



BRENO ROBERTO DIAS AMORIM

**CARACTERIZAÇÃO DE VARIÁVEIS
DENDROMÉTRICAS E
HIDROMETEOROLÓGICAS EM
POVOAMENTO DE EUCALIPTO**

**LAVRAS - MG
2018**

BRENO ROBERTO DIAS AMORIM

**CARACTERIZAÇÃO DE VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS E
HIDROMETEOROLÓGICAS EM POVOAMENTO DE EUCALIPTO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, área de concentração em Ciências Florestais, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. José Marcio de Mello
Orientador

**LAVRAS - MG
2018**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Amorim, Breno Roberto Dias.

Caracterização de variáveis dendrométricas e
hidrometeorológicas em povoamento de eucalipto / Breno Roberto
Dias Amorim. - 2018.

147 p. : il.

Orientador: José Marcio de Mello.

Dissertação (Mestrado acadêmico) - Universidade Federal de
Lavras, 2018.

Bibliografia.

1. Inventário Florestal. 2. Hidrologia Florestal. 3. Geoestatística.
I. Mello, José Marcio de. II. Título.

BRENO ROBERTO DIAS AMORIM

**CARACTERIZAÇÃO DE VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS E
HIDROMETEOROLÓGICAS EM POVOAMENTO DE EUCALIPTO**

**CHARACTERIZATION OF DENDROMETRY AND
HYDROMETEOROLOGICAL VARIABLES IN A EUCALYPT
PLANTATION**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, área de concentração em Ciências Florestais, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 16 de julho de 2018.

Dra. Marcela de Castro Nunes Santos Terra UFLA

Prof. Dr. José Alves Junqueira Júnior IFSUDESTEMG

Prof. Dr. José Marcio de Mello
Orientador

**LAVRAS - MG
2018**

A minha Avó Geracina (in memoriam), carinhosamente conhecida como “Dona Milu”. Saudade da sabedoria do teu olhar, da generosidade do teu sorriso e do aconchego do teu abraço.

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que me acompanha e ilumina meu caminho na vida.

Sou muito grato aos meus pais Gertrudes e Carlos que foram meus primeiros professores e me ensinaram ser uma pessoa de caráter. À minha irmã Ariana, por sempre me incentivar a vencer na vida.

Agradeço aos meus tios Alberto e Rosimeire, pois foram fundamentais em minha criação e educação.

Sou eternamente grato a minha namorada Jéssica, pelo amor, carinho, cumplicidade e companheirismo que temos um com o outro.

Ao meu orientador, José Marcio de Mello, pelos ensinamentos, amizade, apoio e disponibilidade em todos os momentos.

À Universidade Federal de Lavras, ou Departamento de Ciências Florestais e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, pela oportunidade concedida para a realização desse trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pela concessão da bolsa de estudos no primeiro ano de Mestrado.

A todos os professores do curso de Engenharia Florestal pelos ensinamentos acadêmicos. Em especial, ao professor Fausto Weimar Acerbi Júnior, pela amizade e apoio sempre.

Aos membros da banca examinadora, que gentilmente aceitaram o meu convite e pelas valiosas contribuições. Em especial, a Marcela, por compartilhar seus conhecimentos que foram fundamentais à confecção deste trabalho.

Ao professor Carlos Rogério Mello, por ter fornecido a base de dados e o apoio à realização deste trabalho.

Aos técnicos e amigos do Lemaf: Kalill, Thiza e Thiago, pelo importante auxílio nas coletas de dados e pela disponibilidade em ajudar sempre que possível.

Aos meus companheiros do Laboratório de Inventário Florestal e Estatística Espacial: Inácio, Aliny, Ivy e Pedrão, pelos momentos de companheirismo e auxílio.

Aos amigos da República Kurral, e a todos amigos e familiares que de alguma forma desejam minha felicidade e torcem por mim.

Muito obrigado!

“Quem elegeu a busca não pode recusar a travessia.”

Guimarães Rosa

RESUMO

O presente estudo foi conduzido em um povoamento de eucalipto localizado em área experimental no campus da Universidade Federal de Lavras - UFLA. A base de dados para o estudo foi composta com dados dendrométricos provenientes de inventários florestais, dados climáticos oriundos de estações meteorológicas localizadas dentro e fora do povoamento e por coletas de precipitação pluvial dentro do povoamento. O objetivo principal foi avaliar a influência das condições hidrometeorológicas no crescimento do eucalipto. Para isso, avaliaram-se as condições de densidade populacional a partir do índice de densidade do povoamento (*IDP*), pelo ajuste do modelo de Reineke. Foram instaladas 27 parcelas no povoamento distribuídas nos 3 espaçamentos que compõem o plantio (3x2m), (3x3,5m) e (3x5m). Para compreender a dinâmica climática, foram avaliadas as variáveis de temperatura, umidade relativa do ar e precipitação, tanto fora quanto no interior do povoamento e sua relação com as médias históricas. Foi quantificada a repartição da precipitação pluvial em precipitação interna (PI), escoamento do tronco (EsT) e o percentual interceptado pelas copas das árvores. As coletas da precipitação foram de novembro de 2013 a outubro de 2017, completando 4 anos hidrológicos. Para isso, instalaram-se 37 pluviômetros e 30 coletores de escoamento do tronco para o monitoramento da PI e do EsT. Além disso, foi avaliada a distribuição espacial das variáveis dendrométricas e hidrológicas com o intuito de observar o grau de dependência espacial e a correlação dessas variáveis para o crescimento do povoamento. De acordo com a determinação do (*IDP*), 83% das parcelas do espaçamento (3x2) apresentam-se em fase de alta competição ou já estocado. As variáveis meteorológicas temperatura e umidade relativa apresentaram um comportamento diferente em comparação às normais climatológicas, com a temperatura média de 0,4°C superior as medias históricas e para a umidade uma queda de 3% em relação às médias históricas. O total de precipitação interna foi de 3269,3 mm o que representa 70,3% da precipitação externa. O total de água escoada pelos troncos foi de 114,3 mm representando 2,5% da precipitação externa, por fim, 1268 mm foram interceptados pelas copas das árvores, representando 27% do total de precipitação ocorrida ao longo dos 4 anos hidrológicos. As variáveis dendrométricas e hidrológicas apresentaram uma dependência espacial de moderada a forte em seus anos de análises. As variáveis dendrométricas foram claramente influenciadas pelo efeito dos espaçamentos. E, de acordo com os mapas de krigagem, houve um crescimento da precipitação interna no povoamento da região mais adensada para a menos adensada, podendo correlacionar o desenvolvimento do povoamento em algumas situações, em virtude dos efeitos hidrológicos.

Palavras-chave: Inventário Florestal. Hidrologia Florestal. Geoestatística.

ABSTRACT

We conducted this study in a eucalypt population located in an experimental area of the Federal University of Lavras - UFLA campus. The database used for this study was comprised of dendrometry data derived from forest inventory, climatic data from meteorological stations located in and outside the plantation, and collections of pluvial rainfall inside the plantation. The primary objective was to evaluate the influence of the hydrometeorological conditions on the growth of eucalypt. To do this, we assessed the population density conditions based on the stand density index (SDI), adjusted to the Reineke model. We installed 27 plots into the plantation, distributed in the three spacings that comprised the population (3x2m), (3x3.5m), and (3x5m). To understand the climatic dynamics, we evaluated the variables of temperature, relative humidity of the air, and precipitation, both inside and outside the population and its relations with the historical averages. We quantified the repartition of the pluvial rainfall into internal rainfall (IR), trunk flow (TF), and the percentage intercepted by the tree canopies. We collected the rain from November of 2013 to October of 2017, completing four hydrological years. To do this, we installed 37 pluviometers and 30 trunk flow collectors to monitor the IR and TF. Furthermore, we evaluated the spatial distribution of the dendrometry and hydrological variables to verify the degree of spatial dependence and the correlation of these variables with the plantation growth. According to the SDI value, 83% of the 3x2 spacing plots are in the phase of high competition or storage. The meteorological variable of temperature and relative humidity presented a different behavior when compared to the normal climatological values, with an average temperature of 0.4°C superior to the historical averaged and a decrease of 3% of humidity. The total internal rainfall was of 3269.3 mm, which represents 70.3% of the external rainfall. The total value of water that flowed by the trunks was of 114.3 mm, representing 2.5% of the external rainfall. Finally, the tree canopies intercepted 1268 mm of water, representing 27% of the total rainfall that occurred over the four hydrological years. The dendrometry and hydrological variables presented a moderate to strong spatial dependence. The spacing effect influenced the dendrometry variables. According to the kriging maps, the internal rainfall increased from the denser to the less dense regions of the plantation and can be correlated to the development of the population in some situations due to the hydrological effects.

