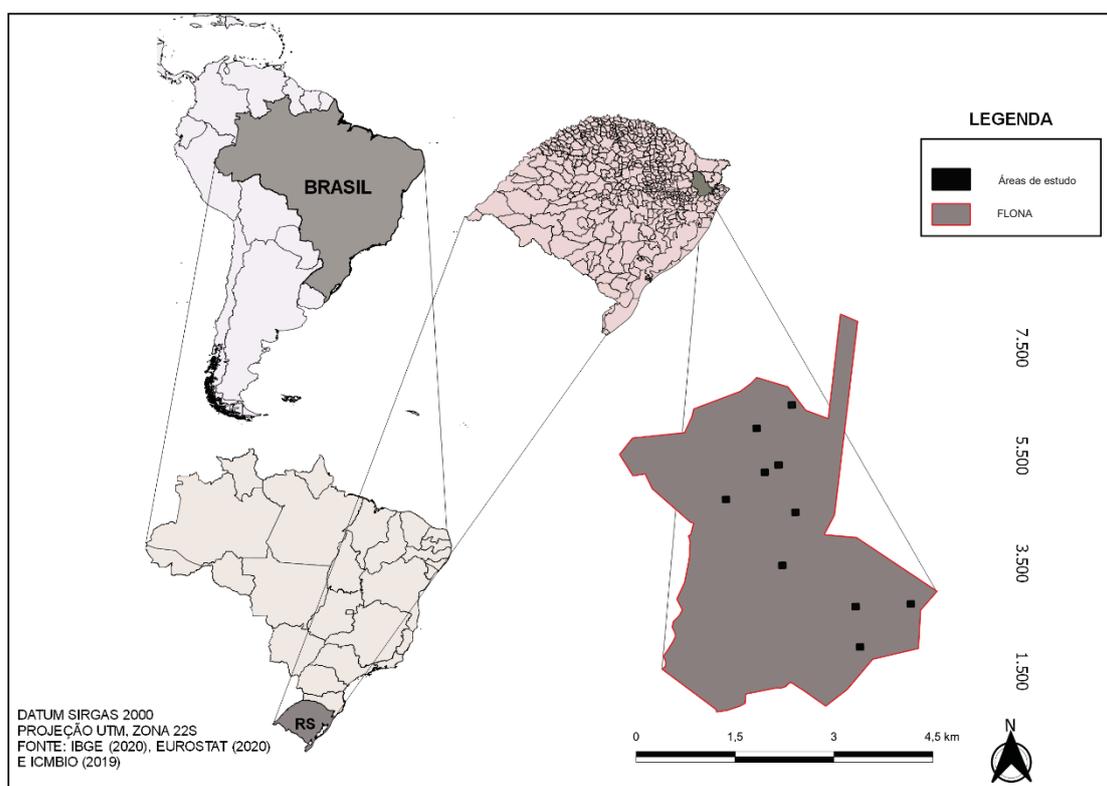


FIGURA 4 - Localização das áreas de estudo no interior da FLONA São Francisco de Paula  
FONTE: Autoral (2021)

Em termos de vegetação, a área conta com um mosaico de fitofisionomias como Floresta Ombrófila Mista, banhados, campos sulinos e povoamentos de *Pinus sp.*, *Eucalyptus sp.*, *Cryptomeria japonica* e *Araucaria angustifolia*. A unidade de conservação é considerada relevante para perpetuação de espécies

tidas como em risco de extinção como a própria araucária e a preservação de cursos d'água que abastecem municípios vizinhos (ICMBio, 2020).

#### **4.2 Natureza e análise dos dados**

Os dados que fundamentam a construção deste trabalho têm origem em medições anuais, realizadas por um período de 10 anos, entre os anos 2000 e 2009, em parcelas permanentes, idealizadas e instaladas pelo PELD (Projeto Ecológico de Longa Duração) na FLONA de São Francisco de Paula.

Tendo como objetivo o estudo do comportamento espacial/geográfico de variáveis quantitativas relativas as dimensões (diâmetro e volume) e crescimento em um corte temporal de 10 anos nas árvores de araucária, o posicionamento geográfico destes indivíduos é de extrema importância para o processamento das análises propostas, portanto, para descrição e modelagem das variáveis citadas no espaço, integrou-se à base de dados as coordenadas (em UTM para melhor efeito de cálculo) das árvores e a locação das unidades amostrais para construção da base geográfica.

Dentro da perspectiva espacial do estudo de fenômenos ou eventos têm-se quatro grandes áreas que compõem os processos de análise espacial, são eles: 1) Manipulação de dados espaciais; 2) Análise de dados espaciais; 3) Análise estatística espacial e 4) Modelagem espacial (O'SULLIVAN e UNWIN, 2003). Para o desenvolvimento deste trabalho, procurou-se seguir estas abordagens para um processamento adequado dos dados tendo em vista os objetivos propostos.

Inicialmente, para uma melhor visualização do fenômeno, definição do modelo inferencial para caracterização do mesmo (se pontual ou superfícies contínuas, por exemplo), escala de análise e delimitação das áreas amostrais, lançou-se mão dos recursos encontrados em ambiente de processamento SIG, mais especificamente, por meio das ferramentas do programa *Qgis 3.16.11 Hannover*.

Dentro do que se adotou como conceito de “processos pontuais” (CÂMARA *et al.*, 2004; BADDELEY *et al.*, 2016) considerou-se cada indivíduo arbóreo como um evento pontual imbuído de atributos que auxiliam na descrição dos objetos e os tornam passíveis de análises relacionadas a mudanças no

tempo. Neste caso, as marcas ou atributos destacados dizem respeito aos valores de diâmetro a altura do peito (DAP), volume e os incrementos periódicos anuais (IPA) de cada araucária e suas possíveis mudanças entre os anos de 2000 e 2009.

### 4.3 Medidas centrográficas

O'Sullivan e Unwin (2003) resumiram as funções da etapa de análise de dados espaciais em descritiva e exploratória, desta maneira, com o intuito de fornecer uma descrição sumária referente ao padrão pontual, representado por cada objeto pontual/árvore presente nas áreas em estudo, e buscar vestígios de instabilidade comportamental por parte das variáveis de interesse com base na localização e no tempo, foram utilizadas algumas técnicas de análise fundamentadas na estatística centrográfica (SVIATLOVSKY *et al.*, 1937), centro médio ponderado, distância padrão e elipse de desvio-padrão ponderadas.

O centro médio (Equação 1) representa o centro da distribuição e assume uma coordenada média no espaço geográfico, no geral, para efeito de cálculo. Para informar sobre a distribuição dos atributos adaptou-se o centro médio atribuindo a cada coordenada um “peso” ( $p_i$ ) ou atributo representado pelas medidas de diâmetro, volume e incrementos.

$$(x_m, y_m) = \left( \frac{\sum_{i=1}^n p_i x_i}{\sum_{i=1}^n p_i}, \frac{\sum_{i=1}^n p_i y_i}{\sum_{i=1}^n p_i} \right) \quad (1)$$

Em que:

( $x_m, y_m$ ): centro médio;  
 $x_i$ : a coordenada “x” considerando a árvore “i”;  
 $y_i$ : a coordenada “y” considerando a árvore “i”;  
 $p_i$ : “peso” ou atributo;

A distância-padrão (Equação 2) segue a lógica do conhecido desvio-padrão e mede o grau de concentração ou dispersão dos pontos em torno da coordenada média. Essa distância equivale ao raio de uma circunferência com centro localizado em ( $x_m, y_m$ ). Semelhante a equação anterior, também foi acrescentado a fórmula de distância padrão o fator ponderação representado por “ $p_i$ ”.

$$S_{xy} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n p_i (x_i - x_m)^2 + \sum_{i=1}^n p_i (y_i - y_m)^2}{n}} \quad (2)$$

Em que:

$S_{xy}$ : distância-padrão;  
 $x_i$ : a coordenada “x” considerando a árvore “i”;  
 $y_i$ : a coordenada “y” considerando a árvore “i”;  
 $p_i$ : “peso” ou atributo;

A elipse de desvio-padrão (Equação 3) também é considerada uma medida de dispersão que, diferentemente da distância-padrão, consegue dar forma e direção a distribuição. A forma é caracterizada por quatro componentes: eixos de maior e menor dimensão que representam a máxima e a mínima dispersão, o ângulo de rotação e a abrangência dos desvios-padrão.

$$q = \sqrt{\frac{\partial x^2 + \partial y^2}{2}} \quad (3)$$

Em que:

$q$ : elipse de desvio-padrão;  
 $\partial x^2$ : desvio-padrão na direção X (longitude);  
 $\partial y^2$ : desvio-padrão na direção Y (latitude);

#### 4.4 Intensidade

Baddeley *et al.* (2016) consideram a averiguação de um padrão pontual como um dos primeiros e mais importantes passos em uma análise de dados. Em termos simples, a intensidade (Equação 4) pode ser encarada como a distribuição média do fenômeno por unidade de área, no entanto, na maioria dos casos, esse conceito não é não apropriado, tendo em vista que, em geral, os processos naturais variam de acordo com a localização no espaço.

$$\lambda_m = \frac{n(x)}{|W|} \quad (4)$$

Em que:

$\lambda_m$ : intensidade;

$n(x)$ : número de pontos no conjunto de dados  $x$ ;  
 $W$ : janela de observação;

Quando se fala em mapear a intensidade de crescimento de um conjunto de árvores em uma área, leva-se em consideração marcas ou fatores de ponderação relativos as características de interesse estudadas no conjunto de pontos, como, por exemplo, valores de incremento em centímetro (diâmetro) e metro cúbico (volume) em um intervalo de tempo. Neste trabalho, os valores de incremento periódico anual diamétrico e volumétrico foram considerados em um período de 10 anos por unidade de área (metro quadrado).

Bivand *et al.* (2016) destacam que para a estimativa da intensidade de fenômenos pontuais heterogêneos há diferentes meios, paramétricos (uso de funções específicas de intensidade cujos parâmetros são estimados maximizando a probabilidade dos processos pontuais) e não paramétricos. Para Baddeley *et al.* (2016) o emprego de funções não-paramétricas para estimação de padrões não homogêneos é dado, principalmente, pela função de estimação de densidade Kernel ou *Kernel smoothing* (Equação 5).

$$\lambda_u = \sum_{i=1}^n \frac{1}{e(x_i)} K(u-x_i) \quad (5)$$

Em que:

$K(u - x_i)$  representa o raio ou círculo centrado no ponto a ser estimado;

O método de estimativa Kernel possibilita a estimação de valores de densidade em locais na área de estudo onde não se contabilizou eventos, com base em um raio de abrangência e as distâncias entre os pontos envolvidos pelo raio e a região central onde a estimativa será feita. Se uma série de estimativas deste tipo forem feitas pela região de estudo é possível mapear os valores produzidos, contornando as áreas de maior e menor densidade, formando uma superfície contínua, a partir de um padrão discreto de objetos pontuais (O'SULLIVAN e UNWIN, 2003).

Quanto maior o valor do raio (*bandwidth*), mais próximos serão os valores estimados àquele relativo à área total de estudo. Se pequeno, o padrão de superfície será focado em eventos individuais, com densidade estimada em zero em locais remotos com ausência de eventos (O'SULLIVAN e UNWIN, 2003).

Portanto, para escolha do melhor raio, deverá ser analisado os objetivos do estudo. Neste caso, adotou-se um raio de abrangência de 5 m.

#### **4.5 Pacotes utilizados**

Todas as três medidas centrográficas foram calculadas por meio do pacote *aspace*, com mais detalhes no *script 1* (Apêndice A, FIGURA 15). O cálculo da intensidade e estimativas de densidade Kernel foram feitas por meio do pacote *spatstat*, *script 2* (Apêndice A, FIGURA 16).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Medidas centrográficas

#### 5.1.1 Centro médio e distância-padrão

Foram determinados os centros médios para cada unidade referente ao diâmetro à altura do peito (DAP) e volume em 2000 e 2009. De igual forma, foram calculados para valores de incremento (Apêndice B).

Quando analisados os comportamentos dos centros médios do DAP, nos dois períodos estipulados, percebe-se que não há um deslocamento significativo nos eixos de coordenadas, inclusive, nas áreas 1539 e 1546, não houve nenhuma movimentação destes centros de gravidade da variável. Na área 1542, houve um deslocamento de 1 m na direção leste-oeste (eixo Y) e 0,3 m oeste-leste (eixo X), sendo considerada a maior distância percorrida (TABELA 1).

TABELA 1 - Centro médio e distância-padrão (DAP 2000 e 2009)

Área	Centro Médio 2000		Dist.- padrão (m)	Centro Médio 2009		Dist.- padrão (m)
	X	Y		X	Y	
1537	559213,90	6744964,00	25,87	559214,30	6744964,00	26,61
1538	558657,00	6746446,00	36,16	558657,40	6746446,00	36,29
1539	558977,50	6744055,00	40,95	558977,50	6744055,00	40,99
1540	558984,90	6745806,00	39,68	558984,80	6745806,00	39,63
1541	558151,30	6745237,00	43,22	558151,70	6745237,00	43,52
1542	559159,00	6746861,00	33,83	559158,70	6746862,00	33,71
1543	560909,80	6743326,00	40,28	560909,90	6743326,00	40,27
1544	560132,47	6742578,03	52,36	560132,34	6742577,91	52,22
1545	560083,60	6743309,00	38,66	560083,70	6743309,00	38,69
1546	558744,20	6745688,00	40,51	558744,20	6745688,00	40,51
<b>Média</b>	---	---	39,15	---	---	39,24
<b>D.padrão</b>	---	---	6,76	---	---	6,60

FONTE: Autoral (2021)

Para a variável volume, as mudanças foram mais intensas quando comparadas ao DAP, consta-se deslocamento de até 2 m, leste-oeste (eixo Y), na área 1542 (TABELA 2). O segundo maior foi na unidade 1538, distância de 1,70 m, norte-sul. Ao se traçar um comparativo entre os centros médio dos

incrementos em DAP e volume, as maiores mudanças no que diz respeito aos pontos calculados estão nas áreas 1537, 1541 e 1544.

TABELA 2 - Centro médio e distância-padrão (Volume 2000 e 2009)

Área	Centro Médio 2000		Dist.- padrão (m)	Centro Médio 2009		Dist.- padrão (m)
	X	Y		X	Y	
1537	559209,60	6744965,00	21,98	559209,30	6744965,00	22,33
1538	558652,10	6746444,00	36,29	558653,80	6746445,00	36,24
1539	558977,30	6744055,00	40,39	558977,70	6744054,00	40,63
1540	558984,60	6745803,00	40,02	558984,40	6745803,00	39,90
1541	558146,20	6745233,00	42,03	558146,00	6745234,00	41,64
1542	559152,50	6746862,00	35,96	559151,60	6746864,00	33,58
1543	560910,90	6743328,00	39,96	560910,80	6743328,00	40,10
1544	560132,47	6742578,03	39,65	560132,34	6742577,91	48,68
1545	560080,90	6743308,00	38,10	560081,00	6743309,00	38,45
1546	558741,10	6745687,00	40,67	558740,70	6745687,00	40,79
<b>Média</b>	---	---	37,51	---	---	38,23
<b>D.padrão</b>	---	---	5,78	---	---	6,81

FONTE: Autoral (2021)

No geral, as unidades que não apresentaram modificações, espacialmente falando, nos centros médio, podem indicar que não ocorreram variações nos valores de incrementos entre os anos analisados.

As maiores distâncias entre os centros médio de incremento em DAP e volume revelam que as regiões de maiores crescimentos em diâmetro não necessariamente são as mesmas que em volume.

A área 1537 apresenta tendência de maior concentração das árvores de maior DAP em 2000 e 2009, havendo um aumento de 0,74 m na distância-padrão (medida de dispersão) de um período para o outro (FIGURA 17/Apêndice B). Na unidade 1544, o quantitativo de araucárias é baixo, dois indivíduos em 10.000 m<sup>2</sup>, influenciando no valor de distância-padrão (52,36 m e 52,22 m, respectivamente), a maior entre as áreas avaliadas (FIGURA 17/Apêndice B).

Em 10 anos, em algumas áreas, as araucárias diametralmente maiores tenderam a um maior agrupamento, tendo em vista que as distâncias-padrão reduziram em alguns centímetros nas unidades 1540, 1542, 1543 e 1544 entre os anos avaliados (FIGURAS 24- 25, FIGURA 28 – 33/ Apêndice B).

Partindo para a análise de dispersão espacial das árvores com maior volume, percebe-se, ao traçar um comparativo com as de maior DAP, que, em

média, as distâncias-padrão são menores nos dois períodos, o que significa dizer que estão mais agrupadas. Alguns valores apresentaram diminuição de 2000 a 2009 nas unidades 1540, 1541 e 1542 (FIGURA 24 – 29/Apêndice B).

A distância-padrão na área 1537 foi de 130,76 m para incremento em diâmetro (Figura 5), indicando maior dispersão no quesito ganho em DAP em relação ao centro médio. Para incremento em volume, nota-se que as árvores estavam menos distantes, uma diferença de 99,45 m em relação ao incremento em diâmetro variável anterior (IPA em DAP) (FIGURA 5). No entanto, na região 1540, em 2009, o incremento em volume apresentou um padrão mais disperso do que nas demais (115,26 m) (TABELA 3) (FIGURA 6).

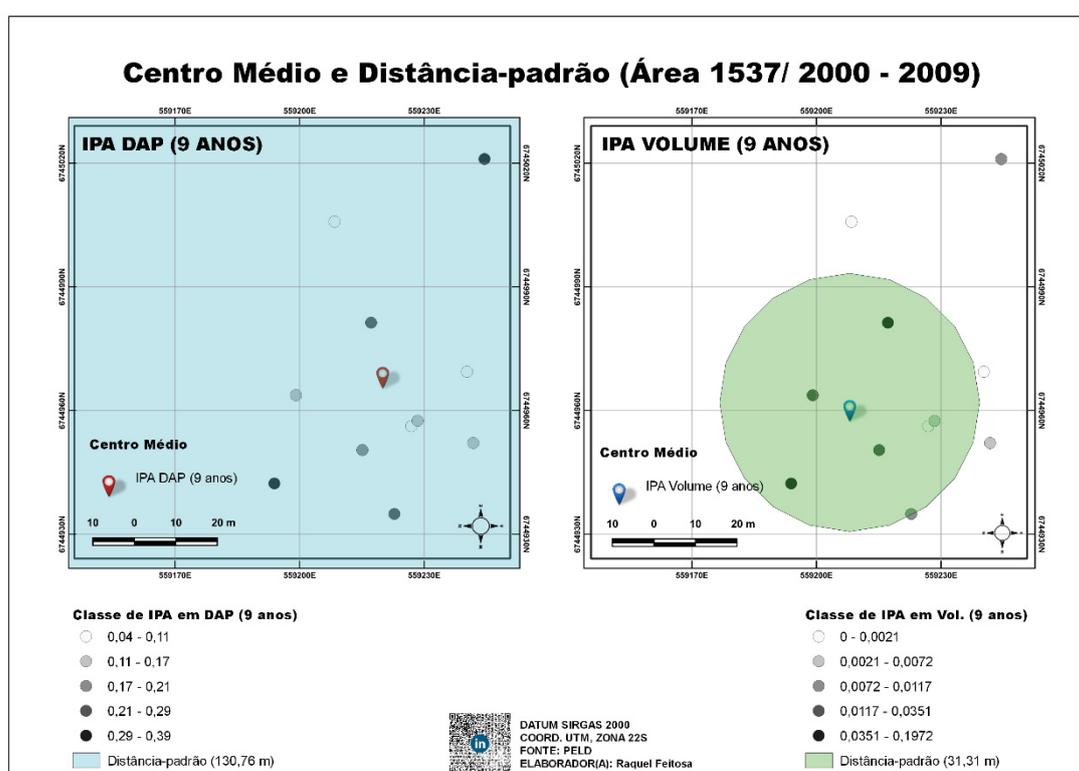


FIGURA 5 - Centro médio e distância-padrão para IPA em DAP e volume em 10 anos (área 1537)  
 FONTE: Autoral (2021)

TABELA 3 - Centro médio e distância-padrão em incremento periódico anual de DAP e Volume – (2000 a 2009)

Área	Centro Médio (IPA-DAP)		Dist.- padrão (m)	Centro Médio (IPA - Vol.)		Dist.- padrão (m)
	X	Y		X	Y	
1537	559220,00	6744970,00	130,76	559208,00	6744962,00	31,31
1538	558661,20	6746449,00	39,56	558661,40	6746451,00	70,35
1539	558978,70	6744053,00	43,58	558979,50	6744051,00	45,88
1540	558983,70	6745807,00	42,27	558983,70	6745803,00	115,26
1541	558159,00	6745242,00	44,11	558145,30	6745236,00	42,71
1542	559156,30	6746867,00	50,59	559149,60	6746867,00	33,43
1543	560911,60	6743324,00	40,96	560910,40	6743328,00	43,18
1544	560129,34	6742575,08	48,99	560117,28	6742563,71	39,65
1545	560085,00	6743309,00	40,28	560081,90	6743312,00	44,86
1546	558746,20	6745688,00	40,98	558738,20	6745685,00	44,98
<b>Média</b>	---	---	<b>52,21</b>	---	---	<b>51,16</b>
<b>D.Padrão</b>	---	---	<b>27,84</b>	---	---	<b>24,85</b>

FONTE: Autoral (2021)

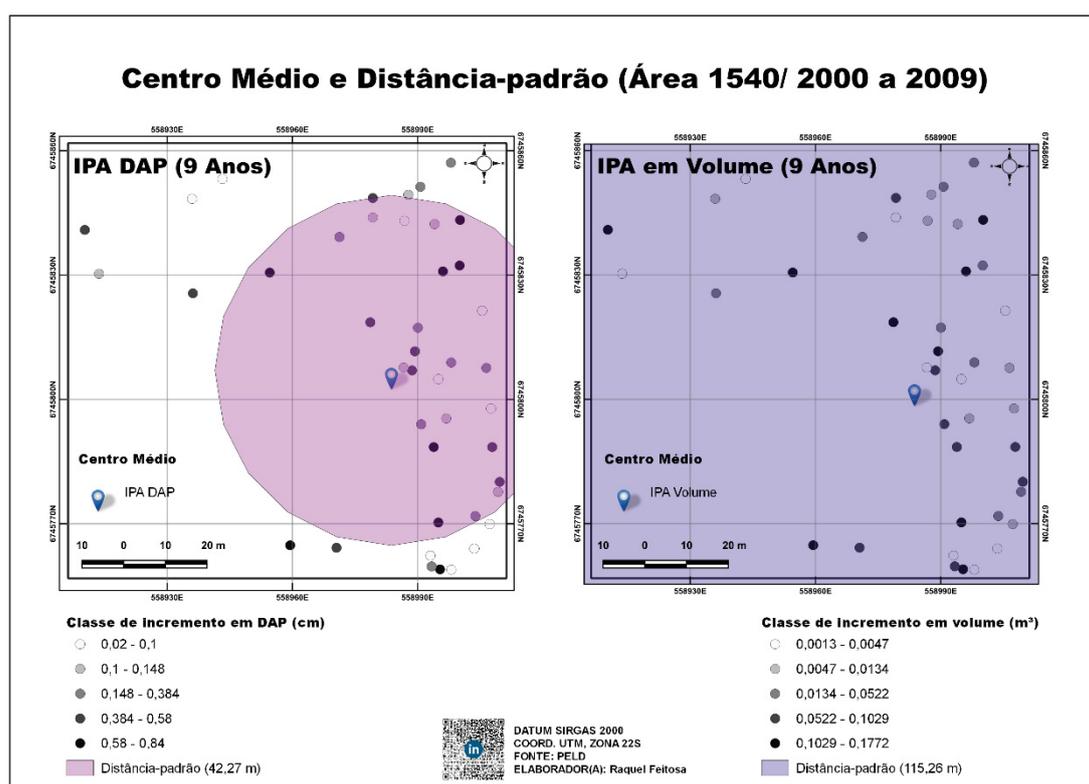


FIGURA 6 - Centro médio e distância-padrão para IPA em DAP e volume em 10 anos (área 1540)  
 FONTE: Autoral (2021)

### 5.1.2 Elipse de desvio-padrão

As elipses de desvio-padrão indicam em que sentido e/ou direção os valores de DAP, volume e incremento covariam dentro das áreas objeto de estudo entre os anos de 2000 e 2009, por meio dos eixos x e y (TABELA 4 – 6). Na maioria das situações, desenha-se um eixo proeminente que, nos casos em questão, é representado por y. Algumas outras apresentam elipses de forma circular, com baixo valor de excentricidade, denotando uma maior aleatoriedade quanto a distribuição dos atributos.