Keywords: Forest inventory. Forest hydrology. Geostatistics.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Localização geográfica da área de estudo.	39
Figura 2 -	Divisão dos espaçamentos na área de estudo.	40
Figura 3 -	Alocação das 27 parcelas, nos diferentes espaçamentos na área de estudo.	42
Figura 4 -	Localização das estações meteorológicas.	45
Figura 5 -	Pluviômetros para coleta da precipitação no povoamento: a) Pluviômetro do tipo “ <i>Ville de Paris</i> ” e b) tipo calha.	47
Figura 6 -	Distribuição espacial dos pluviômetros “ <i>Ville de Paris</i> ” e Calhas na área de estudo e localização do pluviômetro externo ao povoamento.	48
Figura 7 -	Pluviômetro “ <i>Ville de Paris</i> ” instalado em local aberto a 150 m do povoamento.	49
Figura 8 -	Distribuição espacial dos coletores do escoamento do Tronco.	51
Figura 9 -	Sistema de coleta do escoamento do tronco, mangueira fixada em espiral no tronco e balde coletor.	52
Figura 10 -	Temperaturas observadas no período de monitoramento, em escalas: a) mínimas; b) médias; c) máximas e Normal climatológica anual.	62
Figura 11 -	Umidade relativa do período de monitoramento.	64
Figura 12 -	Distribuição da precipitação total anual nos anos de monitoramento.	65
Figura 13 -	Balanço hídrico para o município de Lavras, entre a Precipitação (mm) e Evapotranspiração potencial (ETp) nos anos de monitoramento das variáveis climáticas.	66
Figura 14 -	Distribuição dos indivíduos em classes diamétricas nos anos de 2013, 2015 e 2017.	72

Figura 15 - Ajuste do modelo de Chapman-Richards para estimativa de crescimento em diâmetro nos diferentes tratamentos no povoamento.	74
Figura 16 - Taxas de incremento diamétrico nos diferentes espaçamentos ao longo dos anos.	75
Figura 17 - Retas de ajuste da regressão linear clássica e do máximo <i>IDP</i> após alteração do intercepto em função do número de fustes por hectare (<i>N</i>) e do diâmetro quadrado médio (<i>Dg</i>)	78
Figura 18 - Relação do índice de densidade do povoamento (<i>IDP</i>) pelo diâmetro médio quadrático (<i>Dg</i>).	80
Figura 19 - Relação do índice de densidade do povoamento pela área basal (<i>G</i>).	80
Figura 20 - Relação das parcelas estocadas no povoamento em função dos espaçamentos existentes.	81
Figura 21 - Análise do número de árvores vivas e mortas por classe de diâmetro, para os anos: a) 2010 (3,9 anos); b) 2013 (7,5 anos); c) 2015 (9,5 anos); d) 2017 (11,4 anos).	85
Figura 22 - Correlação entre a precipitação externa e interna em escala mensal.	87
Figura 23 - Número de eventos por classe de precipitação (mm).	89
Figura 24 - Volume total precipitado por classe de chuva.	90
Figura 25 - Caracterização da precipitação interna nos anos hidrológicos de acordo com o período chuvoso e seco.	92
Figura 26 - Correlação entre a precipitação externa e do escoamento do tronco em escala mensal.	93
Figura 27 - Gráficos exploratórios para o ano de 2013 para a variáveis DAP (cm). Analisando: histograma de frequência, gráficos de boxplot e a relação da variável com a longitude e a latitude.	101

Figura 28 - Semivariogramas das variáveis DAP (cm), G (m ²) e V (m ³), respectivamente por parcela nos anos de análise: a) 2013; b) 2015; c) 2017.....	103
Figura 29 - Mapas de krigagem para variável DAP (cm) a partir das informações dos semivariogramas para os anos de 2013, 2015 e 2017.....	106
Figura 30 - Mapas de krigagem para variável área basal G (m ²) a partir das informações dos semivariogramas para os anos de 2013, 2015 e 2017.....	107
Figura 31 - Mapas de krigagem para variável volume V (m ³) a partir das informações dos semivariogramas para os anos de 2013, 2015 e 2017.....	108
Figura 32 - Mapa de krigagem do número médio de fustes ao longo dos anos de medição (2013, 2015 e 2017) por parcela nos diferentes espaçamentos.....	109
Figura 33 - Gráficos exploratórios para o Ano hidrológicos 1. Analisando: histograma de frequência, <i>box plot</i> e relação da variável com a longitude e a latitude.....	112
Figura 34 - Semivariogramas da precipitação interna (mm/ano) acumulada nos pluviômetros ao longo dos anos hidrológicos: a) Ano hidro 1 (2013-2014); b) Ano hidro 2 (2014-2015).....	113
Figura 35 - Semivariogramas da precipitação interna (mm/ano) acumulada nos pluviômetros ao longo dos anos hidrológicos: a) Ano hidro 3 (2015-2016); b) Ano hidro 4 (2016-2017).....	114
Figura 36 - Semivariogramas da precipitação interna (mm/ano) acumulada nos pluviômetros ao longo dos anos hidrológicos a) Ano hidro acumulado (2013-2015); b) Ano hidro acumulado (2015-2017).	114

Figura 37 - Mapas de krigagem para precipitação interna (mm/ano) nos anos: a) Ano hidrológico 1 (2013-2014); b) Ano hidrológico 2 (2014-2015).....	115
Figura 38 - Mapas de krigagem para precipitação interna (mm/ano) nos anos: a) Ano hidrológico 3 (2015-2016); b) Ano hidrológico 4 (2016-2017).....	116
Figura 39 - Mapas de krigagem para precipitação interna (mm/ano) nos anos: a) Ano hidrológico acumulado 1 (2013-2015); b) Ano hidrológico acumulado 2 (2015-2017).....	117

ANEXO A

Figura 1- Gráficos exploratórios para o ano de 2013 para a variáveis Área Basal (m ²). Analisando: histograma de frequência, gráficos de boxplot e a relação da variável com a longitude e a latitude.	135
Figura 2 - Gráficos exploratórios para o ano de 2013 para a variáveis Volume (m ³). Analisando: histograma de frequência, gráficos de boxplot e a relação da variável com a longitude e a latitude.....	136
Figura 3 - Gráficos exploratórios para o ano de 2015 para a variáveis DAP (cm). Analisando: histograma de frequência, gráficos de boxplot e a relação da variável com a longitude e a latitude.	137
Figura 4 - Gráficos exploratórios para o ano de 2015 para a variáveis Área Basal (m ²). Analisando: histograma de frequência, gráficos de boxplot e a relação da variável com a longitude e a latitude.	138
Figura 5 - Gráficos exploratórios para o ano de 2015 para a variáveis Volume (m ³). Analisando: histograma de frequência, gráficos	

	de boxplot e a relação da variável com a longitude e a latitude.....	139
Figura 6 -	Gráficos exploratórios para o ano de 2017 para a variáveis DAP (cm). Analisando: histograma de frequência, gráficos de boxplot e a relação da variável com a longitude e a latitude.	140
Figura 7 -	Gráficos exploratórios para o ano de 2017 para a variáveis Área Basal (m ²). Analisando: histograma de frequência, gráficos de boxplot e a relação da variável com a longitude e a latitude.	141
Figura 8 -	Gráficos exploratórios para o ano de 2017 para a variáveis Volume (m ³). Analisando: histograma de frequência, gráficos de boxplot e a relação da variável com a longitude e a latitude.	142
Figura 9 -	Gráficos exploratórios para o Ano hidrológicos 2. Analisando: histograma de frequência, <i>box plot</i> e relação da variável com a longitude e a latitude.	143
Figura 10 -	Gráficos exploratórios para o Ano hidrológicos 3. Analisando: histograma de frequência, <i>box plot</i> e relação da variável com a longitude e a latitude.	144
Figura 11 -	Gráficos exploratórios para o Ano hidrológicos 4. Analisando: histograma de frequência, <i>box plot</i> e relação da variável com a longitude e a latitude.	145
Figura 12 -	Gráficos exploratórios para o Acumulado 1. Analisando: histograma de frequência, <i>box plot</i> e relação da variável com a longitude e a latitude.	146
Figura 13 -	Gráficos exploratórios para o Acumulado 2. Analisando: histograma de frequência, <i>box plot</i> e relação da variável com a longitude e a latitude.	147