TABELA 4 - Elipse de desvio-padrão (DAP 2000 e 2009)

Parc.	DAP (2000)			DAP (2009)		
	Eixo x (m)	Eixo y (m)	Excent.	Eixo x (m)	Eixo y (m)	Excent.
1537	17,79	31,98	0,83	17,33	33,08	0,84
1538	31,6	40,27	0,61	32,09	40,05	0,60
1539	39,73	42,15	0,33	39,83	42,11	0,32
1540	29,91	47,4	0,78	29,91	47,4	0,77
1541	35,98	49,41	0,68	35,85	49,57	0,69
1542	21,04	42,97	0,87	21,74	42,42	0,86
1543	36,62	43,64	0,54	36,52	43,69	0,55
1544	---	---	---	---	---	---
1545	34,08	42,75	0,60	34,1	42,79	0,60*
1546	40,34	40,67	0,13	40,34	40,65	0,13

FONTE: Autoral (2021)

TABELA 5 - Elipse de desvio-padrão (Volume 2000 e 2009)

Parc.	Volume (2000)			Volume (2009)		
	Eixo x (m)	Eixo y (m)	Excent.	Eixo x (m)	Eixo y (m)	Excent.
1537	9,27	29,67	0,95	9,45	30,14	0,95
1538	28,19	42,89	0,75	29,36	42,00	0,72
1539	38,34	42,34	0,42	39,18	42,03	0,36
1540	29,46	48,32	0,79	29,79	47,92	0,78
1541	40,39	43,60	0,38	39,66	43,53	0,41
1542	19,06	47,15	0,91	19,23	43,43	0,90
1543	34,83	44,51	0,62	35,58	44,15	0,59
1544	---	---	---	---	---	---
1545	34,37	41,51	0,61	34,76	41,81	0,56
1546	40,54	40,81	0,12	40,53	41,04	0,16

FONTE: Autoral (2021)

TABELA 6 - Elipse de desvio-padrão (IPA em DAP e Volume 2000 a 2009)

Parc.	IPA (DAP)			IPA (Vol.)		
	Eixo x (m)	Eixo y (m)	Excent.	Eixo x (m)	Eixo y (m)	Excent.
1537	72,96	169,92	0,90	13,49	42,18	0,95
1538	39,04	40,08	0,23	66,73	73,80	0,43
1539	42,76	44,38	0,27	44,36	47,35	0,35
1540	34,63	48,73	0,70	89,77	136,05	0,75
1541	33,75	52,46	0,76	38,96	46,16	0,54
1542	37,40	61,00	0,79			
1543	35,61	45,69	0,63	39,67	46,42	0,52
1544	---	---	---	---	---	---
1545	35,33	44,68	0,61	41,19	48,24	0,52
1546	40,46	41,48	0,22	43,69	46,23	0,33

FONTE: Autoral (2021)

As elipses de desvio-padrão construídas com base nos valores de DAP em 2000 (Apêndice C), em sua maioria, apresentam eixos proeminentes bem definidos, são elas: 1537 (sentido nordeste – sudoeste), 1538 (sentido norte-sul), 1540 (sentido noroeste-sudeste), 1541 (sentido nordeste – sudoeste), 1542 (sentido noroeste – sudeste), 1543 (sentido noroeste-sudeste) e 1545 (sentido nordeste – sudoeste). Além destas, duas de formato circular, 1539 e 1546, o que indica maior uniformidade, e uma, 1544, sem um padrão definido de dispersão, sendo válido informar que em nenhuma das conjunturas subsequentes esse delineamento ocorreu.

Ainda no ano de 2000, a variável volume resultou em elipses de formato mais homogêneo, com leves tendências a formação de um eixo majoritário, havendo apenas três com um eixo de distribuição mais acentuado: 1537, com 0,95 de excentricidade e direção nordeste - sudoeste; 1538, com 0,75 e direção norte - sul; 1542, com 0,91 e direção noroeste - sudeste. A unidade 1546, com excentricidade no valor de 0,12, manteve uma distribuição de valores homogênea (FIGURA 48/Apêndice C).

Em 2009, as elipses de DAP, grande parte delas, tiveram alterações em suas excentricidades em 0,1, para mais ou para menos. Nas áreas 1545 e 1546, os valores foram mantidos e, na unidade 1543, o aumento foi de 0,4. As direções das distribuições permaneceram as mesmas (FIGURA 47/Apêndice C). Para volume, as variações relativas à excentricidade são erráticas, notam-se aumentos, diminuições e constâncias. As unidades 1537 e 1545 mantiveram os

valores de 0,95 e 0,56 (respectivamente), a unidade 1546 apresentou acréscimo de 0,4 e a unidade 1539 uma redução de 0,6 (FIGURA 48/Apêndice C).

Traçando um comparativo entre o quadro geral das elipses de incremento em volume e DAP, ressalta-se, em especial, a área 1542 que tem formato definido para diâmetro (FIGURA 7), no entanto, esta condição não se repete para volume. Em ambas as situações, tanto para IPA em volume quanto IPA em DAP, a unidade 1537 possui a distribuição mais bem definida, com valores de excentricidade de 0,95 e 0,90, respectivamente, com eixo maior na direção nordeste – sudoeste (FIGURA 8).

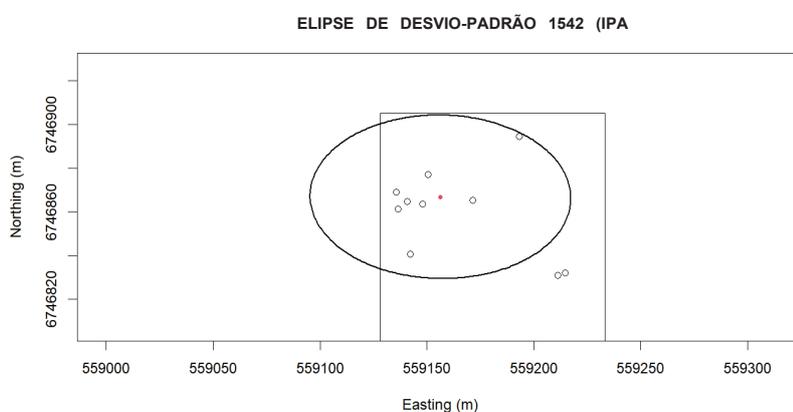


FIGURA 7 - Elipse de desvio-padrão de IPA em DAP (área 1542)

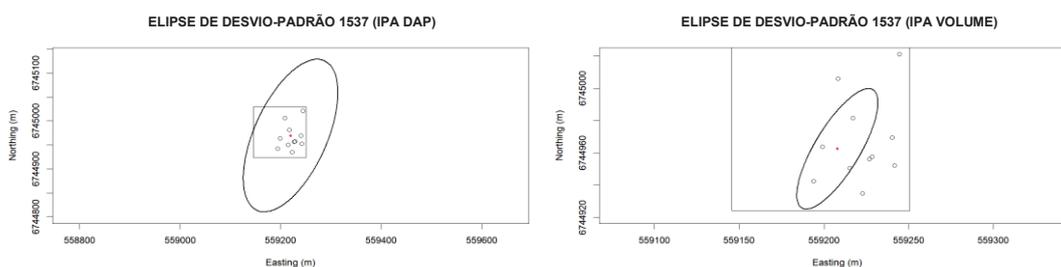


FIGURA 8 - Elipse de desvio-padrão de IPA em DAP e volume (área 1537)

As elipses 1538 (FIGURA 9) e 1540 (FIGURA 10), incremento em volume, ultrapassam parcialmente no primeiro caso, e totalmente no segundo caso, os limites das áreas de 10.000 m<sup>2</sup> respectivas. Na unidade 1538, o maior desvio (eixo y), perfaz uma distância de 73,80 m, em torno do centro de distribuição, enquanto o menor, 66,73 m. Sobre a unidade 1540, o maior eixo (y) tem uma distância de 136,05 m. Coincidentemente, as distâncias-padrão calculadas

retornaram valores que dão indícios de um padrão heterogêneo de distribuição (70,35 m para a unidade 1538 e 115,26 m para a unidade 1540).

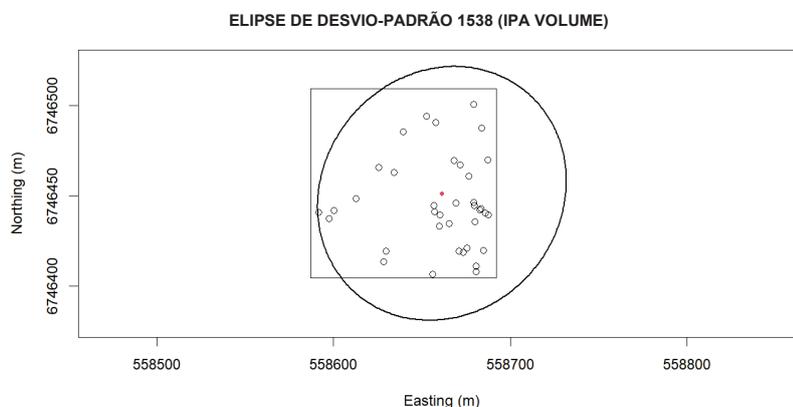


FIGURA 9 - Elipse de desvio-padrão de IPA em volume (área 1538)

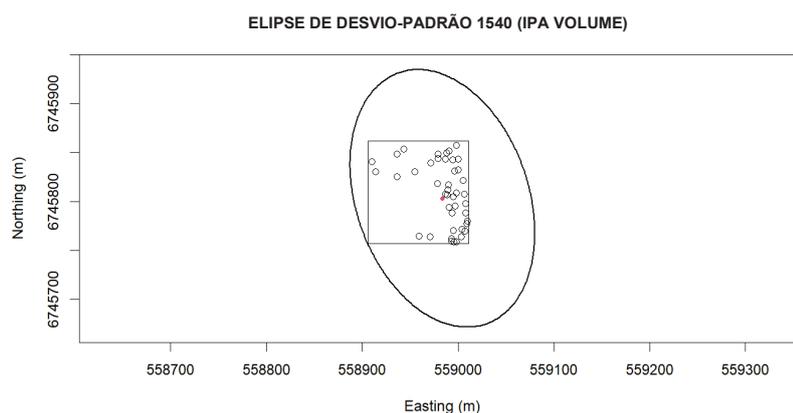


FIGURA 10 - Elipse de desvio-padrão de IPA em volume (área 1540)

O incremento em DAP, referente a unidade 1537, resultou em uma elipse com eixo y de distância sobressalente aos seus limites geográficos, 169,92 m, indicando a direção e a forma geométrica da dispersão indicada pela distância-padrão de 130,76 m.

É perceptível que as métricas relativas as árvores de araucária respondem de maneiras distintas aos gradientes ambientais em cada área, embora inclusas em um mesmo complexo, a FLONA São Francisco de Paula. As condições de solo, relevo, microclima e influência antrópica, por exemplo, resultam em estruturas e padrões de crescimento florestal distintas (DOS ANJOS *et al.*, 2004; HESS *et al.*, 2009; SCHAEFER *et al.*, 2020). Corroborando com o

exposto, Bauermann e Behling (2009) e Kersten *et al.* (2011), citam que a vegetação encontrada no domínio Araucária é fortemente influenciada pela geomorfologia local. Diante do exposto, a variação sobrestante em direções específicas nas áreas analisadas podem refletir sobre estas condições variando no espaço.

## 5.2 Intensidade

O valor de intensidade ponderada calculado reflete a distribuição de incrementos das árvores por metro quadrado nos períodos de 2000 a 2009 (TABELA 7). Os maiores valores de incremento em DAP por metro quadrado foram apresentados nas parcelas 1546, 1543 e 1545. As árvores na unidade 1546 cresceram 0,0065 cm/m<sup>2</sup>/ano ou 65 cm/ha/ano o que significa dizer que em 10 anos, este acréscimo médio foi de 585 cm/ha. Neste mesmo sentido, nas unidades 1543 e 1545 tiveram um aumento médio em diâmetro de 0,0040 cm/m<sup>2</sup>/ano ou 40 cm/ha/ano (360 cm/ha no fim do período em análise).

TABELA 7 - Intensidade ponderada de crescimento em diâmetro e volume (2000 a 2009)

Parcela	Nº de ind.	IPADAP (cm/m <sup>2</sup> )	IPAvol.(m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )
1537	11	0,0005	0,0011
1538	37	0,0017	0,0003
1539	97	0,0023	0,0012
1540	43	0,0014	0,0002
1541	129	0,0035	0,0016
1542	10	0,0007	0,0001
1543	169	0,0040	0,0017
1544	2	0,0002	0,0002
1545	146	0,0040	0,0011
1546	316	0,0065	0,0013

FONTE: Autoral (2021)

A intensidade de incremento em volume, no comparativo entre áreas, obteve maiores valores nas unidades 1543 (FIGURA 11), com 0,0017 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/ano ou 17 m<sup>3</sup>/ha/ano (153 m<sup>3</sup>/ha em 10 anos), e 1541 (FIGURA 12), com 0,0016 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/ano ou 16 m<sup>3</sup>/ha/ano (144 m<sup>3</sup>/ha em 10 anos).

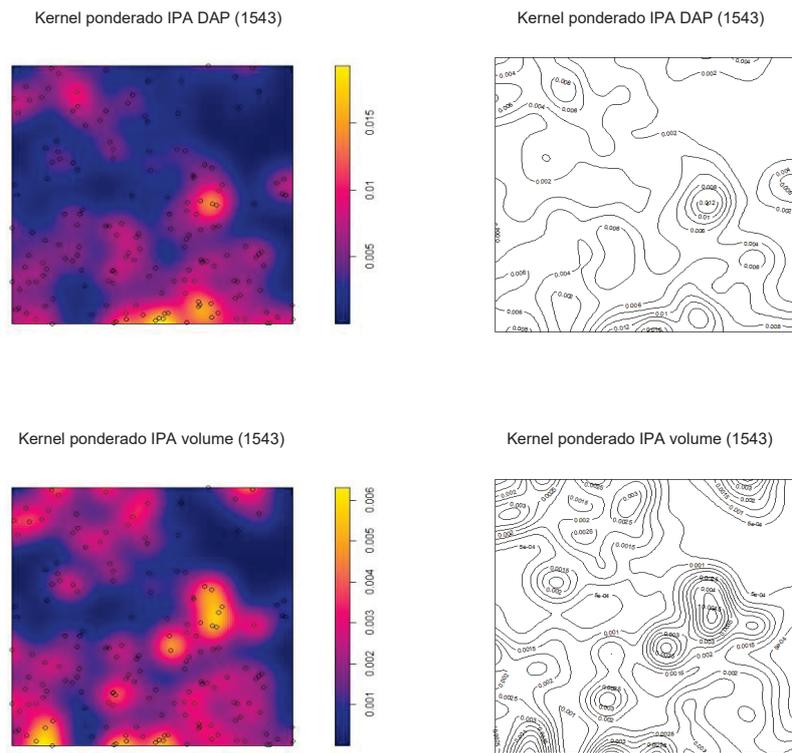


FIGURA 11 - Kernel ponderado para IPA em DAP e volume (área 1543)

FONTE: Autoral (2021)

Nota-se que o ganho nesta área (1543), em volume, é bem mais distribuído quando em paralelo ao incremento (IPA) em DAP. Na FIGURA 12, área 1541, os aumentos em volume são bem pontuais, concentrando-se quase que exclusivamente a uma única região, mais ao leste do terreno.

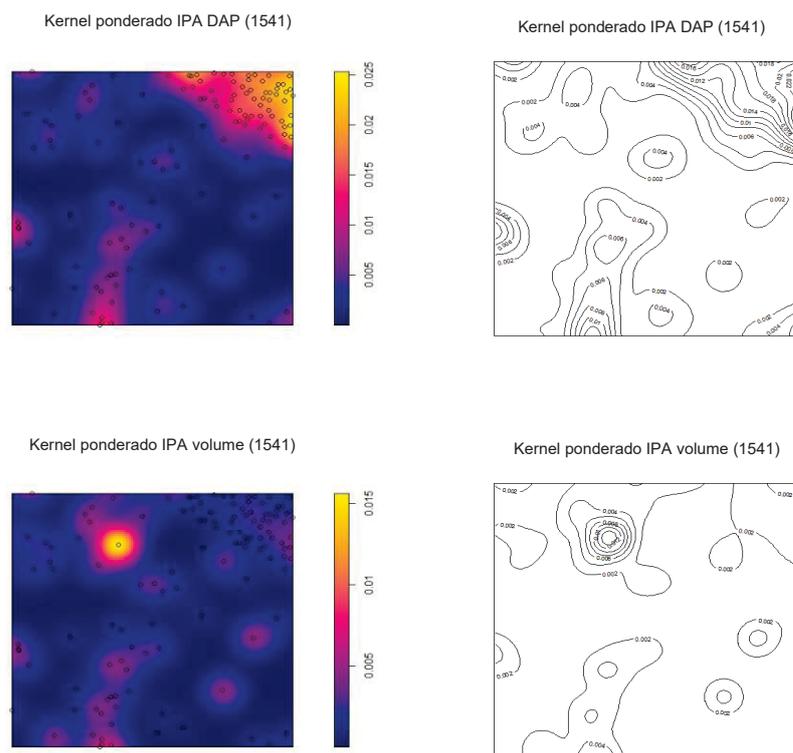


FIGURA 12 - Kernel ponderado para IPA em DAP e volume (área 1541)  
 FONTE: Autoral (2021)

Por meio de uma função de densidade Kernel, foi feito o mapeamento destes valores para melhor visualização dos pontos de maior crescimento em cada área de estudo. A partir do padrão de pontos de cada local, gerou-se uma superfície total estimada com base em valores observados. As regiões “quentes”, em tom amarelo sobressalente, representam *hot spots* de crescimento em diâmetro (Apêndice D).

Brunsdon e Comber (2019), tal como Câmara *et al.* (2004), enfatizam que o raio da função (*bandwidth*) é um dos fatores preponderantes na caracterização do fenômeno em estudo, mediante os objetivos propostos. Raios maiores, no geral, são aplicados para apresentar transições graduais, nestes casos, a grade formada é contínua e suave. Raios menores tendem a ressaltar pequenos agrupamentos ou eventos individuais, havendo uma maior compartimentação da superfície, com densidade estimada em zero em locais com ausência de eventos.

O raio de influência selecionado para estas análises se justifica mediante a necessidade de identificar diferenças entre zonas no terreno com base nas variáveis em questão. Brunsdon e Comber (2019) sugerem o uso de formulações matemáticas como alternativa para um possível ponto de partida, usando como exemplo àquela proposta por Bowman e Azzalini (1997), denominadas “raios ótimos”. No entanto, o raio calculado, de 45 metros, não atendeu a proposta em questão, sendo testada e aprovada, posteriormente, uma métrica menor, de 5 metros, levando em consideração a distância média entre as árvores (OLIVEIRA *et al*, 2021; BRAZ *et al.*, 2015), aplicada a todas as áreas.

Em alguns locais, como na área 1542 (FIGURA 13) e 1544 (FIGURA 14), o raio aplicado resultou em superfícies descontínuas, pois o algoritmo não foi capaz de gerar um *grid* como nas demais áreas. Isto se deve, muito provavelmente, pela maior distância média entre as árvores ali encontradas e a densidade dos eventos.