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados hidrometeorológicos adquiridos da estação do INMET e suas unidades de medições e métodos de análise em escala anual.	46
Tabela 2 - Número de coletores de escoamento no tronco em relação à distribuição das classes de diâmetro no povoamento.	50
Tabela 3 - Dados provenientes do inventário no povoamento.	54
Tabela 4 - Características dendrométricas por espaçamento e idade.	68
Tabela 5 - Análise descritivas das variáveis no povoamento.	69
Tabela 6 - Classificação diamétrica do povoamento para os anos de 2013, 2015 e 2017.	71
Tabela 7 - Estimativa dos coeficientes e parâmetros estatísticos do modelo de Chapman-Richards para a variável diâmetro em diferentes tratamentos.	73
Tabela 8 - Valores mínimo, médio e máximo de D_g , N e Idade para as 27 parcelas de 150 m ² avaliadas.	76
Tabela 9 - Estimativa dos parâmetros do modelo de Reineke pelo método de regressão linear clássica.	77
Tabela 10 - Equação de Reineke ajustada pelos parâmetros estimados.	77
Tabela 11 - Representação da estocagem no povoamento aos 9 anos de idade.	81
Tabela 12 - Número de árvores mortas por ano de medição das variáveis no povoamento.	82
Tabela 13 - Classe de Precipitação diária (mm).	88
Tabela 14 - Valor acumulado do Escoamento do tronco por mês durante o os 4 anos hidrológicos monitorados.	95

Tabela 15 - Quantificação da lâmina (mm) e da porcentagem (%) da precipitação em área aberta (PA), da precipitação interna (PI), escoamento do tronco (EsT), precipitação efetiva (PE) e da interceptação da copa (I) no povoamento de eucalipto para cada ano hidrológico monitorado.....	97
Tabela 16 - Análise exploratória com os valores de Média, Desvio Padrão, Coeficiente de Variação (CV%) para as variáveis dendrométricas avaliadas por parcela em cada ano de medição.	99
Tabela 17 - Parâmetros do modelo espacial selecionado (exponencial); τ^2 : efeito pepita; σ^2 : contribuição e ϕ : alcance; estatísticas da validação cruzada: erro médio reduzido (EMR), desvio do erro médio (S_{ER}) e grau de dependência espacial (DE) das variáveis.	102
Tabela 18 - Análise exploratória com os valores de Média, Desvio Padrão, Coeficiente de variação (CV%) para a variável precipitação interna (mm/ano) avaliada ao longo de cada ano hidrológico.	110
Tabela 19 - Análise exploratória com os valores de Média, Desvio Padrão, Coeficiente de variação (CV%) para a variável precipitação interna acumulada (mm/ano) entre os anos (2013-2015) e (2015-2017).	111
Tabela 20 - Parâmetros do modelo espacial selecionado, estatísticas da validação cruzada: erro médio reduzido (EMR) e desvio do erro médio (S_{ER}) e grau de dependência espacial da variável precipitação interna (mm).	113

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
2	REFERENCIAL TEÓRICO	23
2.1	Mensuração Florestal	23
2.2	Crescimento e Produção Florestal	24
2.3	Densidade de Povoamentos Florestais	26
2.4	Influência Hídrica em Povoamentos Florestais	30
2.5	Relação de Variáveis Climáticas e Inventário Florestal	33
2.6	Análise da Distribuição Espacial e Geostatística	36
3	MATERIAL E MÉTODOS	39
3.1	Caracterização da área de estudo	39
3.2	Base de dados	41
3.2.1	Dados dendrométricos	41
3.2.2	Dados meteorológicos	44
3.2.3	Dados hidrológicos	46
3.3	Determinação da densidade do povoamento	54
3.4	Análise espacial das variáveis dendrométricas e hidrológicas	56
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	61
4.1	Comportamento hidrometeorológico no período de estudo	61
4.2	Caracterização das variáveis dendrométricas ao longo do tempo	68
4.3	Avaliação da densidade do povoamento	76
4.4	Monitoramento da precipitação interna e do escoamento do tronco	86
4.5	Estrutura espacial das variáveis dendrométricas e hidrológicas	99
5	CONCLUSÕES	119
	REFERÊNCIAS	121
	ANEXO A – FIGURAS	135

1 INTRODUÇÃO

A área de florestas plantadas no Brasil atingiu 7,78 milhões de hectares em 2016, crescimento de 0,5% em relação ao ano de 2015, em razão, exclusivamente, do aumento das áreas com eucalipto. As demais espécies utilizadas para produção permaneceram inalteradas no período (INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES - IBÁ, 2017).

A crescente demanda por área plantada no Brasil é consequência do desenvolvimento econômico e social do país, necessitando cada vez mais consumir material renovável proveniente de florestas plantadas. Essa alta demanda, faz com que o crescimento e a produtividade dos povoamentos florestais sejam mais exigidos para abastecer o consumo.

Os incentivos fiscais para o desenvolvimento florestal tiveram início na década de 70 e, com o avanço do setor florestal, houve aumento da necessidade de desenvolvimento de técnicas mais apuradas para determinar um melhor desempenho florestal.

O monitoramento periódico por meio de técnicas que obtêm de forma eficiente as mudanças nas florestas, consiste em amostragens por parcelas permanentes em uma determinada área. O procedimento de amostragem sucessivo, denominado de Inventário Florestal Contínuo (IFC), viabiliza informações sobre o estoque e crescimento anual sendo tradicionalmente realizado nos plantios comerciais do Brasil (MELLO et al., 2009).

Contudo, as gradativas necessidades de gerar dados mais precisos a respeito do crescimento das florestas trouxeram novas metodologias para complementar o inventário tradicional e os resultados de crescimento e produção florestal.

A taxa de crescimento é determinada pelo espaço vital que a árvore dispõe. Sendo o espaço de cada árvore limitado pelas árvores vizinhas, levando a competição ao nível das copas e das raízes (CURTO et al., 2016).

Povoamentos adensados podem resultar em menos luz nas camadas mais baixas do dossel, provocando a morte de galhos nessas posições e resultando em declínios na produção individual da madeira (NUTTO, 2001). Dessa forma, os plantios necessitam de manejo florestal que sejam adequados para o desenvolvimento da madeira promovendo maior produtividade da floresta.

A determinação e a previsão da produtividade de um povoamento podem ser realizadas pelo controle da densidade, pois esse fator pode ser manejado antes, por meio da determinação dos espaçamentos iniciais, ou ao longo do desenvolvimento da floresta, com desbastes.

O interesse em conhecer o crescimento das árvores e do povoamento, a dinâmica de copa, a mortalidade, dentre outros aspectos relacionados ao interesse do manejador, estão intensamente associados ao número de árvores e suas dimensões, especialmente em diâmetro (YODA et al., 1963).