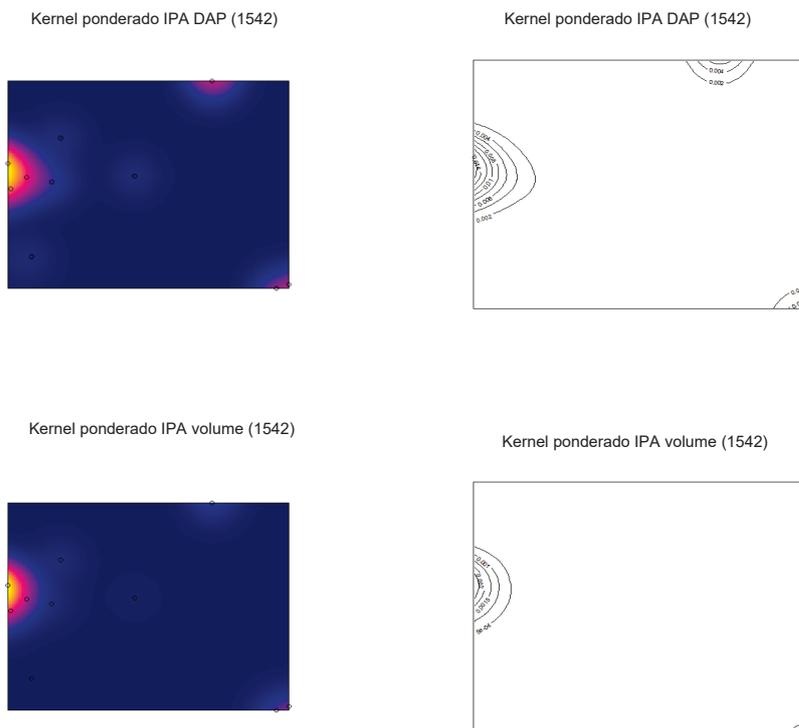


FIGURA 13 – Kernel ponderado para IPA em DAP e volume (área 1542)  
FONTE: Autoral (2021)

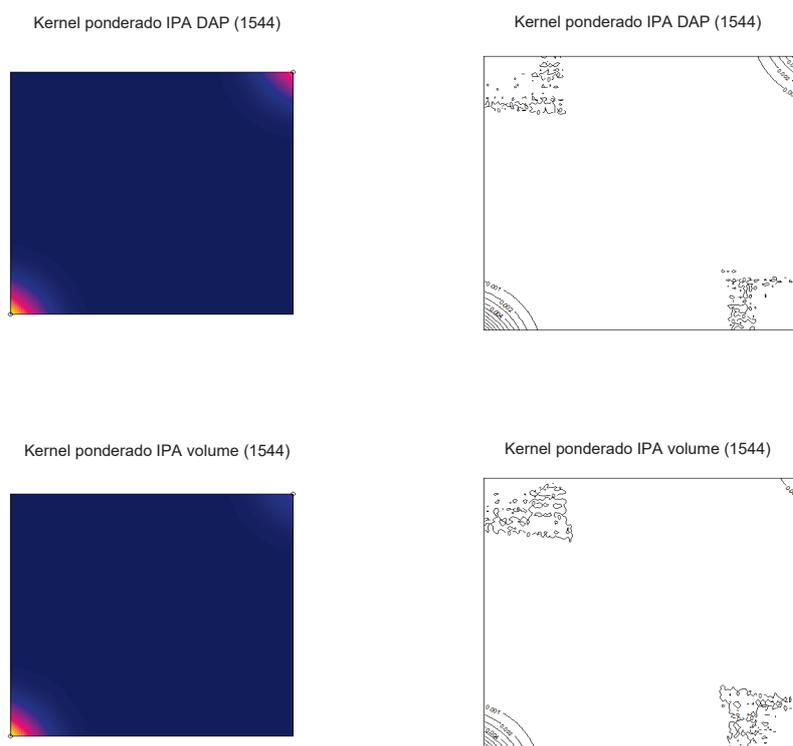


FIGURA 14 - Kernel ponderado para IPA em DAP e volume (área 1544)  
 FONTE: Autoral (2021)

Percebeu-se que os valores de incremento, em diâmetro e volume se comportaram espacialmente de maneira diferente dentro da maioria das janelas espaço-temporal de análise. Segundo Assmann (1970), basicamente, as árvores perfazem três ciclos ou fases durante a vida, marcadamente sequenciados, sendo a primeira caracterizada pelo incremento em altura dos indivíduos, em seguida, há o ciclo em que o ganho em dimensões secundárias é mais acentuado e por último, o crescimento em volume caracteriza a terceira fase. Portanto, as três variáveis possuem picos de incremento divergentes no tempo.

O padrão espacial apresentado nas áreas em análise, quando compara-se os ganhos em diâmetro e volume em 10 anos, podem indicar indivíduos em estágios distintos. O crescimento possui alguns fatores influenciadores como qualidade do sítio, fisiologia, competição, pragas, doenças e idade, por exemplo, que o aloca em patamares específicos (PRETZCH, 2009). Uma floresta natural apresenta grupos de indivíduos em diferentes níveis de desenvolvimento biológico (CARRON, 1968; SCOLFORO e MELO, 2006) que se refletem em

características dendrométricas como altura, diâmetro, área basal e volume que, embora associadas, apresentam respostas distintas a estes fatores.

Scolforo (1994) relata que florestas densas apresentam valores altos de diâmetro médio e área basal individual, no entanto possuem uma menor produção líquida em relação a comunidades arbóreas com menores índices de competitividade.

Tratando-se de uma espécie de características longevas, grupos arbóreos, a exemplo da araucária, necessitam de eventos externos ou distúrbios que garantam abertura de dossel para desenvolvimento de indivíduos em sub-bosque por meio de uma maior incidência solar. Desta maneira, formam-se diversas faixas de desenvolvimento em uma população (SOUZA, 2007; XI, 2015). Ebling e Péllico Netto (2015) sugerem a formação de unidades demográficas denominadas coortes como possível origem de distribuições multimodais em classes de diâmetro da espécie em questão e consideram a ocorrência de distúrbios naturais ou antropológicos como agentes causadores.

Behling *et al.* (2001), em estudos paleobotânicos na região de São Francisco de Paula, afirmam que em condições naturais, as florestas de Araucária ainda estariam expandindo-se sobre os planaltos meridionais, conduzindo o recuo de unidades fitogeográficas como os campos sulinos, resquícios do último período de glacial. Porém, a ação antrópica direta (exploração madeireira e conversão de áreas florestais em locais de pastagem) e indireta (desequilíbrio climático mediante ações desenfreadas e impensadas sobre os ambientes naturais) encarregou-se de dar basta a esse processo (BAUERMMAN e BEHLING, 2001; BAUERMMAN e BEHLING, 2009).

## 6 CONCLUSÃO

Com base nos resultados do presente trabalho, conclui-se que:

- ✓ As populações encontradas nas unidades avaliadas, em sua maioria, indicam diferentes estágios de crescimento, tomando como base os mapas de densidade das métricas de incremento em diâmetro e volume;
- ✓ As variáveis DAP, volume e incrementos apresentam heterogeneidade espacial em direções ou eixos bem definidos, indicando que essas métricas variam de acordo com o espaço e tempo;
- ✓ O raio adequado para função de densidade Kernel ponderado, para populações de araucária, deve levar em consideração a distância entre os indivíduos e a densidade destes;
- ✓ Verificou-se que a modelagem de densidade Kernel foi eficiente para representação das variáveis estudadas apesar da heterogeneidade apresentada pelas medidas centrográficas nas áreas analisadas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB'SABER, A.N. **Domínios morfoclimáticos e províncias fitogeográficas do Brasil**. São Paulo: Universidade de São Paulo – USP, Inst. De geografia, n. 3, p. 45-48, mar. 1967.
- ALVARES, A.C.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711 -728, 2014.
- ASSMANM, E. **The principles of forest yield study**. Oxford: Pergamon Press. 1970.
- BADDLEY, A.; RUBAK, E.; TURNER, R. **Spatial Point Patterns: Methodology and Applications with R**. Fort Lauderdale: CRC Press. 2016.
- BARBOSA, N.F.M.; STOSIC, B.D.; STOSIC, T.; LOPES, P.M.O.; MOURA, G.B.S.; MELO, J.S.P. Kernel Smoothing dos dados de chuva do Nordeste. **Rev. Bras. De Eng. Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB. Vol. 18, n. 7, p. 742 – 747. 2014.
- BARRETO, T.G.; HENTZ, A.M.K.; PÉLLICO NETO, S.; DALLA CORTE, A.P.; SANQUETTA, C.R. **Modelagem da distribuição de frequência de teores de carbono orgânico do solo sob floresta Ombrófila Mista no Paraná**. *Pesq. Florestal Brasileira*, Colombo, PR, vol. 37, n. 89, p. 29 – 37. 2017.
- BAUERMMAN, S.G.; BEHLING, H. Dinâmica paleovegetacional da Floresta com Araucária a partir do final do pleistoceno: o que mostra a palinologia. *In: FONSECA, C.R. et al. (Org.). Floresta com Araucária: Ecologia, Conservação e Desenvolvimento Sustentável*. 1. Ed. São Paulo: Holos, 2009, p. 35 – 38.
- BEHLING, H.; BAUERMAN, S.G.; NEVES, P.C.P. Holocene environmental changes in the São Francisco de Paula region, southern Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 14, p. 631 – 639, 2001.
- BERCKERT, S.; ROSOT, M.A.D.; ROSOT, N.C. Crescimento e dinâmica de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) O. Ktze em fragmento de floresta ombrófila mista. **Scientia forestalis**, v. 42, n. 102, p. 209 – 218, 2014.
- BIVAND, R. S.; PEBASMA, E.J.; GÓMES-RUBIO, V. **Applied spatial data analysis with R**. New York: Springer. 2016.
- BOWMAN, A.; AZZALINI, A. **Applied Smoothing Techniques for Data Analysis: The Kernel Approach with S-Plus Illustrations**. Oxford: Oxford University Press. 1997.
- BRAZ, E.V. *et al.* Criteria to be considered to achieve a sustainable second cycle in Amazon Forest. **Pesq. Florestal Brasileira**, v. 35, n. 83, p. 209 – 225, 2015.
- BRUNSDON, C.; COMBER, L. **An introduction to R for spatial analysis and mapping**. Los Angeles: SAGE. 2019.

CÂMARA, G.; CARVALHO, SÁ. Análise espacial de eventos. *In*: DRUCKS, S.; CARVALHO, M.S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A.M.V. **Análise espacial de dados geográficos**. Planaltina, 2004. p. 1 – 15.

CARRON, L.T. An outline of forest mensuration. Canberra: Aust. Nat. Univ. press. 1968.

CHASSOT, T.; FLEIG, F.D. modelagem do incremento diamétrico para árvores individuais de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze. **Ciências Florestais**, Santa Maria, v. 28, n. 3, p. 1128 – 1141, 2018.

CRESSIE, N.A.C. **Statistics for spatial data**. New York: J. Wiley, 1993.

DEBASTIANI, A.B. *et al.* Distribuição do diâmetro de copa e diâmetro quadrático de *Araucaria angustifolia* e *Pinus taeda*. **Ciência Florestal**, v. 29, n. 1; p. 270 – 280, 2019.

DELGADO, I.M. *et al.* Geotectônica do Escudo Atlântico. *In*: BIZZI, L.A. (org.). **Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil**. Brasília: CPRM – Serv. Geol. Do Brasil, 2003. Cap. IV, p. 241 – 258.

DIAS, L.B.A. *et al.* **Análise do risco de queimadas com uso do mapa de Kernel no município de Marabá-PA**. Meio ambiente recursos hídricos e saneamento ambiental 2. *In*: Silva, M.E.D. Paraná: Atena editora. 47 – 55 p. 2020.

DOS ANJOS, A.; MAZZA, M.C.M.; DOS SANTOS, A.M.C.S.; DELFINI, L.T. Análise de distribuição espacial de araucária (*Araucaria angustifolia*) em algumas áreas no estado do Paraná, utilizando a função K de Ripley. **Scientia forestalis**, n. 66, p. 38-45, 2004.

DRALLE, K.; RUDEMO, M. Stem number estimation by Kernel Smoothing of aerial photos. **Canadian Journal For. Res.**, vol. 26, p. 1228 – 1236. 1996.

EBLING, A.A.; PÉLLICO NETO, S. Modelagem de coortes na estrutura diamétrica da *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze. **Cerne**, v. 21, n. 2, p. 251 – 257, 2015.

FERREIRA, L.M.; SÁFADI, T.; LIMA, R.R. Técnicas de estatística espacial na análise de dados de área no estudo da dengue. **UNIVAP**, São José dos Campos, SP, vol. 24, n. 44, p. 13 – 27, 2017.

GORENSTEIN, M.R.; BATISTA, J.L.F.; DURIGAN, G. Influência do padrão espacial sobre estimativa de densidade arbórea do método de quadrantes: um estudo por meio da simulação de Monte Carlo. **Acta bot. Bras.**, vol. 21, n. 4, p. 957 – 965. 2007.

HESS, A.F.; SCHNEIDER, P.R.; FINGER, C.A.G. Crescimento em diâmetro de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em função da idade, em três regiões no Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, v. 19, n. 1, p. 7 – 22, 2009.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico da vegetação brasileira**. 2ª ed., Rio de Janeiro, RJ. 2012.

ICMBIO - INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. **Plano de Manejo da Floresta Nacional de São Francisco de Paula**. São Francisco de Paula, RS: fevereiro, 2020.

JOHNSON, S. **The ghost map: The Story of London's most terrifying epidemic – and how it changed science, cities and the modern world**. New York: Riverhead books. 2007.

KERSHAW, P.; WAGSTAFF, B. The southern conifer family Araucariaceae: History, status and value for paleoenvironment reconstruction. *Ecol. Syst.*, v. 32, p. 397 – 414, 2001.

KERSTEN, R.A.; BORGIO, M.; GALVÃO, F. Floresta Ombrófila Mista: aspectos fitogeográficos, ecológicos e métodos de estudo. In: FELFILI, J.M. (Org.). **Fitossociologia no Brasil: métodos e estudo de caso – volume I**. Viçosa: UFV. 2011.

KUTER, N.; YENILMEZ, F.; KUTER, S. **Forest fire risk mapping by Kernel density estimation**. Croat. Journal for. Eng., vol. 32, n. 2, p. 599 – 610. 2011.

LUZARDO, A.J.R.; CASTAÑEDA FILHO, R.M.; RUBIM, I.B. Análise espacial exploratória com emprego do índice de Moran. **Geografia**, Niterói. RJ, vol. 19, n. 40, 2017.

MARAN, J.C.; ROSOT, M.A.D.; RADOMSKI, M.I.; KELLERMAN, B. Análise de sobrevivência e germinação em plantios de *Araucaria augustifolia* derivado de mudas e sementes. **Ciências Florestais**, v. 26, 4, p. 1349 – 1360, 2016.

MATHERON, G. **The theory of regionalized variables and its applications**. Fontainebleau: École Nationale Supérieure des Mines de Paris, 1971.

MEIRELES, L.D.; KINOSHITA, L.S.; SHEPHERD, G.J. Composição florística da vegetação altimontana do distrito de Monte Verde (Camanducaia – MG), Serra da Mantiqueira Meridional, Sudeste Brasileiro. **Rodrigésia**, v. 65, n. 4, p. 831 – 859. 2014.

MENEZES, E.S.; MUCIDA, D.P.; FRANÇA, L.C.J.; AGUILAR, M.V.M.; PEREIRA, I.M. **Análise temporal de focos de calor na reserva da biosfera da Serra do Espinhaço**. Nativa, Sinop, MT, vol., 7, n. 3, p. 256 – 261. 2019.

NEVES, R.F.; GANDOLFI, S.; ROTHER, D.C. Comparando padrões de distribuição de densidade, diâmetro e abundância de espécie em área em processo de restauração. **Hoehnea**, v. 42, n. 4, p. 737 – 748, 2015.

O'SULLIVAN, D.; UNWIN, D. **Geographic information analysis**. NEW Jersey: John Wiley & Sons. 2003.

OLIVEIRA, M.F. *et al.* Análise estrutural por densidade Kernel como subsídio ao manejo florestal na Amazônia. **Pesq. Florestal Brasileira**, v. 41, p. 1 – 14, 2021.

PELISSARI, A.L. Geoestatística aplicada ao manejo de povoamento de *Tectona grandis* L.f. **Tese** (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, p. 32. 2015.

PENDLETON, R.L. Are soils mapped under a given type name by the bureau of soil method closely similar to one another? **Agricultural Science**, vol. 3, n. 12, p. 369 – 498. Jun., 1919.

POTKKER, G. S.; OLIVEIRA FILHO, P.C.; FIGUEIREDO FILHO, A.; DALMASO, C.A. Padrão espacial de espécies florestais: Estudo de caso com *Ocotea odorífera* (Vell) Rohwer. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, vol. 26, n. 4, p. 1097 – 1106. 2016.

PRETZCH, H. Forest dynamics, growth and yield: **From measurement to model**. Berlim: Springer. 2009.

RIBEIRO, T.M.; IVANAUSKA, N.M.; MARTINS, S.V.; POLISEL, R.T.; SANTOS, R. L.R. Fitossociologia de uma floresta secundária com *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze na estação ecológica de Bananal, Bananal – SP. **Floresta e Ambiente**, v.20, n. 2, p. 159 – 172, 2013.

RIZZATI, M. *et al.* Mapeamento da COVID-19 por meio da densidade de Kernel. **Metodologias e aprendizado**, vol. 3, p. 44 – 53. 2020.

SANQUETTA, C.R.; DALLA CORTE, A.P.; MOGNON, F.; MAAS, C.B.; RODRIGUES, A.L. Estimativa de carbono individual para *Araucaria angustifolia*. *Pesq. Agro. Trop.*, Goiânia, v. 44, n. 1, p. 1-8, 2014.

SCHAEFER, C.E.G.R. *et al.* Serras e pantanais arenosos: solos e geoambientes em unidade de conservação da Amazônia, Brasil. **Neotropical biology and conservation**, v. 15, n. 1, p. 43 – 69, 2020.

SCOLFORO, J.R.S. **Modelos para expressar o crescimento e a produção florestal**, parte 1. Lavras: ESAL - FAPE, 1994.

SCOLFORO, J. R.S.; MELLO. **Inventário Florestal**. Lavras: Departamento de Ciências Florestais. 2006.

SILVA, P.A.H. **Cerrados, campos e araucárias: a teoria dos refúgios florestais e o significado paleogeográfico da paisagem do parque estadual de Vila Velha, Ponta Grossa – Paraná**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

SMITH, L.H. **Plot arrangement for variety experiments with corn**. Proc. Of the American society of Agronomy, Madson, vol. 1, p. 84 – 89. 1910.

SOUZA, A.F. Ecological interpretation of multiple population size structures in trees: The case of *Araucaria angustifolia* in South America. **Austral Ecology**, v. 32, p. 524 – 533, 2007.

STOYAN, D.; PENTTINEN, A. Recent applications of point process methods in Forestry statistics. **Statistical Science**, vol. 15, n. 1, p. 61 – 78. 2000.

SVIATLOVSKY, E. E.; EELLS, Walter Crosby. The centrographical method and regional analysis. **Geographical Review**, v. 27, n. 2, p. 240-254, 1937.

TOBLER, W.R. **A computer movie simulating urban growth in the Detroit region**. Economic geography, vol. 46(supplement), p. 234 – 240. Jun., 1970.

VEBLEN, T.T. *et al.* The coniferous forests of south America. In: NEAL, J. (org.). **Ecology of Southern Conifers**. Victoria: Melbourne University Press, p. 120 – 155, 1995.

VERVLOET, R.J.H.; ROSS, J.L.S. Revisão dos conhecimentos sobre o relevo do planalto atlântico brasileiro: incógnitas que ainda persistem. **Depart. de geografia/USP**, v. 23, p. 187 – 216, 2012

VIEIRA, S. R. Uso de geoestatística em estudos de variabilidade espacial de propriedades do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. (Org.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 1, p. 01–54, 2000.

WREGE, M.S *et al.* Distribuição natural e habitat da araucária frente às mudanças climáticas globais. **Pesq. Florestal Brasileira**, Colombo, vol. 37, n. 91, p. 331 – 346, 2017.

WREGE, M.S.; SOUSA, V.A.; FRITZSONS, E.; SOARES, M.T.S.; AGUIAR, A.V. Predicting current and future geographical distribution of Araucaria in Brazil for Fundamental Niche Modeling. *Environmental and Ecology Research*, v. 4, n. 5, p. 269 – 279, 2016.

XI, W. Synergistic effects of tropical cyclones on forest ecosystems: a global synthesis. **Journal of forestry research**, v. 26, p. 1 – 25, 2015.

YAMAMOTO, J.K.; LANDIM, P.M.B. **Geostatística: Conceitos e aplicações**. 2ª ed., São Paulo: Oficina de Textos. 2013.