O crescimento de um povoamento está ligado aos fatores genéticos e as condições no local, destacando o solo e o clima. Dentre esses fatores, as condições climáticas são as que mais variam, durante o período de crescimento do povoamento.

A preocupação para um melhor desempenho da produção florestal, fez com que pesquisadores e empresas de base florestal observassem com mais rigor às condições ambientais que influenciam diretamente e indiretamente na qualidade da planta. A influência hidrometeorológica é a mais estudada no aspecto ambiental. As mudanças climáticas têm alto poder de anular sequências históricas de produtividade e alterar regimes de crescimento já definido.

Segundo Zamin (2013), um ajuste adequado entre as medições do inventário florestal com as variáveis climáticas e ambientais, providenciadas em

termos espaciais e temporais, fornece resultados mais realísticos e precisos para a produtividade da floresta.

A precipitação sobre povoamentos florestais tem papel fundamental no movimento de água. Com isso, é importante compreender a relação da cobertura florestal na repartição da água da chuva, e como a redistribuição da precipitação a partir do dossel afeta a variabilidade da precipitação que chega ao piso florestal.

O estudo da distribuição espacial da precipitação é importante para a compreensão dos recursos hídricos, sendo o mapeamento dessa variável útil no setor florestal, possibilitando entender o comportamento da floresta em relação a variáveis ambientais e como essas variáveis afetam o crescimento e a produtividade da floresta.

Diante do exposto, objetivou-se de forma geral, neste trabalho, analisar o comportamento de variáveis hidrometeorológicas em um povoamento de eucalipto no sul de Minas Gerais. Especificamente pretende-se: (i) comparar as médias históricas de variáveis meteorológicas da região com os valores obtidos no período de monitoramento dentro e fora do povoamento experimental (ii) caracterizar as variáveis dendrométricas no povoamento, ao longo dos anos de estudo; (iii) determinar o limite de densidade do povoamento, por meio da estimativa do índice de densidade do povoamento (*IDP*), utilizando o modelo de Reineke ajustado pelo método de regressão linear; (iv) quantificar a precipitação incidente, por meio da distribuição da precipitação interna, do escoamento do tronco e da fração interceptada pelas copas nos períodos sazonais; (v) verificar o padrão espacial de variáveis dendrométricas e hidrológicas, ao longo dos anos, analisando possíveis relações que expliquem o crescimento das variáveis do povoamento em função de aspectos climáticos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Mensuração Florestal

A caracterização do povoamento é um dos objetivos principais da mensuração florestal, utilizando-se de valores referentes a alguns atributos das árvores como, diâmetro e altura que são utilizados para quantificar o volume da floresta (PRODAN et al., 1997).

Para isso, o inventário florestal utiliza-se de fundamentos de amostragem, quando uma área não permite uma medição por censo, para a determinação ou estimativa de características quantitativas ou qualitativas da floresta (SCOLFORO; MELLO, 2006).

O levantamento histórico de informações relacionadas ao desenvolvimento da mensuração florestal com finalidade de obter dados de crescimento e produção, destaca que, desde o século XVIII, já se trabalhava com dados dendrométricos extraindo informações, por meio de tabelas de produção de volume médio dos povoamentos em várias idades e índices de sítio (CASTRO NETO, 2015).

No planejamento do inventário florestal, determinam-se os seus objetivos e como serão indicadas as variáveis mensuradas com percentual de erro admitido e intensidade amostral adequada. O inventário ideal é aquele cujas estimativas para determinar o povoamento produzam um erro mínimo a um custo pré-determinado (PEINHOPF, 2012).

As variáveis mensuradas mais importantes são diâmetro e altura que podem ser utilizadas para quantificar o volume da floresta, a partir de equação de volume já consolidada para a mesma, além de conhecer a área basal e estimar o número de árvores por área (CAMPOS; LEITE, 2009).

O inventário florestal contínuo é uma prática usual na pesquisa e na maioria das empresas, sendo geralmente utilizado para avaliar os povoamentos e executar planos de manejo. Permitindo estimar a produção corrente de povoamentos florestais e fazer projeções para curtos períodos de tempo, além de possibilitar o ajuste de equações que expressem uma condição média do povoamento (SCOLFORO, 1998).

A mensuração da floresta determina os fatores que influenciam o crescimento refletidos na variação do tamanho e forma das árvores, permitindo definir estratégias adequadas para o planejamento sustentável dos recursos florestais (COSTA; FINGER; HESS, 2015).

O Inventário Florestal Contínuo (IFC) é um método de amostragem com grande destaque no Brasil pelas empresas florestais e compõe-se de um conjunto de parcelas permanentes que são mensuradas para acompanhar periodicamente as mudanças ocorridas, podendo avaliar o crescimento da floresta (KANEGAE JÚNIOR et al., 2006).

Dessa forma, torna-se cada vez mais importante o emprego de técnicas adequadas de inventário e manejo florestal, com a finalidade de realizar um diagnóstico mais completo e preciso da produção, em decorrência do grande desenvolvimento do setor florestal e o aumento da demanda de mercado por produtos madeireiros (FERRAZ FILHO, 2009).

2.2 Crescimento e Produção Florestal

O crescimento de uma árvore ou de uma floresta representa o mais notável evento florestal, e consiste no alongamento e engrossamento das raízes, troncos e galhos, afetando no seu peso, volume e forma (SCOLFORO, 1998).

Apesar do crescimento da árvore ocorrer em todos os seus componentes, é dada maior importância às mudanças no diâmetro e na altura da árvore, uma

vez que são mais fáceis de serem mensuradas e pela forte correlação com o volume total da árvore (WEISKITTEL et al., 2011).

A compreensão do crescimento das árvores e do povoamento é importante para se conhecer a dinâmica e produtividade da biomassa florestal (COOMES; ALLEN, 2007), assim como planejar o fornecimento de madeira e fornecer subsídios para o gerenciamento florestal (MONSERUD; STERBA, 1999).

Segundo Campoe et al. (2013), a estimativa do crescimento e da produção constitui-se em algo essencial para definir o uso dos bens advindos do povoamento, além de gerar informações que auxiliam a tomada de decisões para a maioria dos negócios florestais.

Em projetos florestais comerciais, que são caracterizados pelo longo período de tempo entre os investimentos iniciais e os resultados futuros, a predição do crescimento e da produção é essencial para definir a quantidade de produtos que serão produzidos pela floresta, assim como para subsidiar as análises técnicas e econômicas dos projetos florestais (CASTRO et al., 2016).

Segundo Carvalho et al. (2011), em mensuração florestal a prognose da produção é obtida por meio de modelos, buscando-se descrever uma realidade com maior nível de precisão.

O conhecimento da dinâmica de crescimento e das interações entre os indivíduos em um povoamento florestal é fundamental para a implementação de práticas que propiciem o aumento da produtividade (GOUVEIA JÚNIOR; MATIAS; SOARES, 2016).

Entender a produtividade de uma floresta ao longo do tempo é indispensável para o planejamento florestal. Os modelos de crescimento e produção são a principal ferramenta para a estimativa dessa produtividade. Portanto, quanto maior a precisão dos modelos, melhor será a qualidade das decisões provenientes do planejamento (FERREIRA, 2009).

Segundo Miranda et al. (2015), o setor florestal dispõe de uma prática no uso de métodos quantitativos para extrapolar e projetar a produção baseado em dados oriundos mensurados em campo.

Para quantificar a capacidade produtiva de povoamentos florestais, o método mais utilizado provém da estimativa de índices do sítio, obtidos em função de dados médios da altura dominante e idade das árvores (CASTRO et al., 2016).

Os modelos de crescimento e produção florestal representam uma concepção ou uma simplificação de algum aspecto da realidade, permitindo simular a dinâmica natural de um povoamento e prever a sua produção ao longo do tempo, em diferentes possibilidades de exploração. E ainda podem representar um instrumento matemático para a caracterização da dinâmica natural de um povoamento florestal (CASTRO et al., 2013; FREIRE, 2002; MAESTRI et al., 2013).

Segundo Scolforo e Mello (2006), os modelos de crescimento e produção classificam-se em: modelos em nível de povoamento, modelos por classe diamétrica e modelos de árvores individuais. Apesar de que esses modelos possuam diferentes comportamentos, as pressuposições são obtidas por meio de dados mensurados na floresta como idade, sítio, área basal, diâmetro quadrático e número de árvores por hectare (CAMPOS; LEITE, 2013).

2.3 Densidade de Povoamentos Florestais

Variáveis como superfície, diâmetro e comprimento da copa possuem relação direta com o crescimento e a produção de uma árvore. Tais variáveis são afetadas pela concorrência, de forma que quanto mais denso o povoamento, menos luz atinge as camadas mais baixas do dossel, ocasionando morte dos indivíduos mais inferiores (CURTO et al., 2016).

A definição de densidade populacional está rigorosamente associada às condições de concorrência, ocupação e fechamento do dossel. Dessa forma, a densidade atua como variável de decisão para práticas silviculturais, bem como em modelos simulando o crescimento e a prognose da produção (MCTAGUE; WEISKITTEL, 2016; REYES-HERNADEZ; COMEAU, 2015).

Segundo Schneider et al. (2015), a densidade de um povoamento florestal pode ser expressa em termos de área basal, volume, número de árvores por unidade de área, sendo implícito o nível de utilização dos fatores de crescimento locais das árvores como água, luz e nutrientes.

O crescimento e a produtividade de um povoamento florestal são sensibilizados por quatro fatores: a idade do povoamento, a capacidade produtiva de um local, o grau de utilização da capacidade produtiva e os tratamentos culturais (CLUTTER et al., 1983).

O entendimento das inter-relações entre a densidade das árvores por unidade de área e o desenvolvimento em diâmetro são de extrema importância, pois com o envelhecimento do povoamento ocorre o aumento da taxa de mortalidade de indivíduos, sendo evitada com a realização de desbastes antecipados, com uma intensidade adequada à produtividade do sítio e velocidade de crescimento da espécie (LOUREIRO, 2013).

Em povoamentos florestais homogêneos, os indivíduos tendem a expandir suas copas tanto no sentido horizontal como vertical, obtendo uma maior absorção de energia solar à medida que se desenvolvem.

Dessa forma, em um povoamento a competição entre os indivíduos aumenta com a idade, promovendo a dominação de árvores e morte de outras, o que é estabelecido como autodesbaste (BURKHARD; TOMÉ, 2012; MIRANDA, 2016; TÉO et al., 2007).

Segundo Schneider e Schneider (2008), a densidade que induz a mortalidade ou ao autodesbaste é o resultado da competição por água, luz e

nutrientes entre os indivíduos do povoamento. Por isso, como regra geral, o autodesbaste promove um transtorno representado pelo decréscimo exponencial da densidade, e promove o incremento do tamanho dos indivíduos remanescente no povoamento.

A associação existente entre o aumento em diâmetro das árvores e o espaço vital disponível para o crescimento que, por sua vez, está estreitamente ligado com a densidade do povoamento, preconizou inúmeras pesquisas sobre a densidade que colaboraram no entendimento dessas relações.

As pesquisas que se destacam sobre a relação entre o tamanho e o número de árvores em povoamentos florestais são: o método de percentagem da altura de Wilson (1946); a regra do D-máximo de Mitchell (1943); a lei do autodesbaste de Yoda et al. (1963); o modelo de autodesbaste de Tang, Meng e Meng (1994) e o índice de densidade de Reineke (1933), que tem sido muito estudado ao longo do tempo, para várias espécies.

O índice de densidade de povoamento (*IDP*), proposto por Reineke (1933), foi elaborado por meio de investigações em povoamentos florestais, sendo um dos pioneiros no estudo do tema. O autor, estudando dados de inventário florestal de 14 espécies, sendo 13 coníferas, observou que a curva a qual representava a densidade máxima de plantas (N), para todos os diâmetros quadráticos médios (Dg), era fortemente inclinada em menores Dg , suavizando a inclinação com o aumento da dimensão radial das plantas (POSSATO et al., 2016).

Segundo Reineke (1933), o índice de densidade do povoamento (*IDP*) corresponde à relação entre o número de árvores observadas no povoamento e o de um povoamento normal, porém, ambos com igual diâmetro médio. Em outras palavras, este é o número de árvores por unidade de área que um povoamento pode ter para alcançar um diâmetro médio fixado convencionalmente com o objetivo, dessa forma são gerados índices de densidade do povoamento, com

limites paralelos, para diferentes níveis de densidade de árvores por unidade de área.

O índice de densidade do povoamento de Reineke, possui características como: simplicidade, ser livre de correlação com a idade e índice de sítio e possui aplicabilidade geral.

A relação entre o número de árvores por área (N) e o diâmetro médio quadrático (Dg), em formulação logarítmica, foi caracterizada por uma reta com inclinação negativa, possuindo valor de inclinação em qualquer situação, entretanto o intercepto é variável por espécie (EQUAÇÃO 1).

$$\ln(N) = \ln(k) - 1,6 * \ln(Dg) \quad (1)$$

Sendo, N é o número de árvores por hectare; Dg é o diâmetro quadrático médio; \ln é o logaritmo natural; $-1,6$ é o valor constante da relação da máxima densidade; k é o parâmetro associado à espécie.

Segundo Schneider et al. (2015), o índice de densidade traduz uma relação entre o diâmetro médio quadrático das árvores e o seu número de árvores por área (N), sendo linear numa escala de duplo logaritmo.

Reineke afirma que o IDP consiste no número máximo de árvores por unidade de área quando o Dg do povoamento é igual a 10 polegadas ou 25 cm aproximadamente (POSSATO, 2014). Estabelecendo o valor de IDP de um determinado povoamento é possível aplicar essa informação, para determinar o valor condizente da densidade no povoamento (EQUAÇÃO 2).

$$IDP = N * \left(\frac{25}{Dg}\right)^{1,6} \quad (2)$$

O que deve ser considerado na determinação do índice de densidade está relacionado com a escolha da base de dados para ajuste do modelo. Segundo Reineke (1933), os dados devem ser obtidos de povoamentos totalmente estocados. Sendo assim, o povoamento deve estar em competição máxima para que, por meio do ajuste, o valor de inclinação seja igual a -1,6 sugerido pelo autor.

2.4 Influência Hídrica em Povoamentos Florestais

A hidrologia florestal trata do movimento da água em ambientes de floresta, sejam naturais ou de plantações de espécies de crescimento rápido. Nesses ambientes, o balanço da água depende da precipitação, da interceptação de água pelo dossel, do escoamento lateral e em profundidade e da evapotranspiração (ALMEIDA; SOARES, 2003).

A floresta tem papel fundamental no recebimento das chuvas pelas copas das árvores, onde ocorre o primeiro fracionamento da água, dessa forma, uma parte é temporariamente retida pela massa vegetal e posteriormente evaporada para atmosfera, sendo denominado de interceptação. As outras partes alcançam o piso por gotejamento ou precipitação interna e como fluxo escoado pelo tronco das árvores (ARCOVA; CICCO; ROCHA, 2003).

Segundo Balbinot et al. (2008), a soma desses fluxos que adentram no dossel da floresta é denominada de precipitação efetiva, sendo responsável pela água do solo, absorção através das raízes, transpiração das plantas e pelo abastecimento dos rios.

A interceptação das chuvas pela vegetação varia de acordo com as condições climáticas, intensidade das chuvas, chuva antecedente, ventos e densidade e espécies dos vegetais (TUCCI, 2002). A floresta tem tendência para interceptar mais água do que em áreas de pastagem ou cultivo agrícola, dessa

forma, a menor modificação na vegetação influenciará no volume da água de interceptação devolvida para a atmosfera.