## APÊNDICE A – CÓDIGOS EM LINGUAGEM R

```

# script 01 - medidas centrometricas espaciais
# verificando diretorio de trabalho
getwd()
# checar pacotes
update.packages(ask = F)

# instalando pacotes
# package aspace
if(!require(aspaces))
  install.packages("aspaces")
library(aspaces)

# package sf
if(!require(sf))
  install.packages("sf")
library(sf)

# dados de entrada
st_layers("base_de_dados")

# adicionar camadas
# criar vetores (objetos)
objeto_1 <- st_read("base de dados",
  layer = "camada_1")
objeto_2 <- st_read("base de dados",
  layer = "camada_2")

# a base de dados pode ser em formato gpkg ou shp, por exemplo
# plotagem das camadas vetorizadas (com exemplo)
#uso da funcao plot()
dev.new()#opcional (abre uma janela de visualização em uma aba a parte)
plot(st_geometry(objeto_1)) # opcional

# medidas centrometricas com ponderacao
#preparacao dos dados (vetor coordenadas com pesos)
## Retirar valores nulos (NA)
objeto_1_coord <- subset(arvores_1537,
  is.na(arvores_1537$dap_2000)== F)
View(df_coord_dap_2000)

### extrair coordenadas e atributos (vetor)
# com exemplo
atrib_coord_objeto1_xy <- st_coordinates(objeto_1_coord)
atrib_col_1 <- objeto_1_coord$coluna_1
View(atrib_col_1)

# centro medio e distancia-padrao ponderado
# uso do pacote aspace e funcoes calc_sdd() [CENTRO MEDIO E DIST.PADRAO]
# e calc_sde() [ELIPSE DE DESV.PADRAO]
library(aspaces)
calc_sdd(points = atrib_col_1, weighted = T,
  weights = coluna_1)
# plotar no mapa
dev.new()
plot_sdd(centre.pch = 20, centre.col = 10, sdd.col = 1,col = 1, cex = 1.5,
  title.txt = "Centro medio e distancia-padrao ponderados xxx")
plot(st_geometry(objeto_2), add = T)

calc_sde(points = atrib_col_1, weighted = T,
  weights = coluna_1)
# plotar no mapa
dev.new()
plot_sde(centre.pch = 20, centre.col = 10, sde.col = 1,col = 1, cex = 1.5,
  title.txt = "Elipse de desvio-padrao ponderada xxx")
plot(st_geometry(objeto_2), add = T)

```

FIGURA 15 - Script em R para cálculo de centro médio, distância-padrão e elipse de desvio-padrão

FONTE: Autoral (2021)

```

# Intesidade
# kernel ponderado

# pacotes para analise
if(!require(sf))
  install.packages("sf")
library(sf)

if(!require(spatstat))
  install.packages("spatstat")
library(spatstat)

if(!require(maptools))
  install.packages("maptools")
library(maptools)

if(!require(adehabitatHR))
  install.packages("adehabitatHR")
library(adehabitatHR)

# carregar base de dados
st_layers("base_de_dados")
# vetores/objetos
objeto_1 <- st_read("base_de_dados",
  "camada_1")
objeto_2 <- st_read("base_de_dados",
  "camada_2")

# convercao de formatos
objeto_1_sp <- as(objeto_1, "Spatial")
objeto_2_ppp <- as(objeto_1_sp, "ppp")

# Weighted Kernel
dev.new()
bw <- bw.ppl(objeto_1_ppp) # raio por validacao cruzada
plot(bw)
atrib_1 <- with(marks(objeto_1_ppp), coluna_1)
Kernel_Ponderado_atrib_1 <- density(objeto_1_ppp,
  weights = objeto_1$coluna_1, sigma = "bw")
# sigma/raio deve ser escolhido de acordo com os objetivos da analise
# podendo ser usado o raio por validacao cruzada

intensity(objeto_1_ppp, weights = coluna_1)

dev.new()
plot(Kernel_Ponderado_atrib_1)
plot(st_geometry(objeto_1), add = T)

dev.new()
contour.im(Kernel_Ponderado_atrib_1)

```

FIGURA 16 - Código em R para cálculo de Kernel ponderado  
 FONTE: Autoral (2021)

## APÊNDICE B – CENTRO MÉDIO E DESVIO-PADRÃO

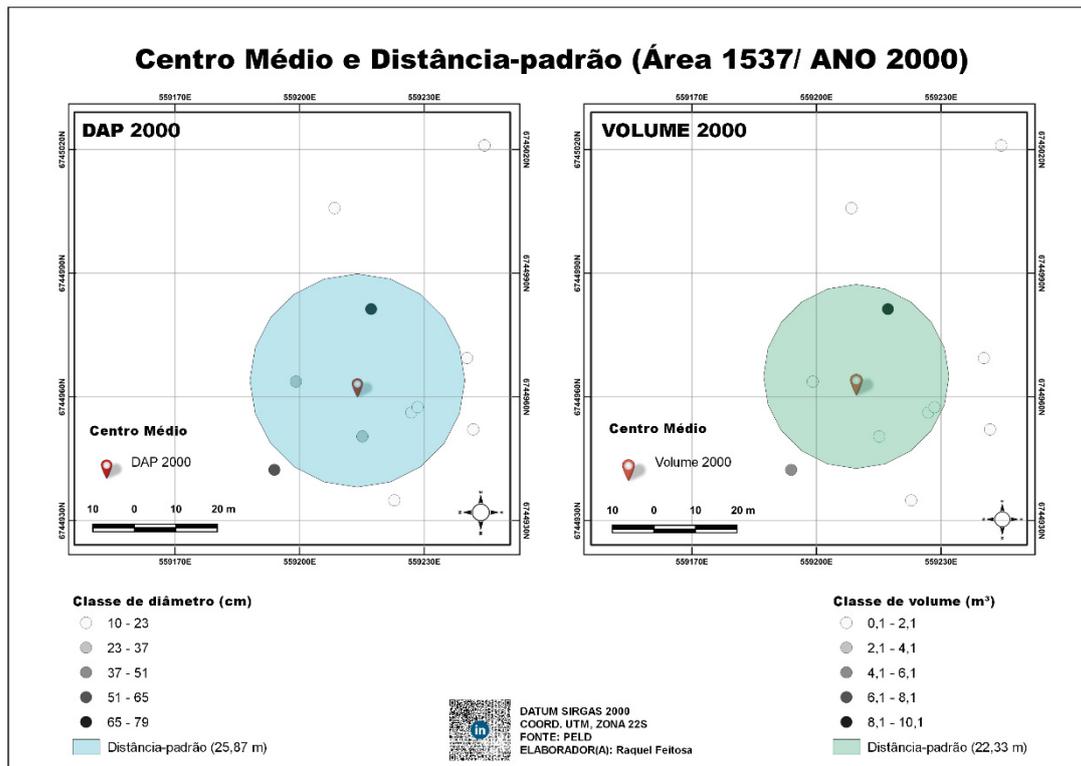


FIGURA 17 - Centro médio e distância-padrão para DAP e Volume no ano de 2000 (área 1537)

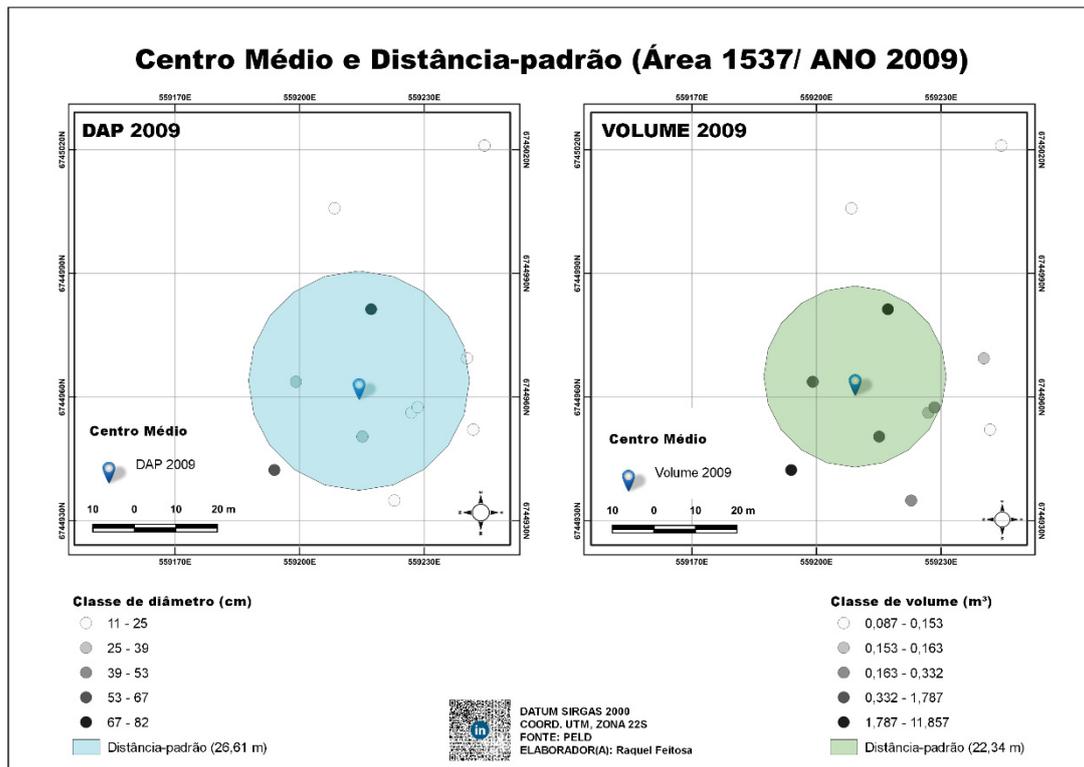


FIGURA 18 - Centro médio e distância-padrão para DAP e Volume no ano de 2009 (área 1537)

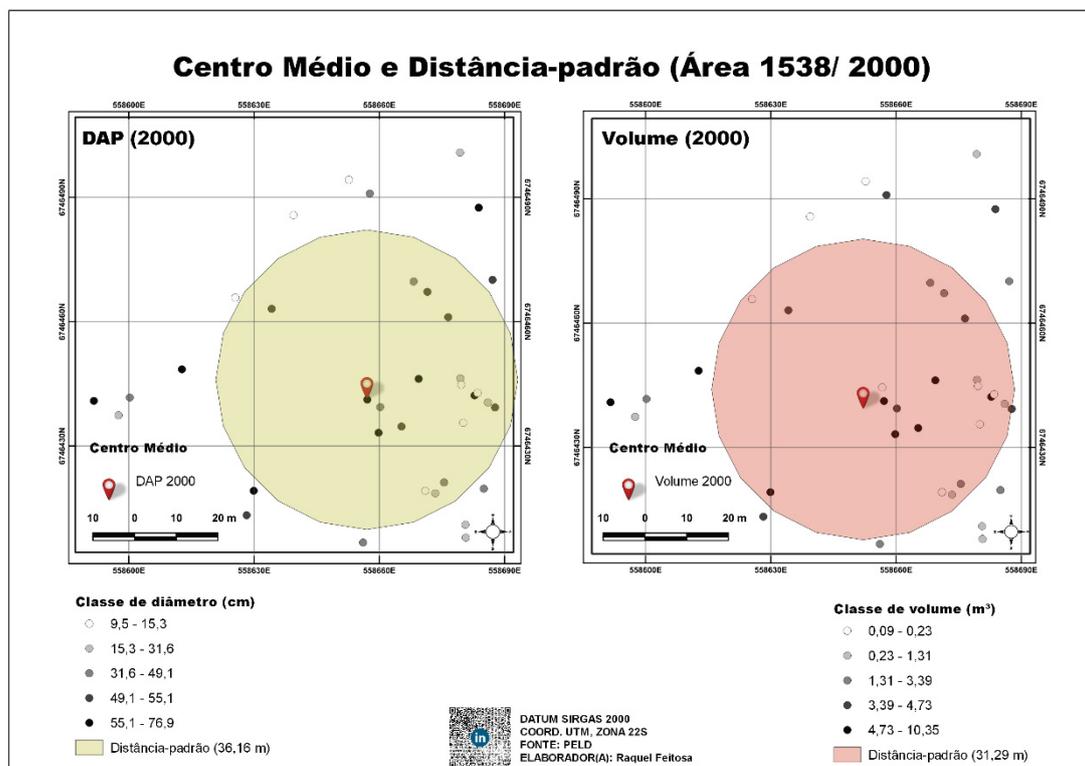


FIGURA 19 - Centro médio e distância-padrão para DAP e Volume no ano de 2000 (área 1539)

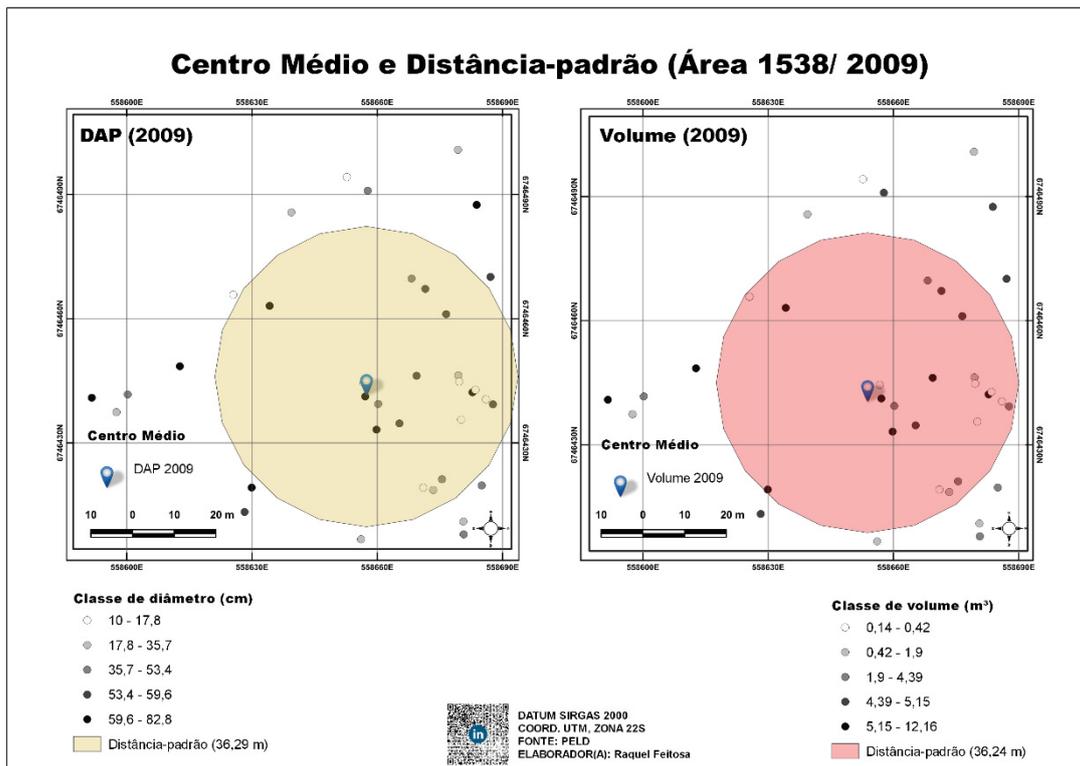


FIGURA 20 - Centro médio e distância-padrão para DAP e Volume no ano de 2009 (área 1538)

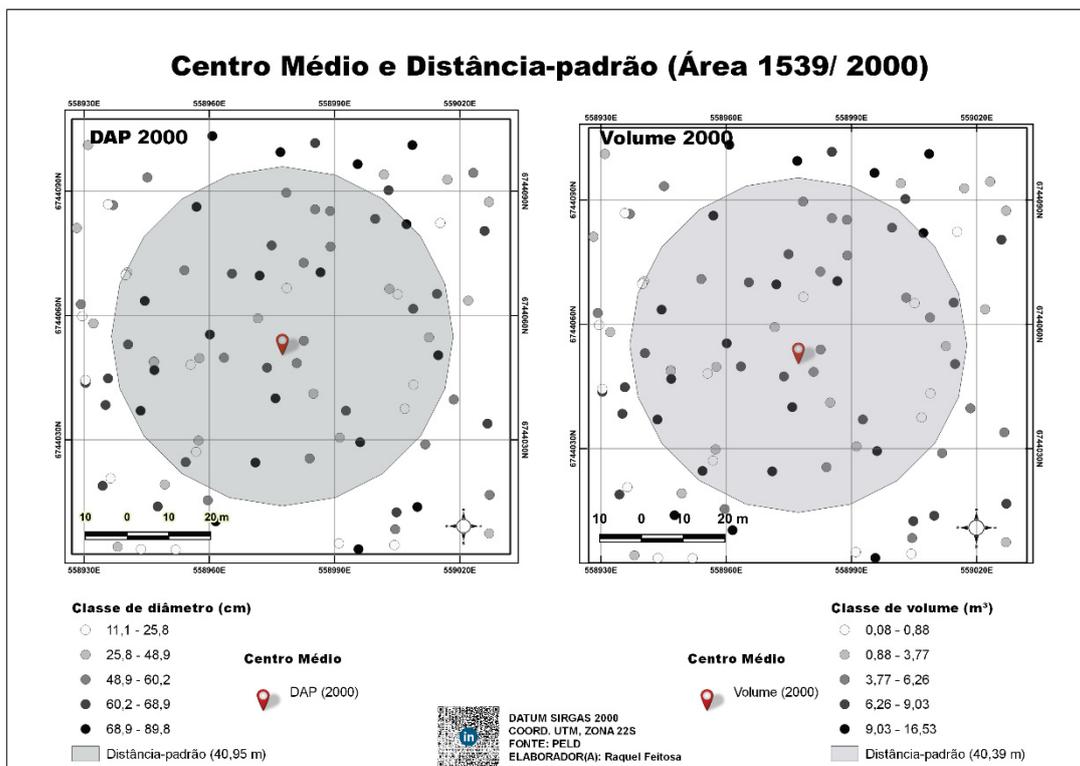


FIGURA 21 - Centro médio e distância-padrão para DAP e Volume no ano de 2000 (área 1539)

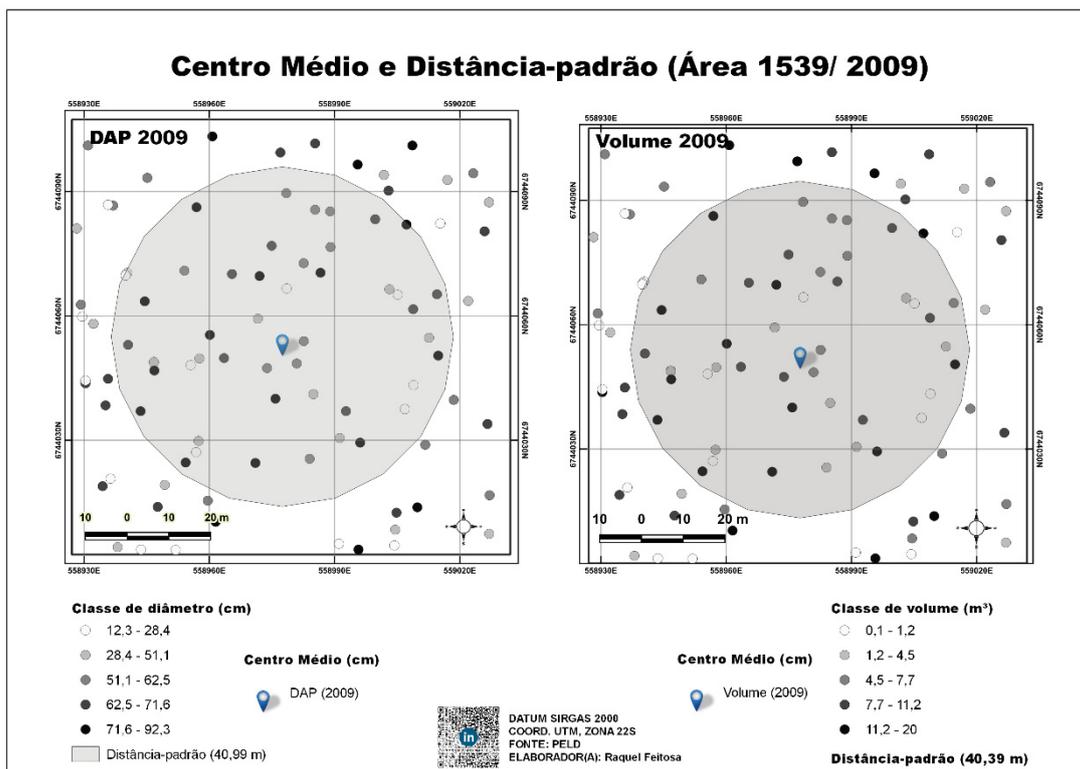


FIGURA 22 - Centro médio e distância-padrão para DAP e Volume no ano de 2009 (área 1539)

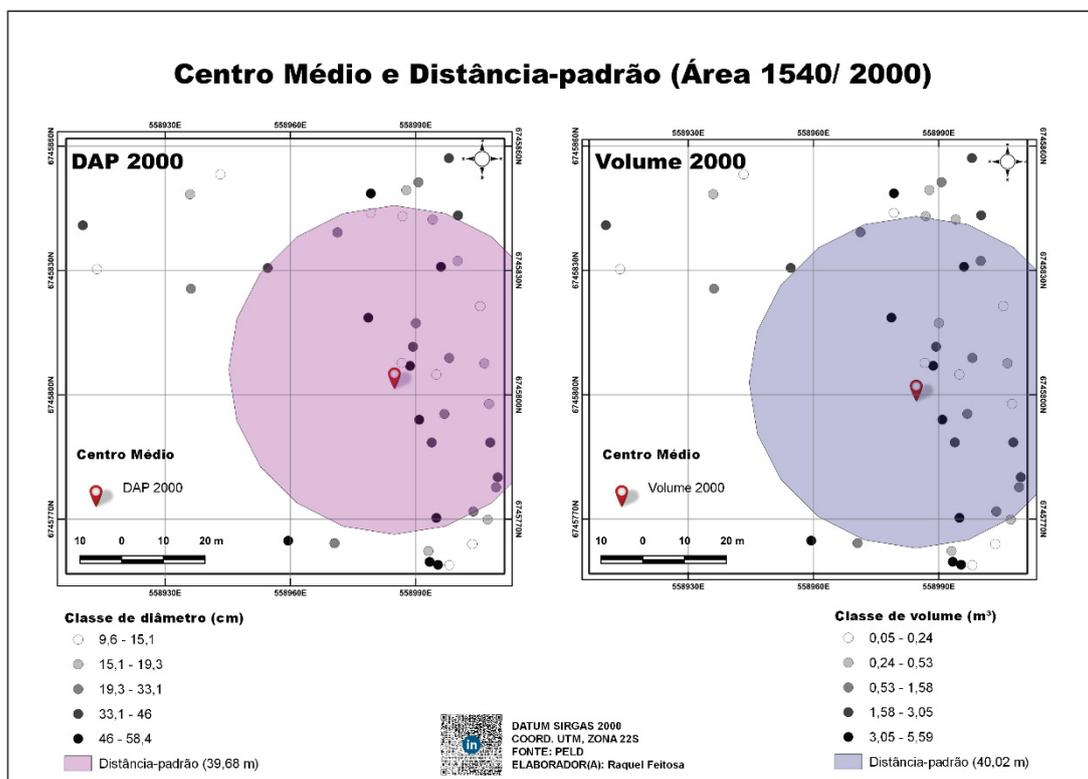


FIGURA 23 - Centro médio e distância-padrão para DAP e Volume no ano de 2000 (área 1540)

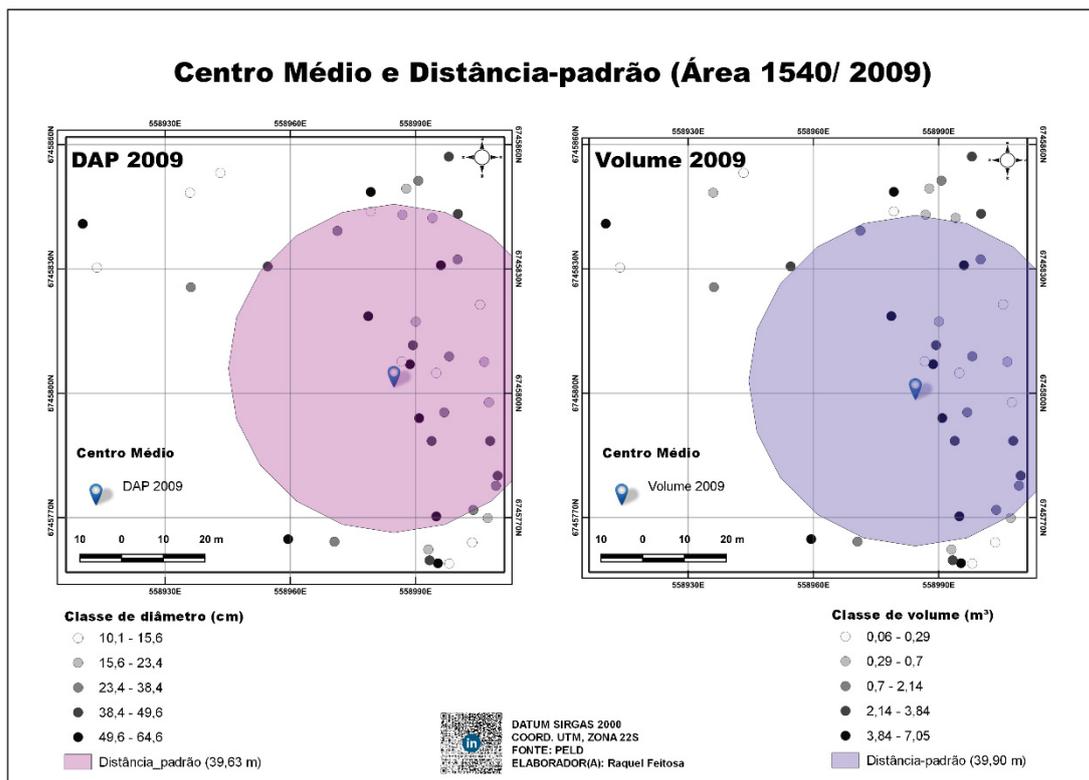


FIGURA 24 - Centro médio e distância-padrão para DAP e Volume no ano de 2009 (área 1540)