Para a hidrologia, a precipitação representa toda a água advinda do meio atmosférico que atinge a superfície terrestre. A neblina, chuva, granizo, saraiva, orvalho, geada e neve são formas diferentes de precipitação, sendo diferenciadas pelo o estado físico em que a água se encontra. As características principais da precipitação estão na intensidade, duração e frequência temporal e espacial. O total precipitado não tem relevância se não estiver ligado a uma duração (BETONI; TUCCI, 2007).

Segundo Lima (2008), a interceptação da chuva pela cobertura vegetal é uma componente de grande importância do ciclo hidrológico, variando de acordo com o aspecto morfológico das florestas (idade, copa, arquitetura) ou outro tipo de vegetação. O autor ainda destaca que eventos com pouco precipitação, cerca de 5 mm, quase toda a água será retida pelas copas e evaporada diretamente.

A interceptação da chuva pela cobertura florestal pode ser quantificada, por meio da equação da continuidade do sistema de interceptação (EQUAÇÃO 3) (LIMA, 1976; TUCCI, 2007).

$$I = PA - (Pi + EsT) \quad (3)$$

Sendo, I a precipitação interceptada, PA é a precipitação em área aberta, Pi é a precipitação interna, que adentra a vegetação e EsT , o escoamento pelo tronco.

Segundo Arcova, Cicco e Rocha (2003), a precipitação interna é a precipitação que atinge o piso florestal, incluindo gotas que passam diretamente pelas aberturas existentes entre as copas e gotas que respingam do dossel.

A precipitação interna tem sido medida com uma variedade de dispositivos, de diversos tamanhos, com calhas de vários tamanhos, coletor plástico e padrão de medição de chuva. E a sua estimativa exata é geralmente muito difícil, pois a precipitação interna é muito variável no interior das florestas e outra cultura (CONSENSA, 2012).

Um outro percentual da precipitação efetiva que pode atingir o solo é através do escoamento pelo tronco, tendo importância no ciclo hidrológico por ser eficiente na reposição de água no solo, pois chega à superfície com baixa velocidade e se direciona próximo às raízes o que reduz o escoamento superficial. Essa água infiltra mais facilmente no solo e favorece o reabastecimento do lençol freático (OLIVEIRA et al., 2008).

Segundo Consensa (2012), o escoamento do tronco é uma medida muitas vezes desprezada por alguns autores, por expressar pequenos percentuais, com de 1 a 5% do total precipitado.

As florestas apresentam alta variabilidade na precipitação interna, em decorrência da sua estrutura. Por essa razão, muitas leituras da precipitação interna são necessárias para compreender a interceptação em floresta, pois a maior quantidade de água registrada em alguns pluviômetros é decorrente de fluxo de água concentrado em pontos de inflexão de ramos (LIMA, 1976).

Segundo Facco (2008), o monitoramento da interceptação é bastante complexo, além disso, os pesquisadores não têm padronizado o tipo de medidores utilizados e os estudos ainda não estabeleceram o número de medidores necessários para a amostragem da precipitação interna.

Lima (1976), em estudo em floresta de *Pinus caribaea* var. *caribaea*, concluiu que a interceptação média de chuva foi 6,6%.

Arcova, Cicco e Rocha (2003), em estudo numa floresta de Mata Atlântica concluíram que os índices de interceptação florestal variam de acordo

com as variações pluviométricas, obtiveram índices de interceptação de 16% a 26%.

Melo Neto (2016), estudando a precipitação interna em plantio de eucalipto no sul de Minas Gérias, percebeu um aumento gradual da precipitação interna, no momento em que aumentava o espaçamento entre as plantas. Atingindo uma diferença de até 10,4% entre o menor e o maior espaçamento observado.

2.5 Relação de Variáveis Climáticas e Inventário Florestal

Em decorrência da importância econômica, é fundamental o monitoramento periódico por meio de técnicas que registram de forma eficiente as mudanças nas florestas ao longo do tempo. Essas técnicas consistem em amostragem da floresta por meio de parcelas permanentes de uma determinada área.

O Inventário Florestal Contínuo (IFC) viabiliza informações sobre estoque e crescimento anual. Esse inventário é tradicionalmente realizado em plantios comerciais no Brasil (MELLO et al., 2009).

O crescimento das árvores depende de fatores como a disponibilidade dos recursos ambientais (temperatura, precipitação, vento e nutrientes), espaços físicos, edáficos, topográficos e fatores de competição pela influência de outras espécies (POORTER; BONGERS, 1993).

Segundo Binkley et al. (2010), as taxas de abastecimento de recursos (luz, água e nutrientes) que são disponíveis para árvores, diferem tipicamente entre árvores com o passar do tempo causado pela concorrência com outras e as condições ambientais e climáticas. O mesmo autor ainda afirma que, ao longo da última década ficou claro que a mudança na eficiência do uso de recursos levou em conta a mudança do crescimento das árvores e dos povoamentos.

Segundo Campoe et al. (2016), a variabilidade meteorológica, ao longo dos anos, tem afetado a disponibilidade de recursos (luz, água e nutrientes) para as árvores impactando significativamente no crescimento e desenvolvimento dos indivíduos.

Estudos realizados em ecossistemas florestais plantados mostraram diferença no crescimento das árvores, em diferentes condições espaciais e escalas temporais com variações meteorológicas (CRISTIANO et al., 2014; KING et al., 2013; URRUTIA-JALABERT et al., 2015).

A crescente necessidade de gerar dados mais precisos a respeito do crescimento das florestas trouxe novas metodologias para complementar o inventário florestal tradicional e os modelos de crescimento e produção (SCOLFORO et al., 2013).

A possível correlação significativa entre as variáveis climáticas com os dados dendrométricos permitem uma melhor interpretação do comportamento florestal e como as mudanças climáticas influenciam no seu incremento e na sua produtividade da floresta (WEISKITTEL et al., 2011).

Nesse contexto, é interessante utilizar métodos de aproveitamento dos recursos de maneira mais eficiente. Esse fato sugere que o estabelecimento de um vínculo via modelagem, entre variáveis climáticas e dados do povoamento florestal, traduz uma melhoria para as estimativas volumétricas.

Os plantios florestais no Brasil, sendo eles para restauração ou produção madeireira, são muito produtivos, principalmente, em razão das condições climáticas favoráveis (FEREZ et al., 2015; GONÇALVES et al., 2013; STAPE et al., 2010; VENEGAS-GONZÁLEZ et al., 2016). Sendo assim, entende-se que o papel da sazonalidade climática no crescimento das árvores é de manter os níveis atuais de produtividade e prever potenciais impactos de futuros cenários ambientais.

As plantações comerciais de eucalipto podem aumentar a produção de madeira, em decorrência do aumento de gradientes climáticos (STAPE et al., 2010). Ferraz-Filho et al. (2011) e Scolforo et al. (2013) estudando *Eucalyptus grandis* no sul da Bahia, mostraram que a combinação de modelos descritivos com variáveis climáticas facilita a aplicação e compreensão da modelagem florestal. Dessa forma, modelos descritivos têm sido usados para descrever os padrões de crescimento e produção para o manejo florestal.

Nas últimas décadas, mudanças vêm acontecendo na determinação dos estimadores da produção e, dentre as mudanças analisadas, figura a necessidade de se alcançar relações cada vez mais eficientes na representação da realidade, o que tem incentivado inúmeras tentativas de inclusão de fatores ambientais, como climáticos e edáficos combinados aos fatores biológicos em modelos de crescimento e produção.

As árvores que crescem em condições climáticas com uma disponibilidade limitada de água são mais afetadas pela quantidade e distribuição das chuvas e déficit de pressão de vapor (ROWLAND et al., 2014), enquanto as árvores que crescem em altas latitudes ou altitudes e não secas são mais afetadas pela variação na temperatura do ar (BOISVENUE; RUNNING, 2006; SPANNER et al., 1990).

Em alguns estudos, a variação climática interanual também tem impacto no desenvolvimento do cultivo brasileiro de eucalipto (STAPE; BINKLEY; RYAN, 2004). Isso é constatado no estudo de Ferreira (2009), que confirmou que as variáveis ambientais, tais como: excedente hídrico, precipitação, temperatura média e déficit de pressão de vapor, foram as mais representativas no crescimento do eucalipto.

2.6 Análise da Distribuição Espacial e Geoestatística

A partir da década de 50, com as pesquisas em minas de ouro por Daniel Krige, iniciou-se a teoria geoestatística. Krige (1951), entendeu que as variâncias obtidas pela estatística clássica não faziam sentido se não se considerasse a distância entre os locais onde foram observadas as amostras. Anos depois, Matheron (1963), definia a teoria das variáveis regionalizadas, assumindo a presença de dependência espacial entre variáveis, ou seja, existe correlação dos valores das variáveis em função da distância das mesmas. Isso difere da estatística clássica que supõe independência espacial entre as variáveis (MELLO, 2004).

A geoestatística pressupõe estimativas dentro de um contexto controlado por um fenômeno natural com distribuição no espaço e, sendo assim, sugere que os valores das variáveis, apontadas como regionalizadas, sejam espacialmente correlacionados (DINIZ, 2007; LANDIM; STURARO, 2002).

Segundo Mello (2004), a teoria das variáveis regionalizadas presume que cada dado é modelado como uma variável aleatória, que pode ser expressa pela soma de três componentes: componente estrutural associado a um valor médio constante ou a uma tendência constante; um componente aleatório espacialmente correlacionado e um erro aleatório.

De acordo com as pesquisas de aplicação da geoestatística, para o estudo do comportamento das variáveis regionalizadas, duas análises dos métodos geoestatístico são fundamentais: o semivariograma e a krigagem (YAMAMOTO; LANDIM, 2013).

A medida de dispersão dos dados em torno da média na estatística clássica é realizada pela variância. Na geoestatística a variância das variáveis regionalizadas é caracterizada pela semivariância. O gráfico da semivariância

em função da distância dos valores observados é conhecido com semivariograma ou variograma (DUARTE, 2000; ISAACS; SRIVASTAVA, 1989).

Segundo Mello et al. (2005), o semivariograma é o método geoestatístico para identificar a presença de correlação espacial entre as unidades amostradas. O variograma possui parâmetros que auxiliam na descrição da dependência espacial: o efeito pepita, patamar e o alcance. Esses parâmetros permitem ajustar um modelo empírico de semivariograma a um semivariograma teórico utilizado para modelar a autocorrelação em função da distância (KOZAR; LAWRENCE; LONG, 2002).

O estimador geoestatístico denominado de Krigagem, faz uso de propriedades estatísticas e estimativas da disposição espacial dos pontos amostrados para estimativa do ponto de desejo. Dessa forma, utiliza-se de informações do semivariograma para encontrar valores ótimos das variáveis e serem associados às amostras para estimar um ponto ou uma área de interesse (DINIZ, 2007; ISAACS; SRIVASTAVA, 1989; LANDIM; STURARO, 2002; MELLO, 2004).

Ainda que a geoestatística tenha sido originada com pesquisas minerais e em ciência do solo. Atualmente, essa metodologia está sendo inserida no ramo agroflorestal.

Como exemplo, os trabalhos de Mello (2004), avaliando a estrutura espacial de quatro características dendrométricas em povoamentos de *Eucalyptus grandis*. Kanegae Junior (2004), analisando a eficiência do uso da krigagem e do inverso da distância como estratificadores em plantios clonais de eucalipto. Diniz (2007), verificando a continuidade espacial do número de fustes e do volume em diferentes formas e intensidades amostrais de *Eucalyptus grandis*. Acerbi Júnior et al. (2015) utilizaram dos parâmetros dos semivariogramas para detectar mudanças na estrutura espacial após desmatamento no cerrado brasileiro, estado de Minas Gerais.

Outra importante atuação da geoestatística é o estudo da descrição espacial da precipitação pluvial em povoamentos florestais.

A redistribuição da precipitação a partir do dossel tem sua variabilidade afetada por fatores bióticos e abióticos. Os fatores bióticos estão representados pela arquitetura do dossel, do formato da folha, da geometria da copa e da capacidade de armazenamento (LEVIA JUNIOR; FROST, 2006).

Os abióticos caracterizam pelas condições da precipitação, sua intensidade, duração, volume e pelas taxas de evaporação e vento (STEALENS et al., 2008).

Segundo Kato et al. (2013), a interceptação da precipitação pluvial pelo dossel provoca variabilidade na distribuição espacial da precipitação interna. Alguns trabalhos fizeram uso dos conceitos geoestatístico para compreender a variabilidade espacial da precipitação interna em povoamentos florestas, com base em análise de dependência espacial em amostras (FARIAS; FRANCISCO; SENNA, 2017; GERRITS; PFISTER; SAVENIJE, 2010; GÓMEZ et al., 2002; MELO NETO, 2016).

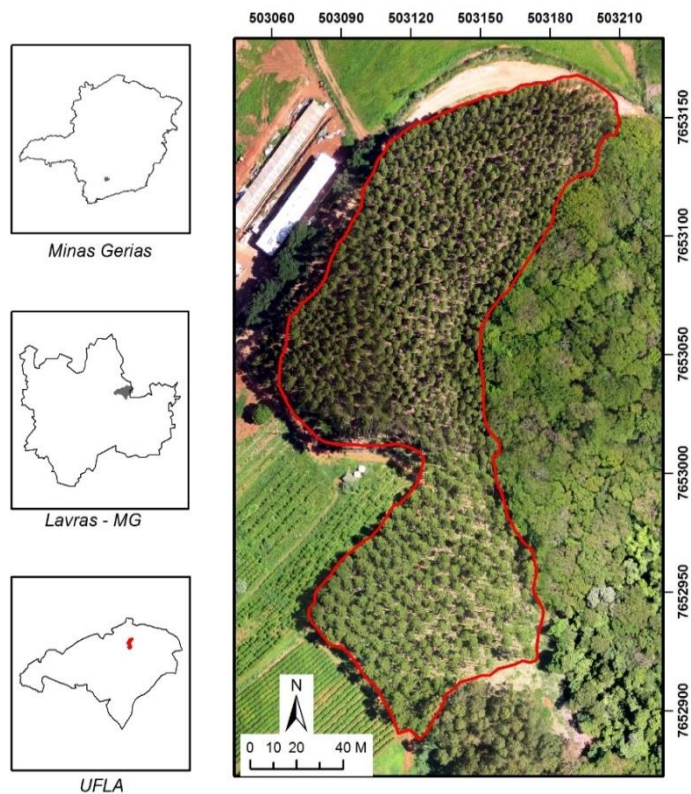
Segundo Silva et al. (2012), para compreender os padrões espaciais em comunidades é importante avaliar propriedades espaciais e temporais e correlacioná-las a processos como crescimento, reprodução, competição e mortalidade.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área de estudo

A área de estudo está localizada na cidade de Lavras - MG, entre as coordenadas $44^{\circ}58'12,178''\text{W}$ e $21^{\circ}13'25,892''\text{S}$. Corresponde a um povoamento de eucalipto clonal, instalado na área experimental do Laboratório de Estudos e Projetos em Manejo Florestal (LEMAF) no campus da Universidade Federal de Lavras (FIGURA 1).

Figura 1 - Localização geográfica da área de estudo.