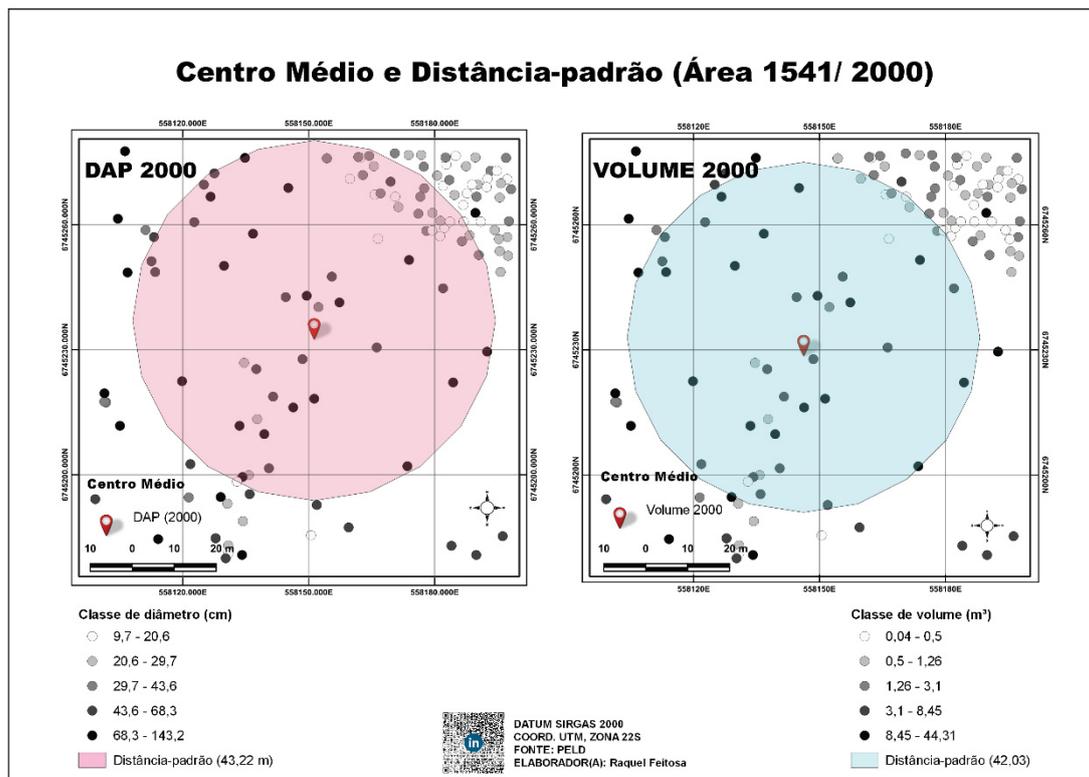


FIGURA 25 - Centro médio e distância-padrão para DAP e Volume no ano de 2000 (área 1541)

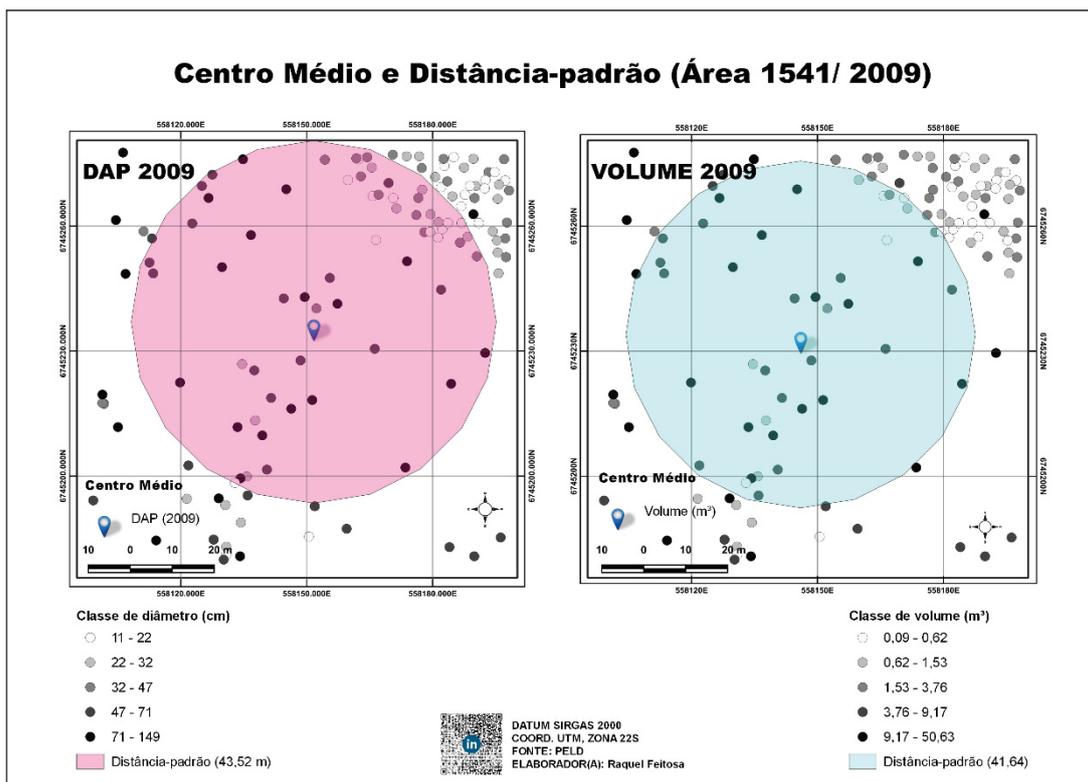


FIGURA 26 - Centro médio e distância-padrão para DAP e Volume no ano de 2009 (área 1541)

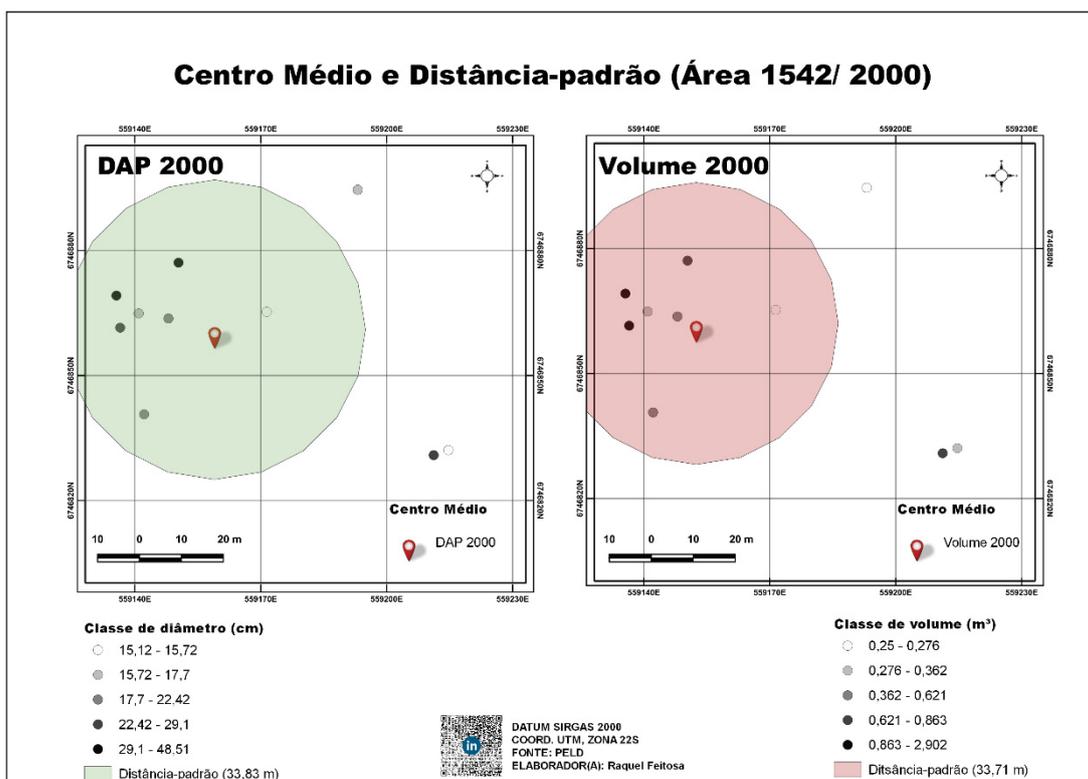


Figura 27 - Centro médio e distância-padrão para DAP e Volume no ano de 2000 (área 1542)

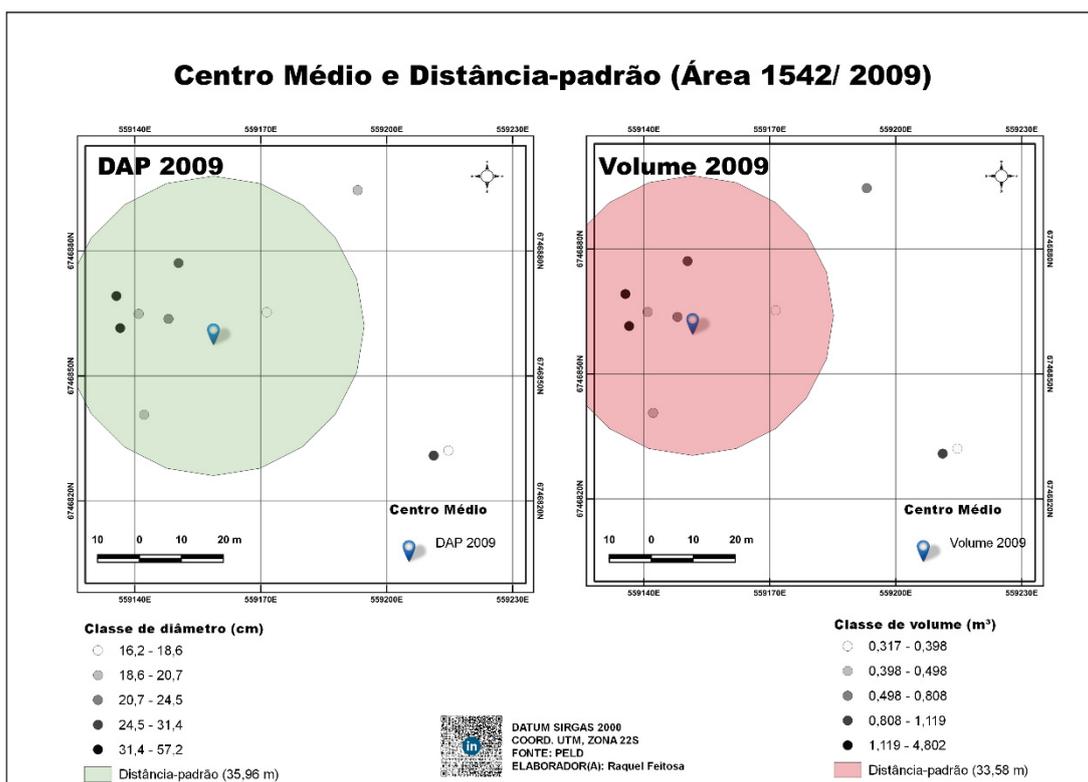


FIGURA 28 - Centro médio e distância-padrão para DAP e Volume no ano de 2009 (área 1542)

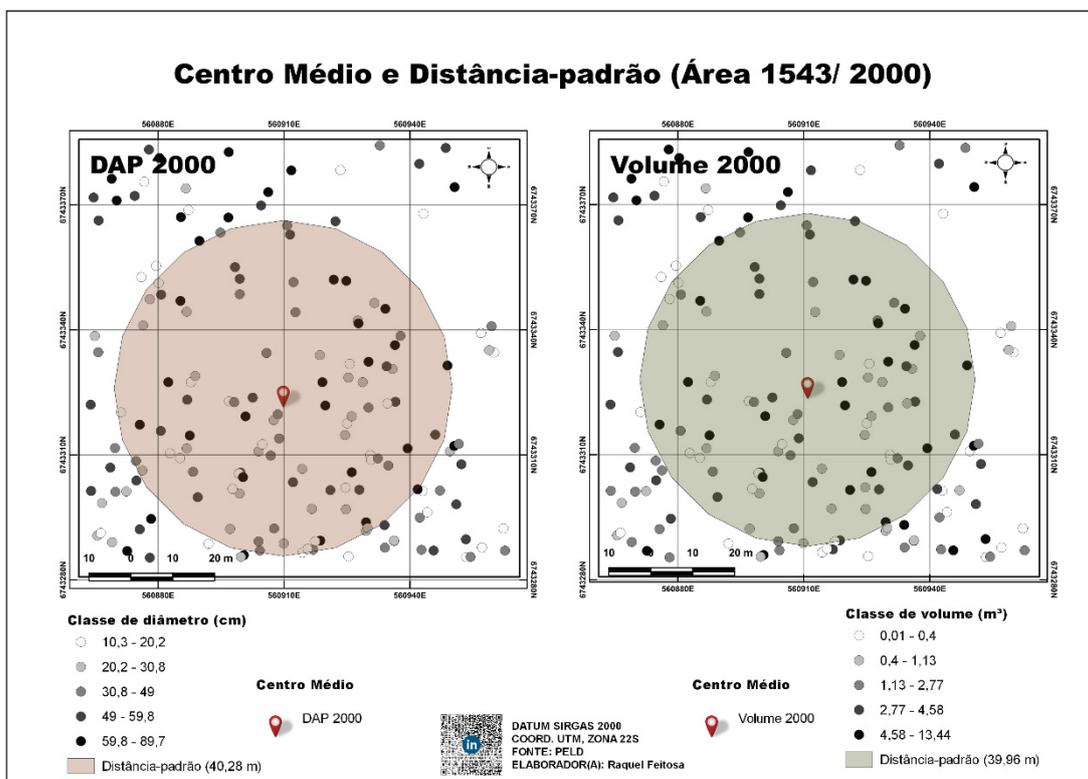


FIGURA 29 - Centro médio e distância-padrão para DAP e Volume no ano de 2000 (área 1543)

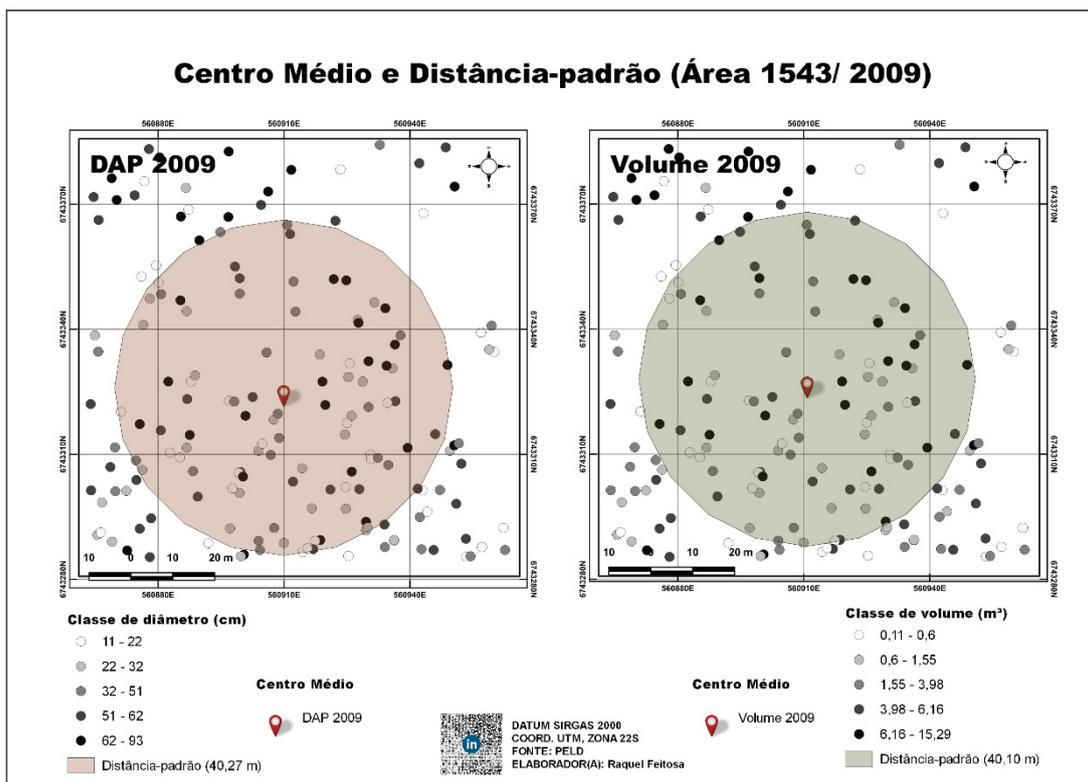


FIGURA 30 - Centro médio e distância-padrão para DAP e Volume no ano de 2009 (área 1543)

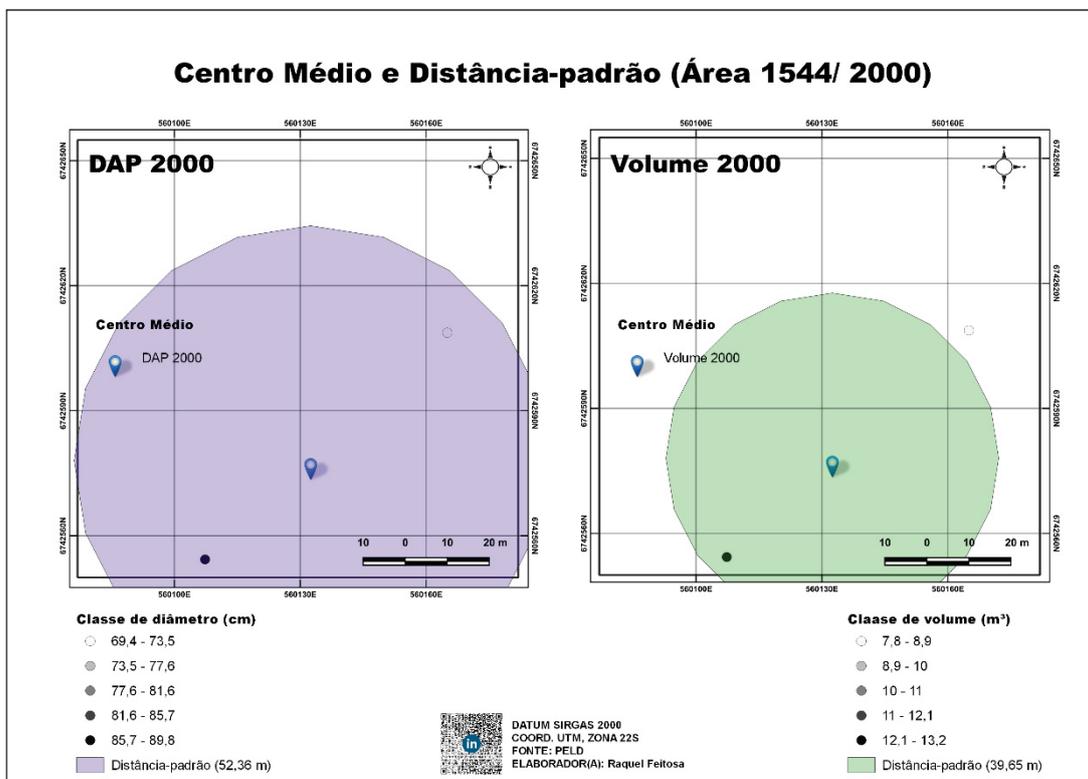


FIGURA 31 - Centro médio e distância-padrão para DAP e Volume no ano de 2000 (área 1544)

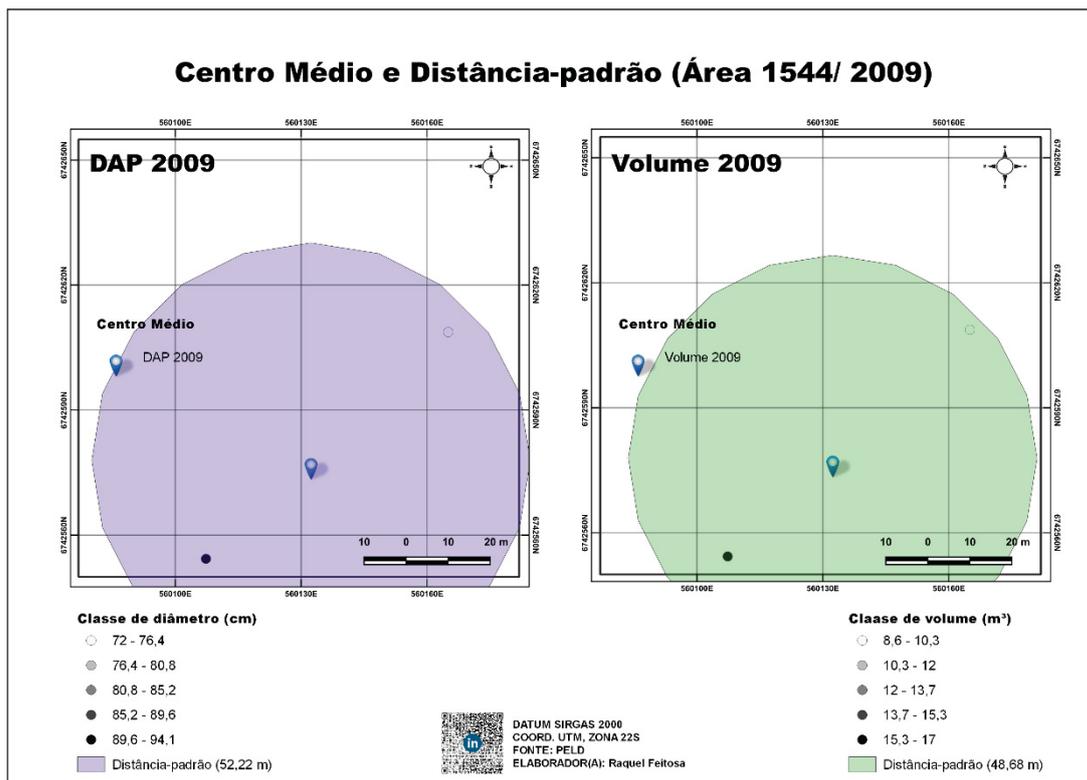


FIGURA 32 - Centro médio e distância-padrão para DAP e Volume no ano de 2009 (área 1544)

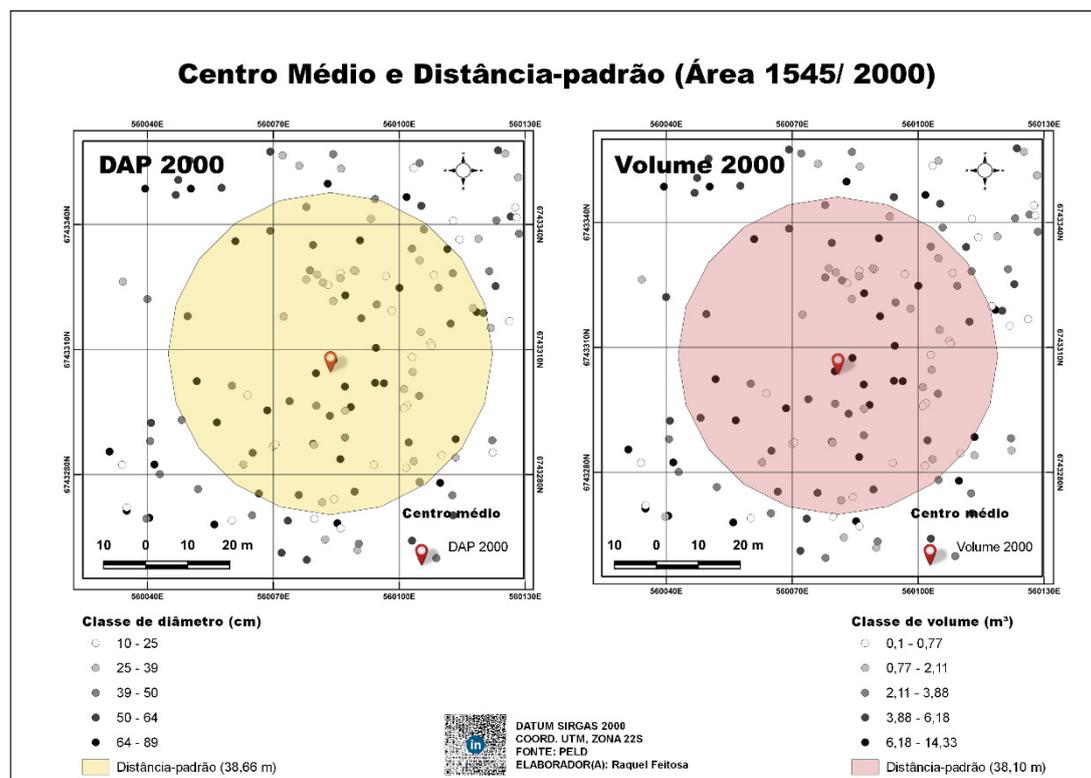


FIGURA 33 - Centro médio e distância-padrão para DAP e Volume no ano de 2000 (área 1545)

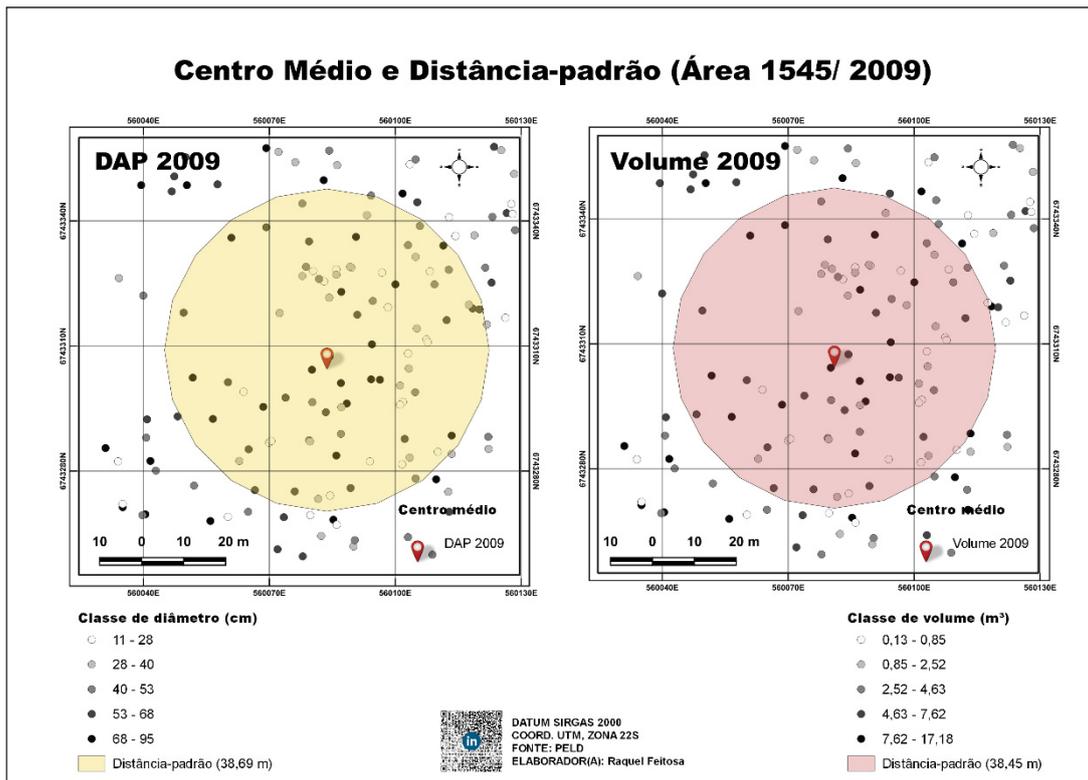


FIGURA 34 - Centro médio e distância-padrão para DAP e Volume no ano de 2009 (área 1545)

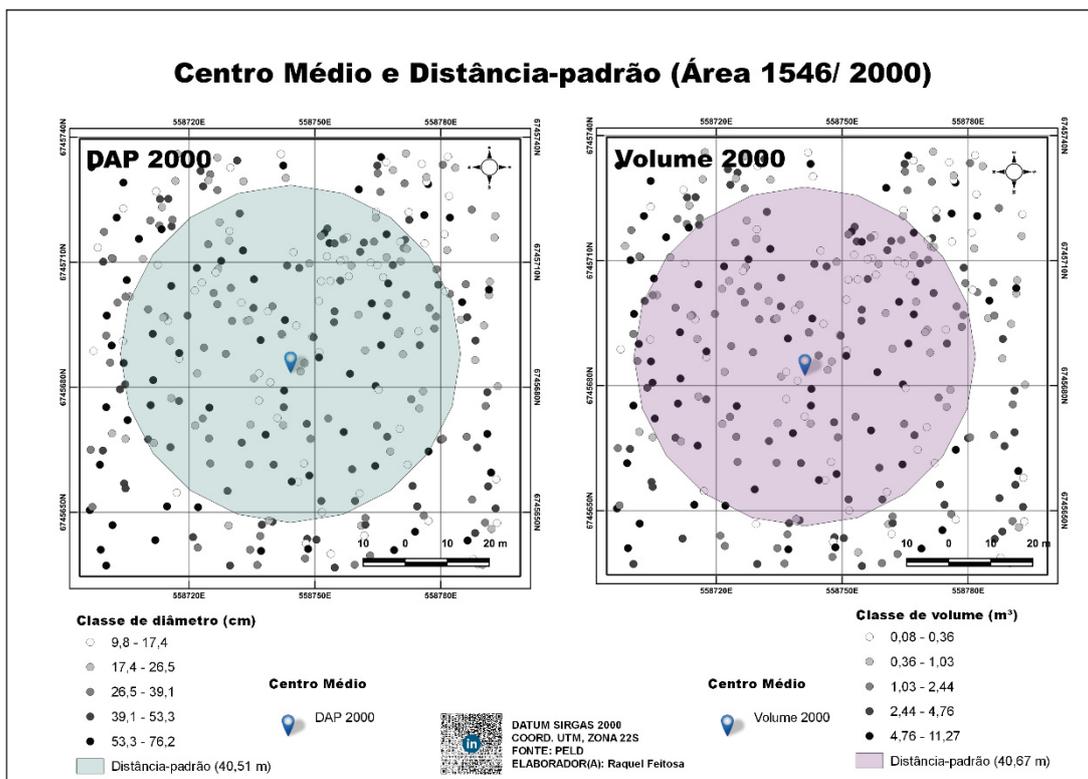


FIGURA 35 - Centro médio e distância-padrão para DAP e Volume no ano de 2000 (área 1546)

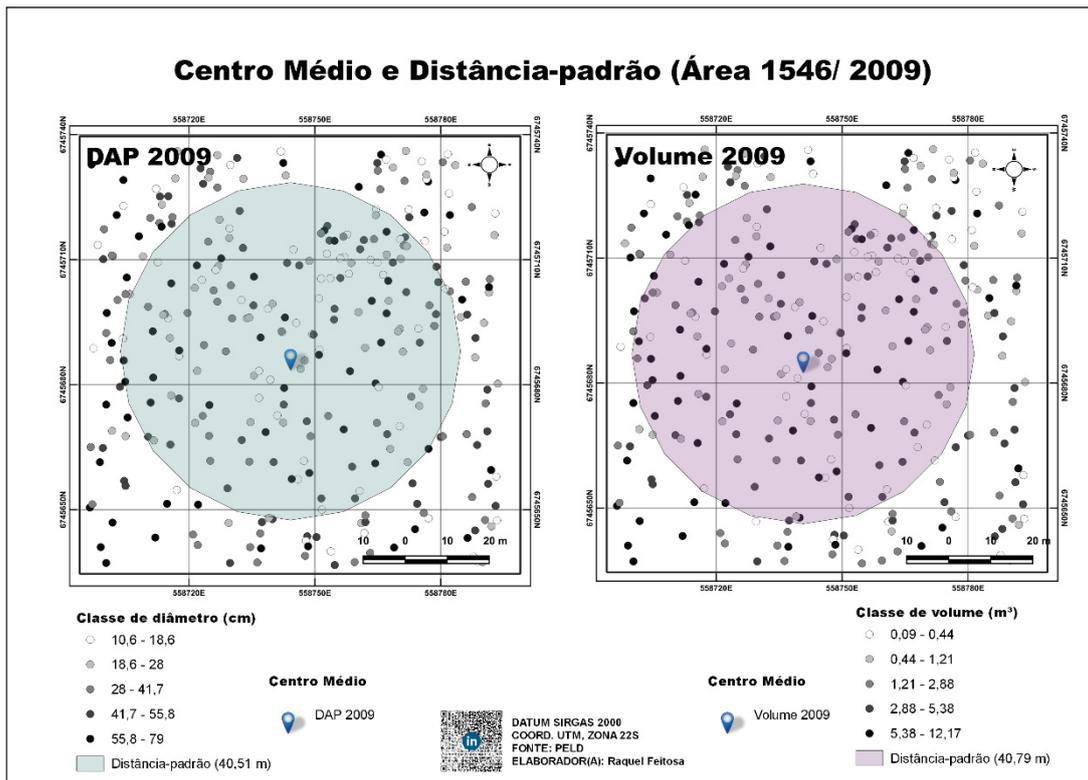


FIGURA 36 - Centro médio e distância-padrão para DAP e Volume no ano de 2009 (área 1546)

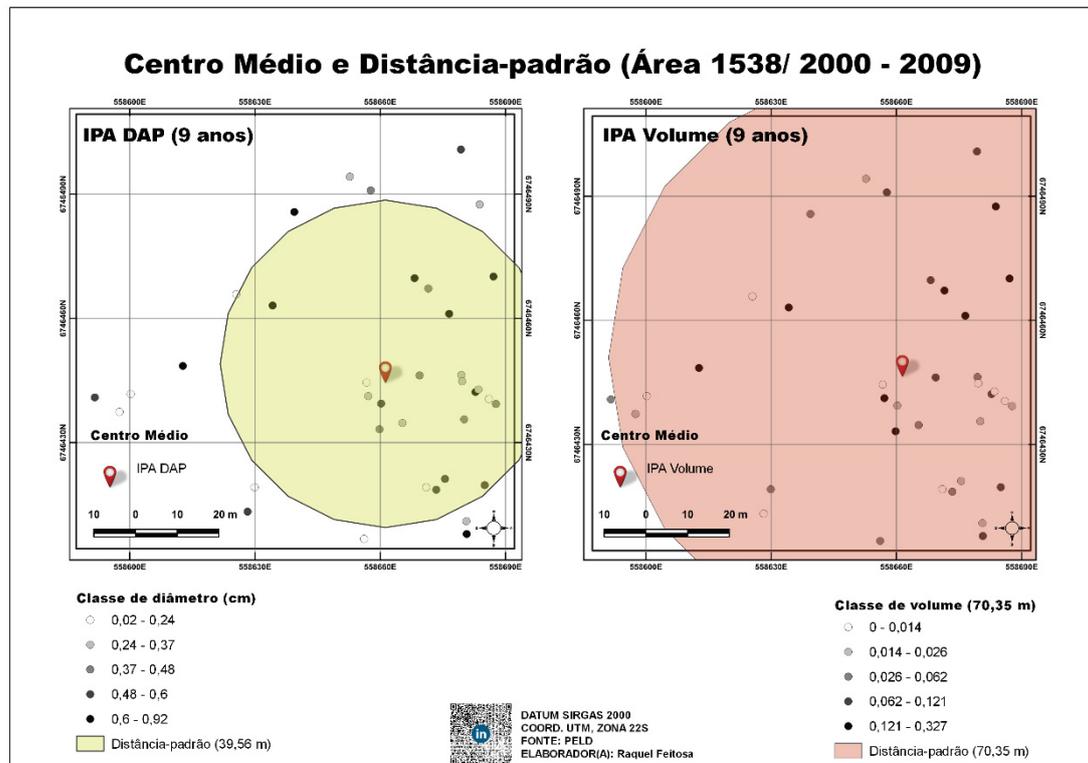


FIGURA 37 - Centro médio e distância-padrão IPA em DAP e Volume em 10 anos (área 1538)

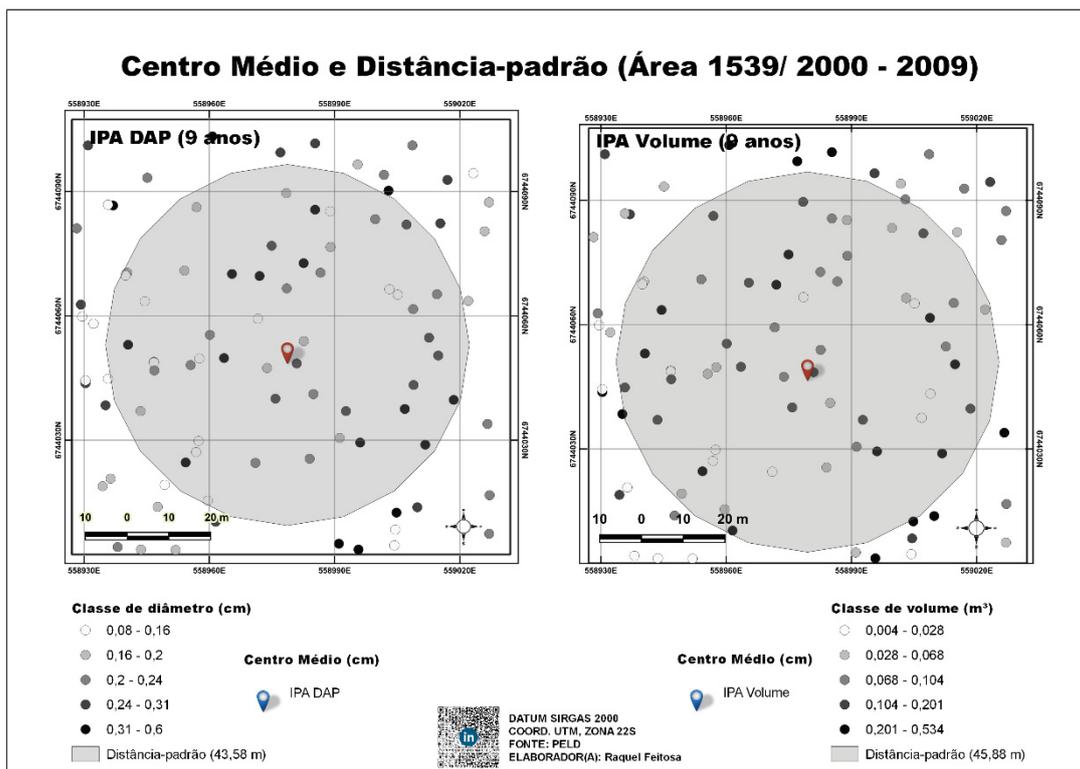


FIGURA 38 - Centro médio e distância-padrão IPA em DAP e Volume em 10 anos (área 1539)

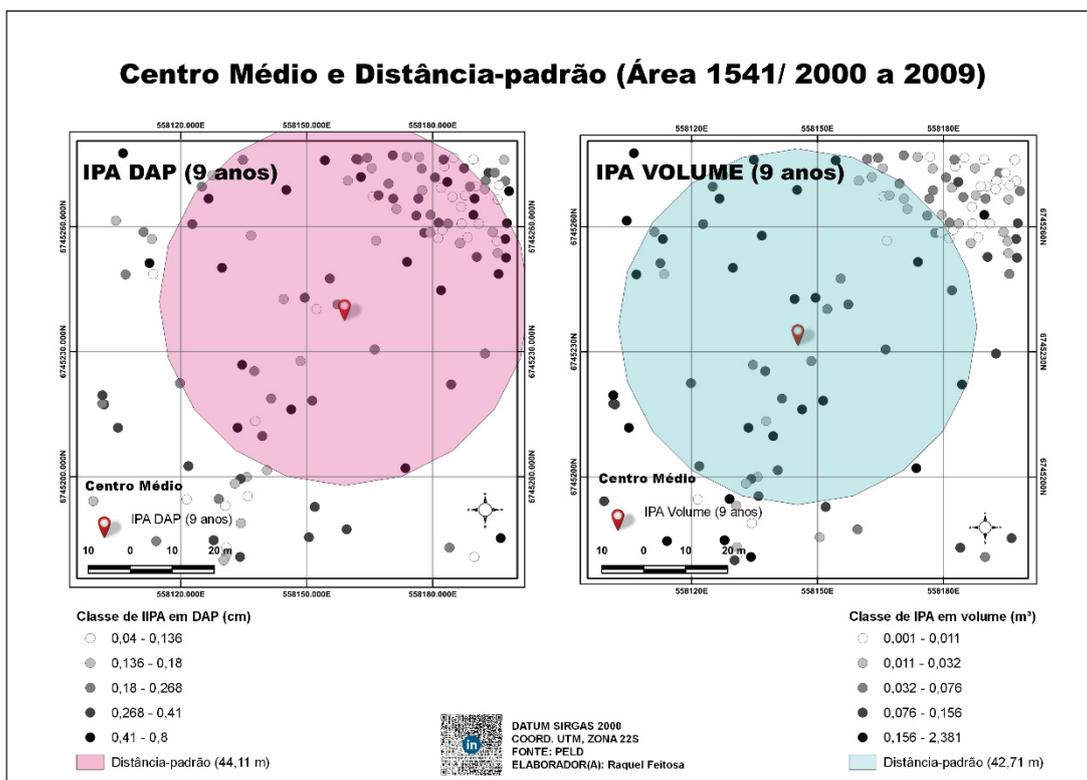


FIGURA 39 - Centro médio e desvio-padrão IPA em diâmetro e volume em 10 anos (área 1541)

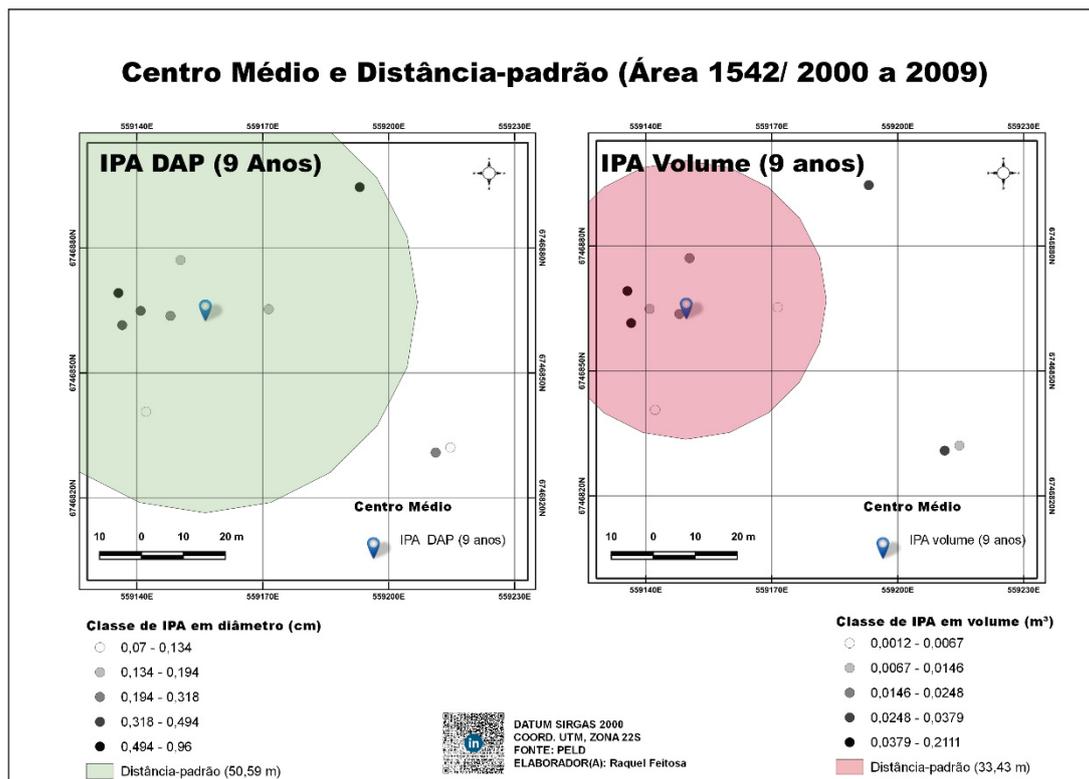


FIGURA 40 - Centro médio e desvio-padrão IPA em diâmetro e volume em 10 anos (área 1542)

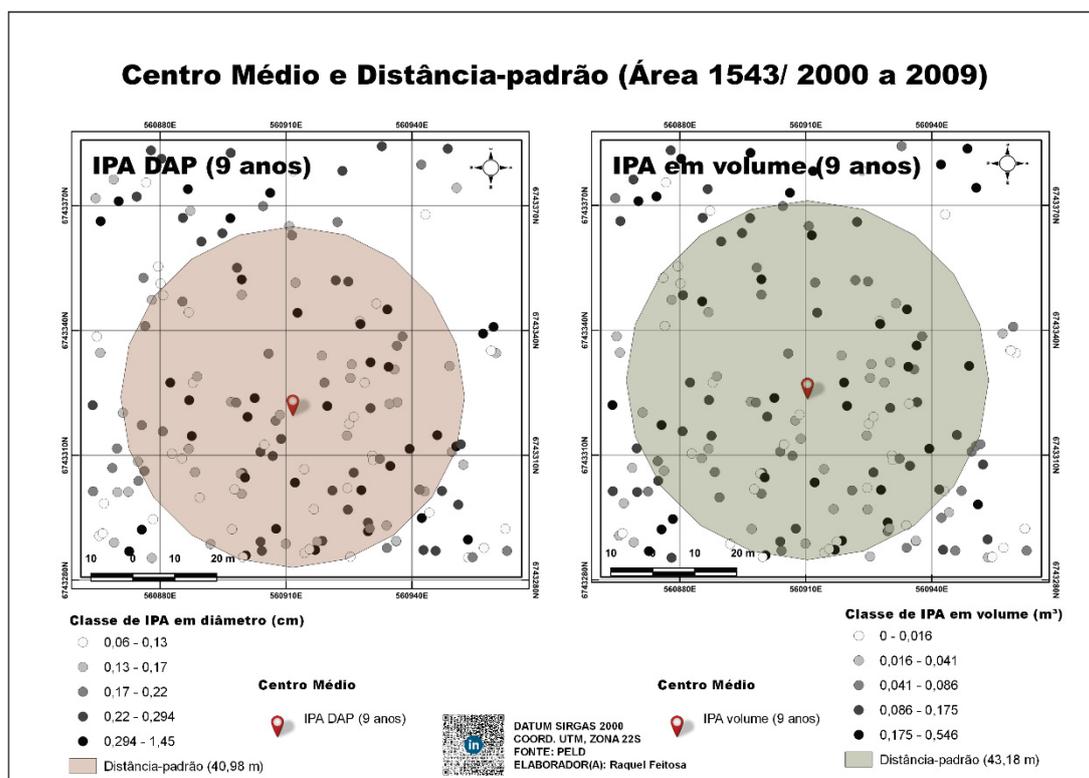


FIGURA 41 - Centro médio e desvio-padrão IPA em diâmetro e volume em 10 anos (área 1543)

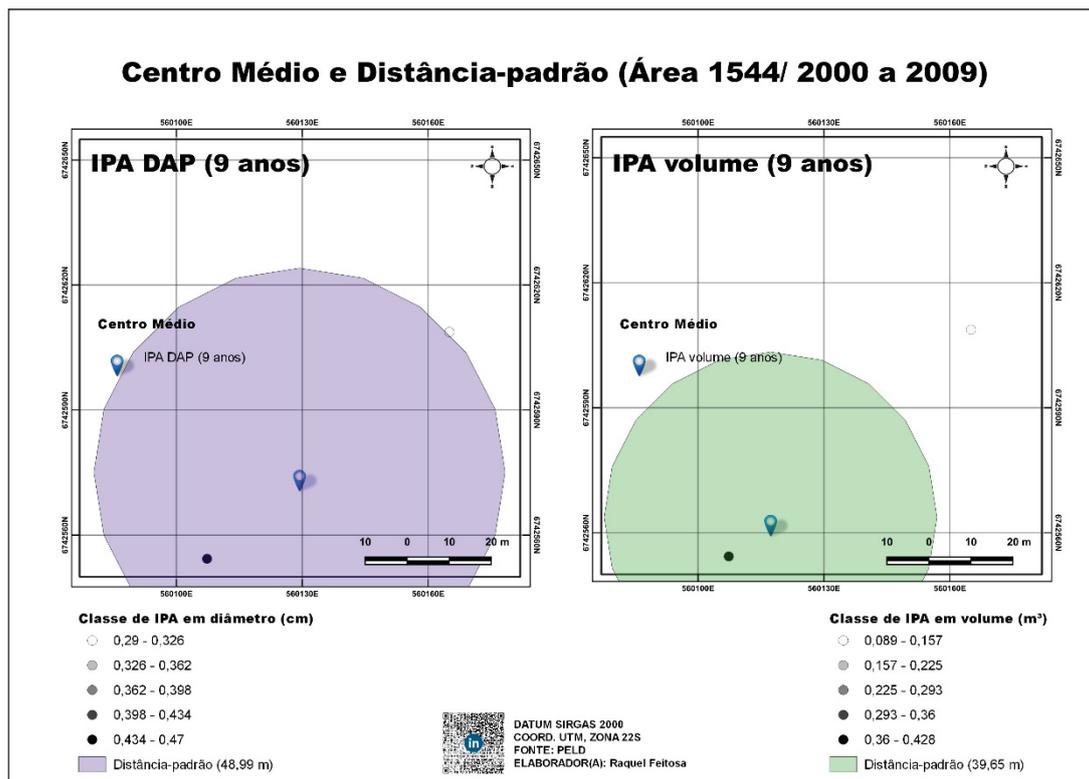


FIGURA 42 - Centro médio e desvio-padrão IPA em diâmetro e volume em 10 anos (área 1544)

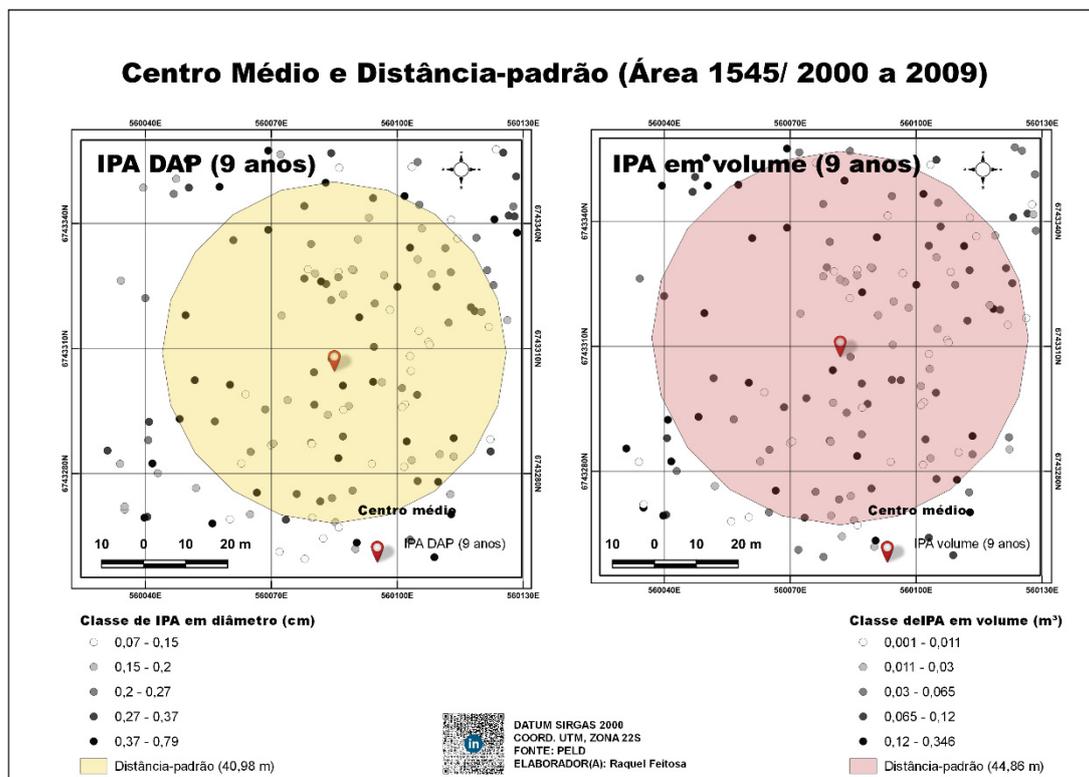


FIGURA 43 - Centro médio e desvio-padrão IPA em diâmetro e volume em 10 anos (área 1545)

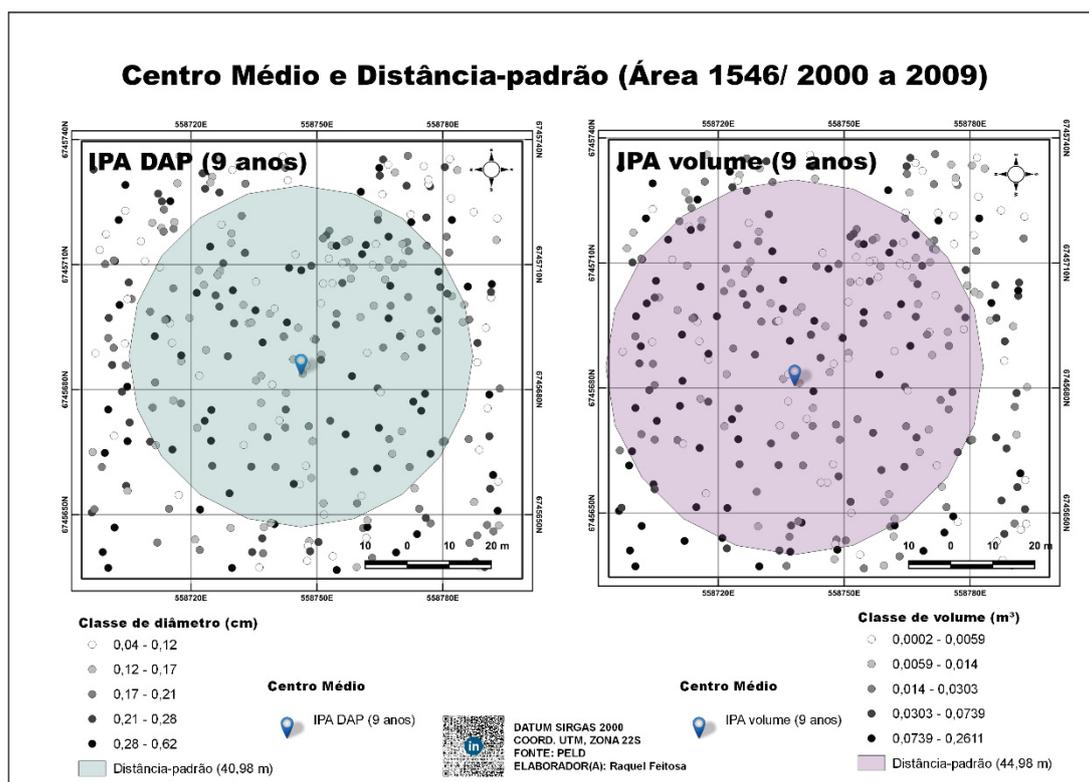


FIGURA 44 - Centro médio e desvio-padrão IPA em diâmetro e volume em 10 anos (área 1546)

## APÊNDICE C – ELIPSE DE DESVIO-PADRÃO

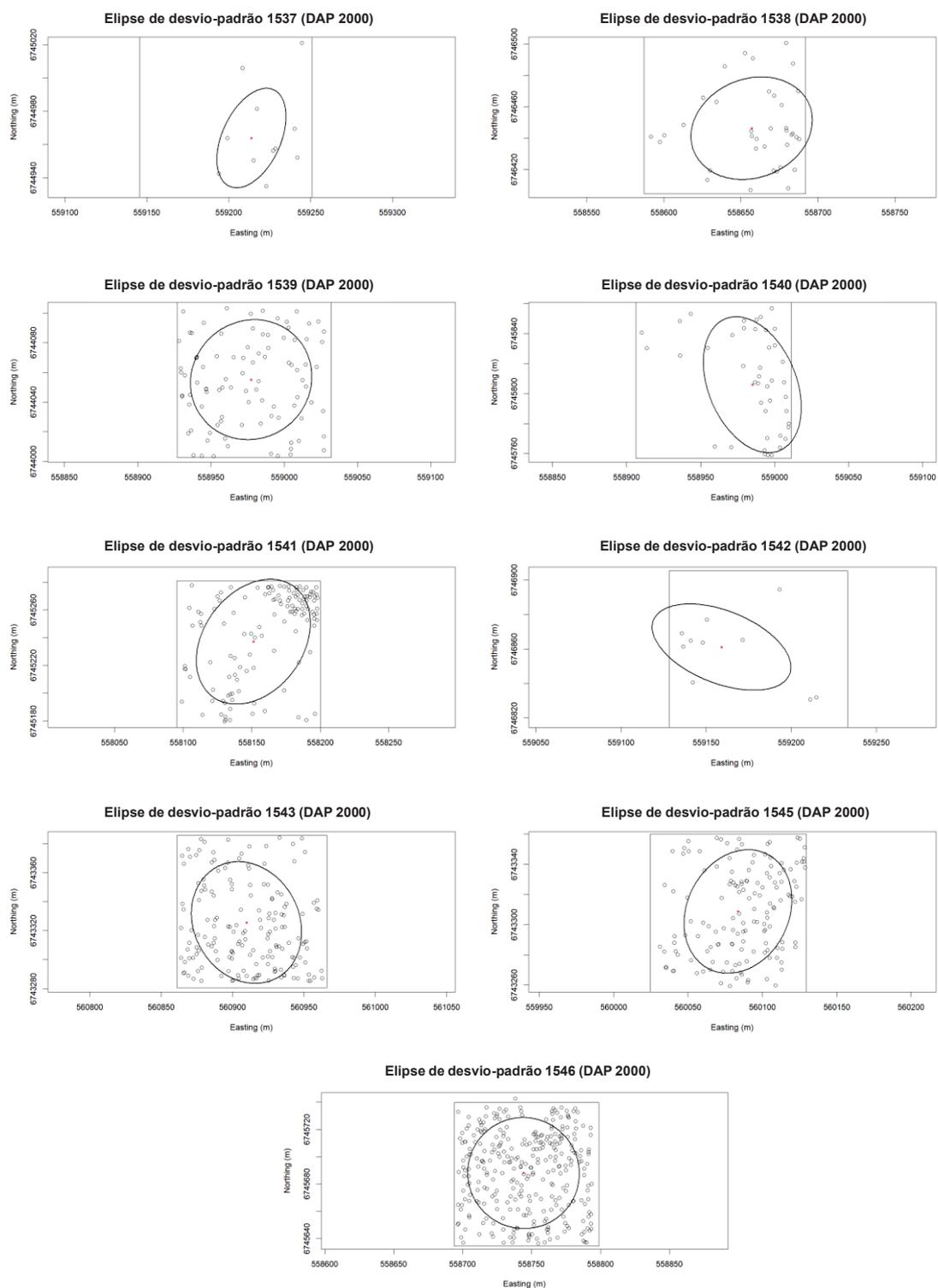


FIGURA 45 - Elipse de desvio-padrão DAP (2000)

FONTE: Autoral (2021)

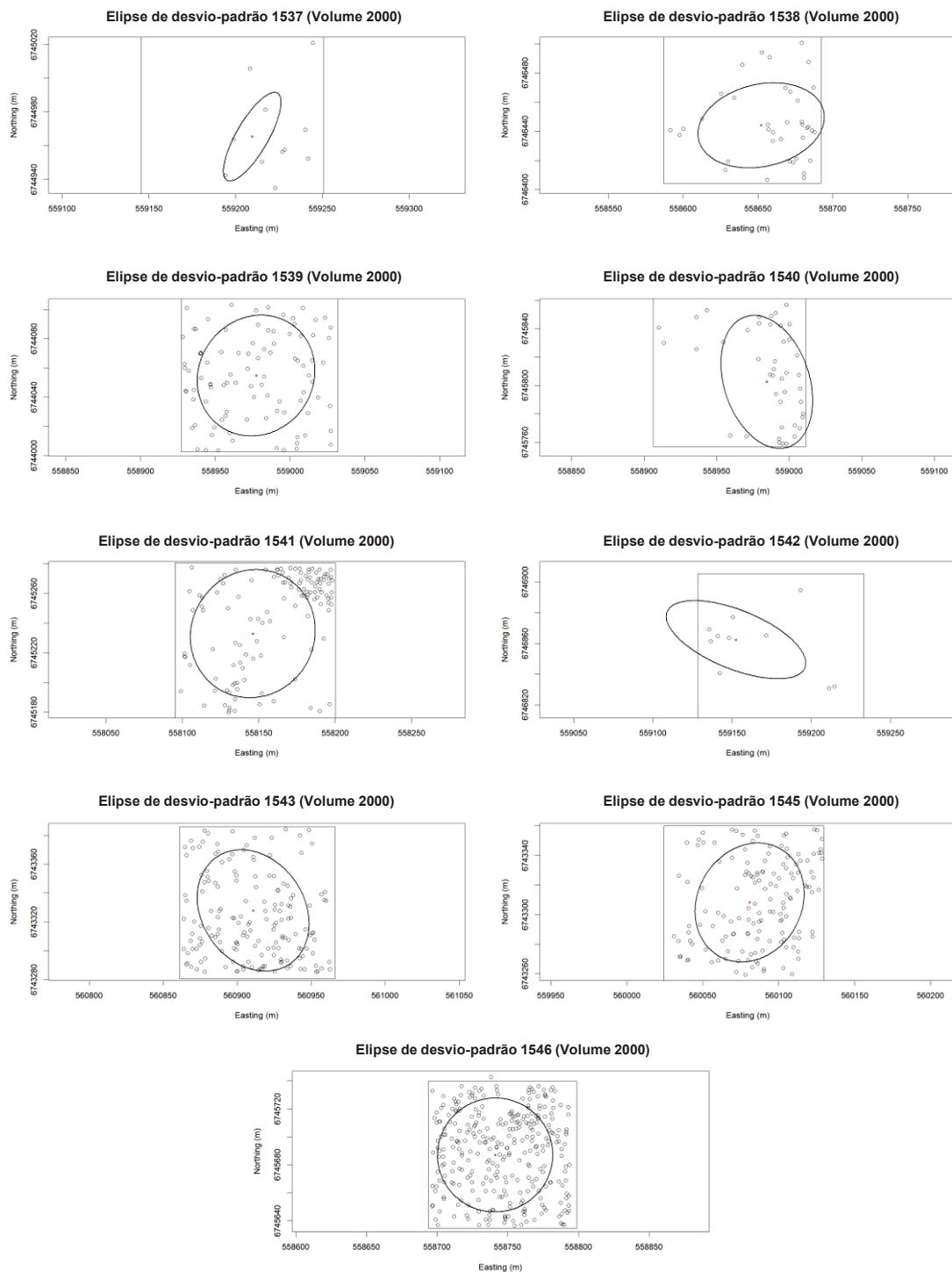


FIGURA 46 - Elipse e desvio-padrão volume (2000)

FONTE: Autoral (2021)

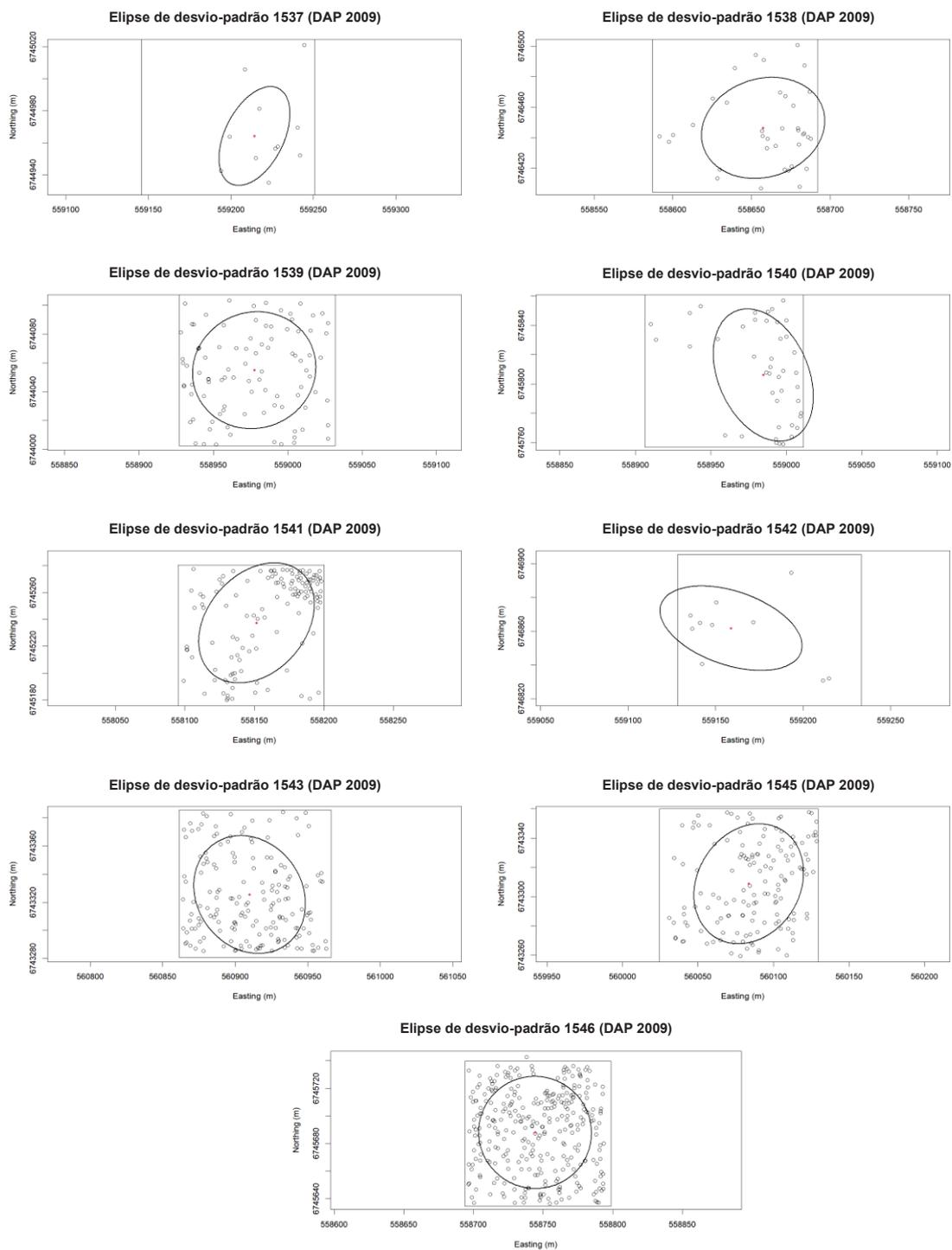


FIGURA 47: Elipse de desvio-padrão DAP (2009)

FONTE: Autoral (2021)

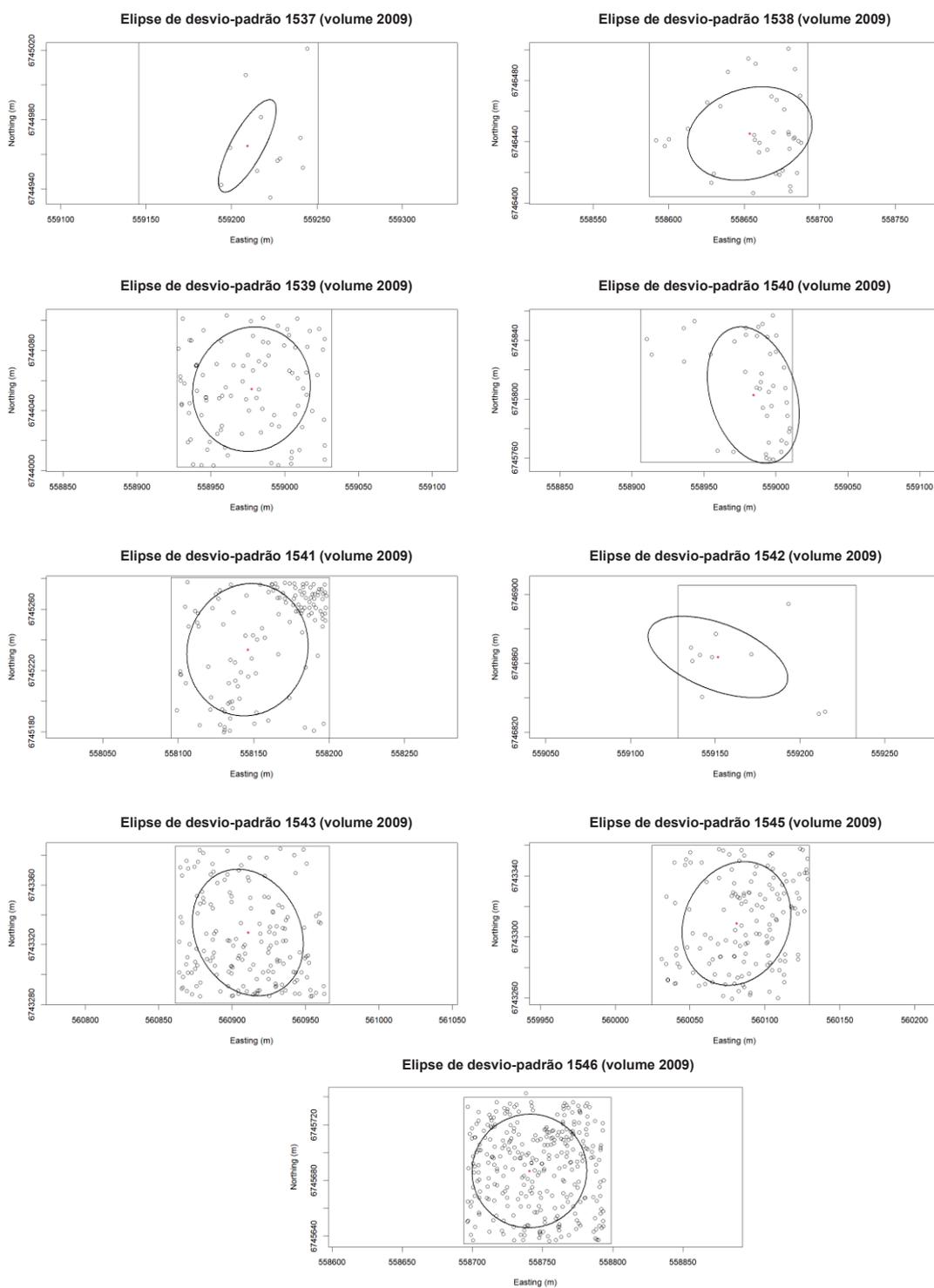


FIGURA 48 - Elipse de desvio-padrão volume (2009)

FONTE: Autoral (2021)

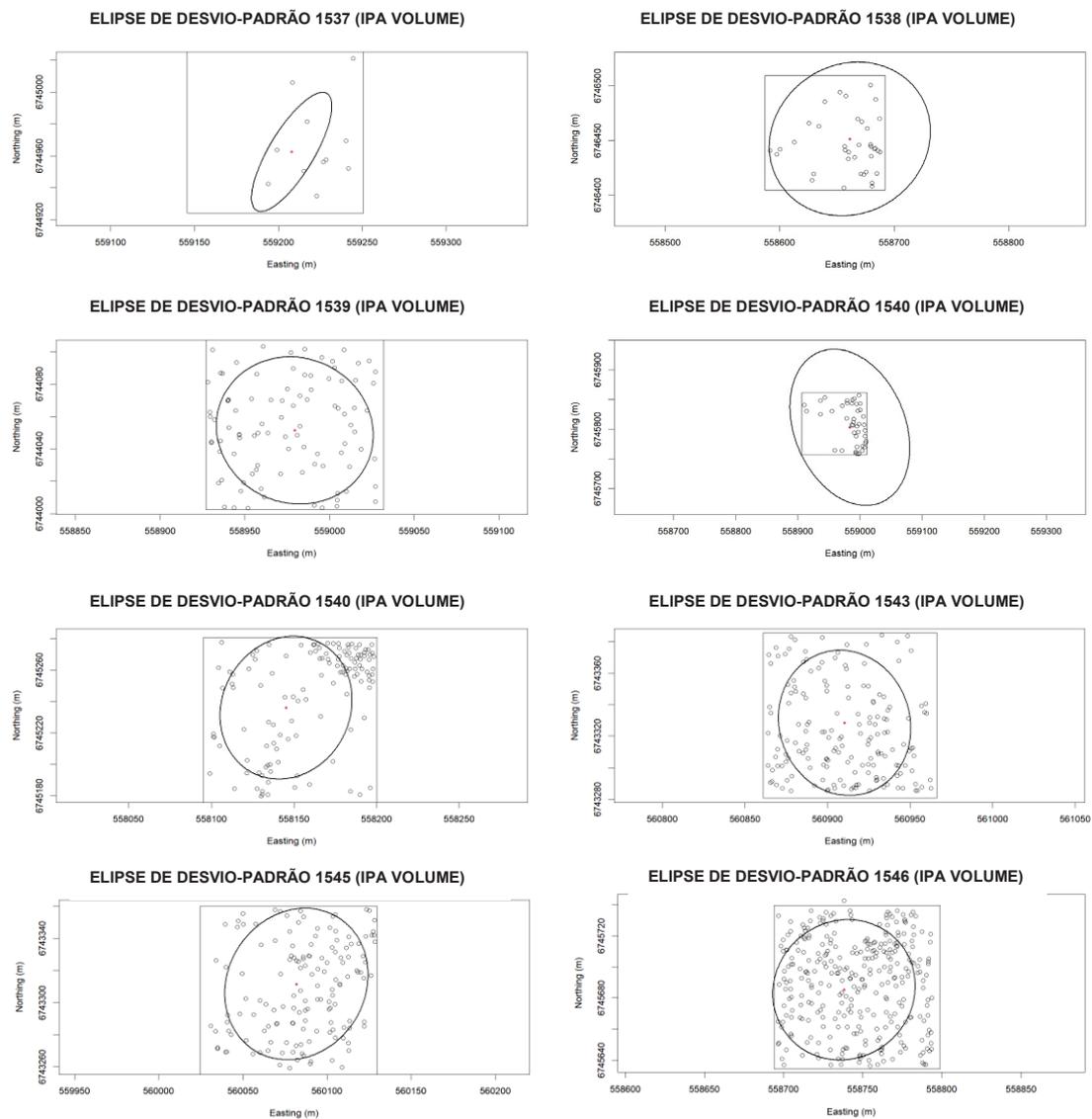


FIGURA 49 - Elipse de desvio-padrão IPA volume (10 anos)

FONTE: Autoral (2021)

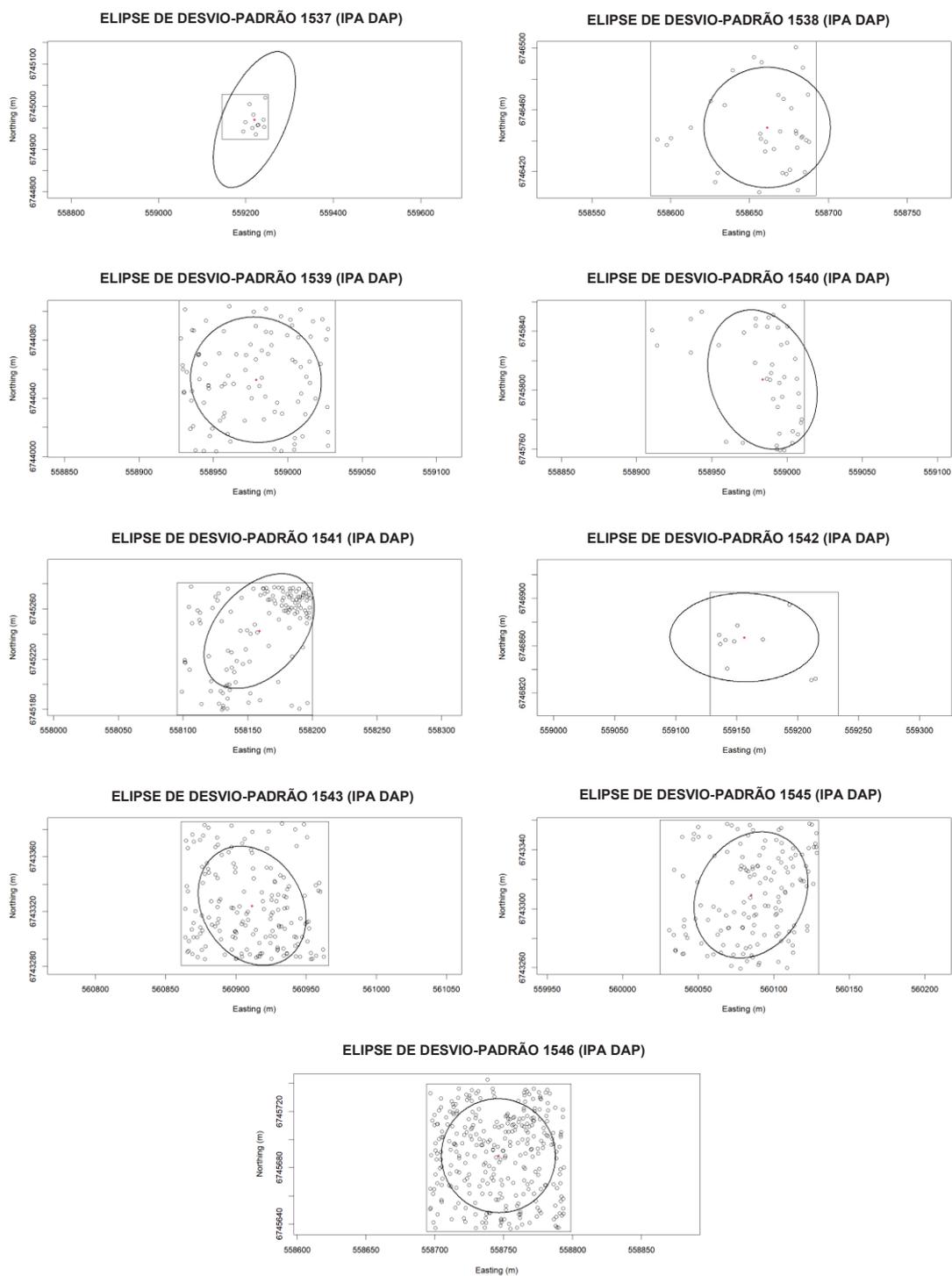
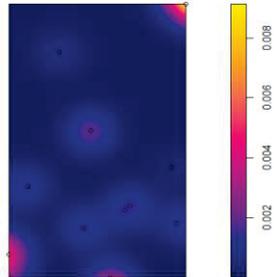


FIGURA 50 - Elipse de desvio-padrão IPA DAP (10 anos)

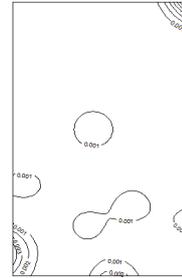
FONTE: Aural (2021)

## APÊNDICE D – KERNEL PONDERADO

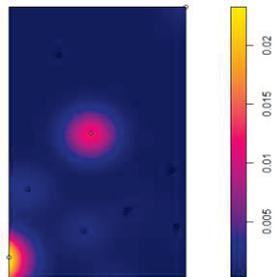
Kernel ponderado IPA DAP (1537)



Kernel ponderado IPA DAP (1537)



Kernel ponderado IPA volume (1537)



Kernel ponderado IPA volume (1537)

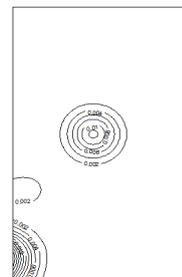


FIGURA 51 - Kernel ponderado IPA em DAP e volume (área 1537)  
FONTE: Autorial (2021)

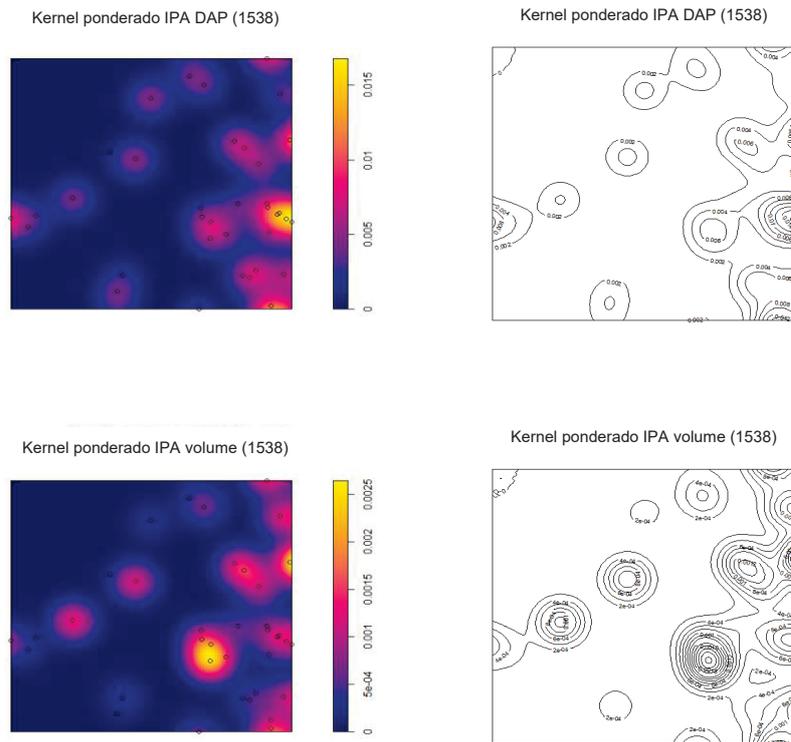


FIGURA 52 - Kernel ponderado IPA em diâmetro e volume (área 1538)  
FONTE: Autoral (1538)

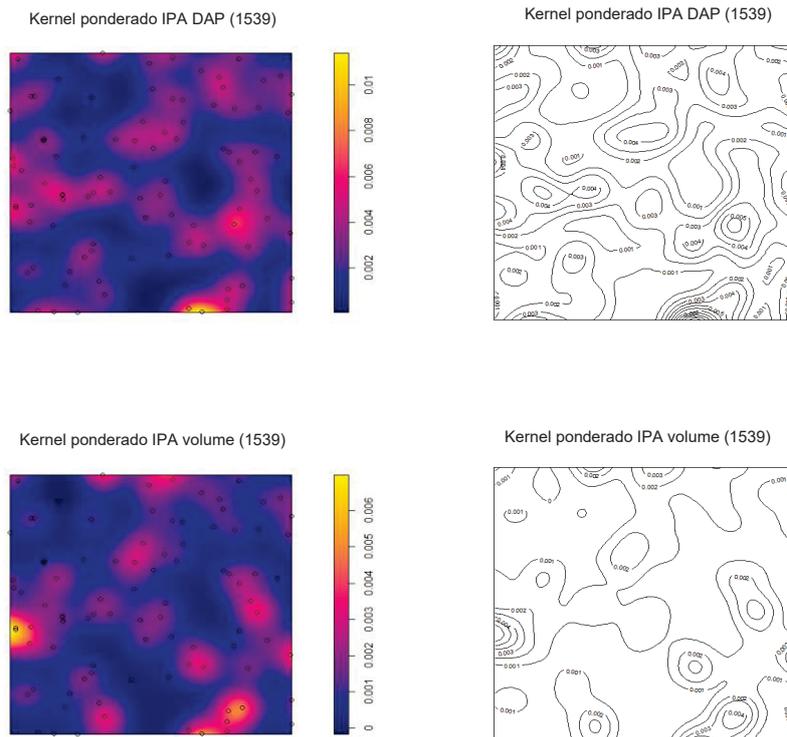


FIGURA 53 - Kernel ponderado IPA em DAP e volume (área 1539)

FONTE: Autoral (2021)

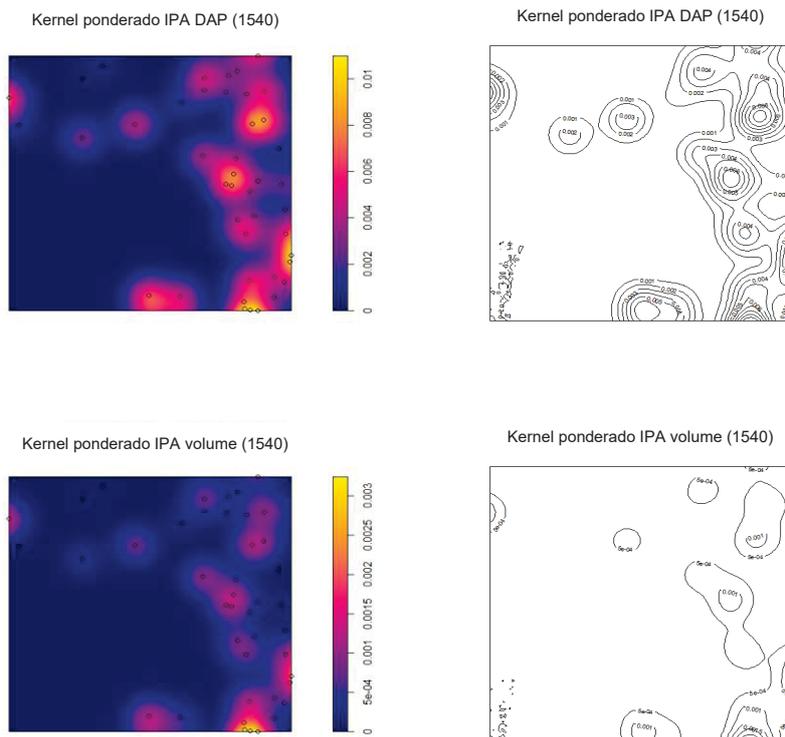


FIGURA 54 - Kernel ponderado IPA em DAP e volume (área 1540)  
FONTE: Autoral (2021)

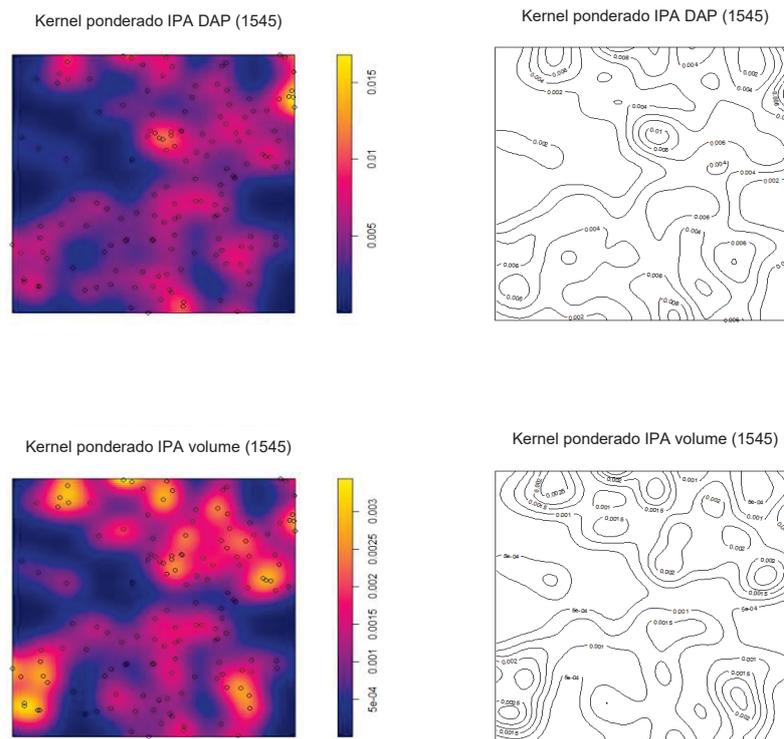


FIGURA 55 - Kernel ponderado IPA em DAP e volume (área 1545)  
FONTE: Autoral (1545)

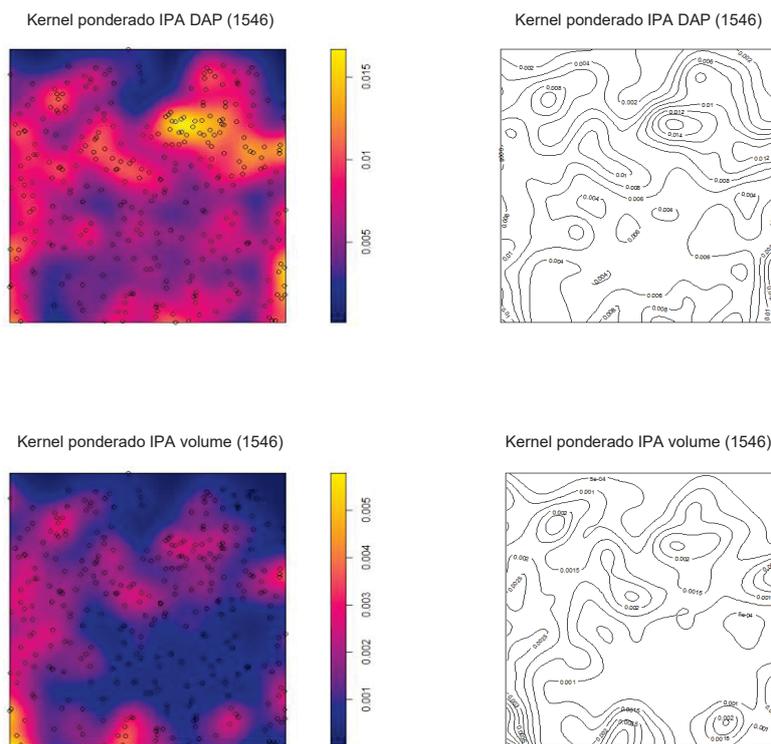


FIGURA 56 - Kernel ponderado IPA em DAP e volume (área 1546)  
FONTE: Autoral (2021)