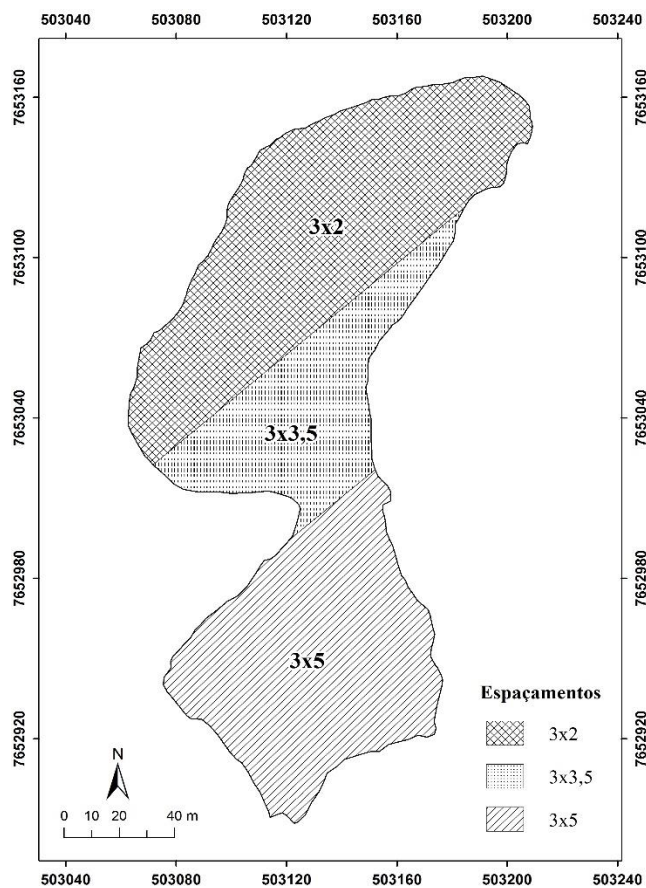


Fonte: Do autor (2018).

O experimento foi implantado em janeiro de 2004, com mudas do clone híbrido *Eucalyptus urograndis*. Porém, em decorrência dos fortes ventos, no ano seguinte à implantação, o experimento foi danificado, sendo reestruturado e replantado em 2006. Portanto, hoje se encontra com 12 anos e ocupa uma área de 1,95 hectares.

Os indivíduos, no povoamento em estudo, foram distribuídos em três espaçamentos com diferentes áreas: 3x2 (7646,76 m²), 3x3,5 (5504,52 m²) e 3x5 (6348,72 m²), entre linhas e entre plantas (FIGURA 2).

Figura 2 - Divisão dos espaçamentos na área de estudo.



Fonte: Do autor (2018).

A adubação do plantio foi realizada com o formulado de NPK (8:28:16), aplicando 90g de adubo por planta em cova lateral a 15 cm da muda e 10 cm de profundidade, acrescido de 0,3 % de cobre e 0,7 % de zinco, utilizando um total de 387 kg de adubo.

O município de Lavras apresenta uma transição entre o tipo Cwa e Cwb, conforme a classificação climática de Köppen com inverno seco e verão chuvoso e a temperatura média anual está em torno de 20,3 °C. A precipitação anual é de 1.462 mm, evaporação total do ano igual a 1.184 mm e a umidade relativa média anual de 73,1 %, de acordo com as normais climatológicas do Brasil (1981 - 2010).

3.2 Base de dados

Os dados utilizados no presente estudo foram obtidos do Inventário Florestal Contínuo (IFC), dos registros hidrometeorológicos da Estação Climatológica Principal de Lavras-MG, situada no campus da Universidade Federal de Lavras, em convênio com o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), além de dados provenientes de uma estação meteorológica instalada no centro da área de estudo e, por fim, das coletas de água da chuva oriundas das precipitações incidentes que ocorreram ao longo do período de análise.

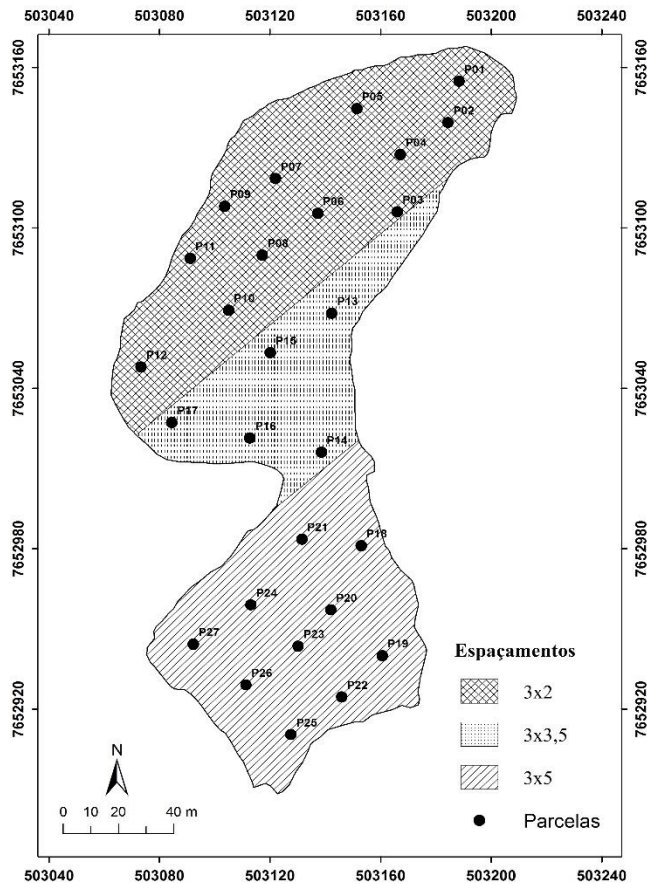
3.2.1 Dados dendrométricos

Os dados dendrométricos foram adquiridos a partir do Inventário Florestal Contínuo (IFC). As medições tiveram início a partir dos dois anos de idade, no ano de 2008, dando continuidade nos anos de 2010, 2013, 2015 e 2017 obtendo um total de 5 medições. Foi realizado o censo na área, retratando a situação real do povoamento em estudo e também a alocação de 27 parcelas

retangulares virtuais de 15 metros de comprimento por 10 de largura, obtendo uma área de 150 m². O tamanho reduzido das parcelas é decorrente da pequena área do povoamento, necessitando diminuir o tamanho das parcelas para aumentar a intensidade amostral na área (FIGURA 3).

As parcelas serviram para confrontar dados dendrométricos com variáveis hidrológicas obtidas na área e avaliar a densidade do povoamento ao longo dos anos.

Figura 3 - Alocação das 27 parcelas, nos diferentes espaçamentos na área de estudo.



Fonte: Do autor (2018).

Em todo o povoamento foi mensurada a circunferência à altura do peito (CAP), medida a 1,30 m do solo de todas as árvores. Nas parcelas, além do CAP foram medidas as alturas totais das cinco primeiras árvores e a altura total das árvores dominantes, segundo o conceito de Assmann (1970).

Os valores de altura total para todos os indivíduos do povoamento foram estimados a partir de relações hipsométricas entre a altura e o diâmetro, obtidas em função do ajuste do modelo não linear de Chapman-Richards (EQUAÇÃO 4), que possui pressuposições biológicas em relação ao crescimento de árvores (CAMPOS; LEITE, 2002; OLIVEIRA et al., 2015).

$$H_t = 52,0982 * (1 - e^{-0,0516 * Dap})^{1,9382} + \varepsilon_i \quad (4)$$

Em que: H_t = altura da *i*-ésima árvore estimada (m); Dap = diâmetro a 1,30 m do solo da *i*-ésima árvore (cm); ε_i = erro aleatório.

Para estimativa do volume individual de árvores, foi utilizado o modelo não linear proposto por Melo (2014) e Schumacher e Hall (1933), de acordo com a (EQUAÇÃO 5).

$$V_i = 0,00002523 * Dap^{1,613} * H_t^{1,448} + \varepsilon_i \quad (5)$$

Em que: V_i = volume estimado para *i*-ésima árvore (m³); Dap = diâmetro a 1,30 m do solo da *i*-ésima árvore (cm); H_t = altura total da *i*-ésima árvore (m); ε_i = erro aleatório.

Os modelos ajustados tiveram sua precisão avaliada, por meio do erro padrão residual S_{yx} (EQUAÇÃO 6) e percentual $S_{yx}\%$ (EQUAÇÃO 7).

$$S_{yx} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y - \hat{Y})^2}{n - p}} \quad (6)$$

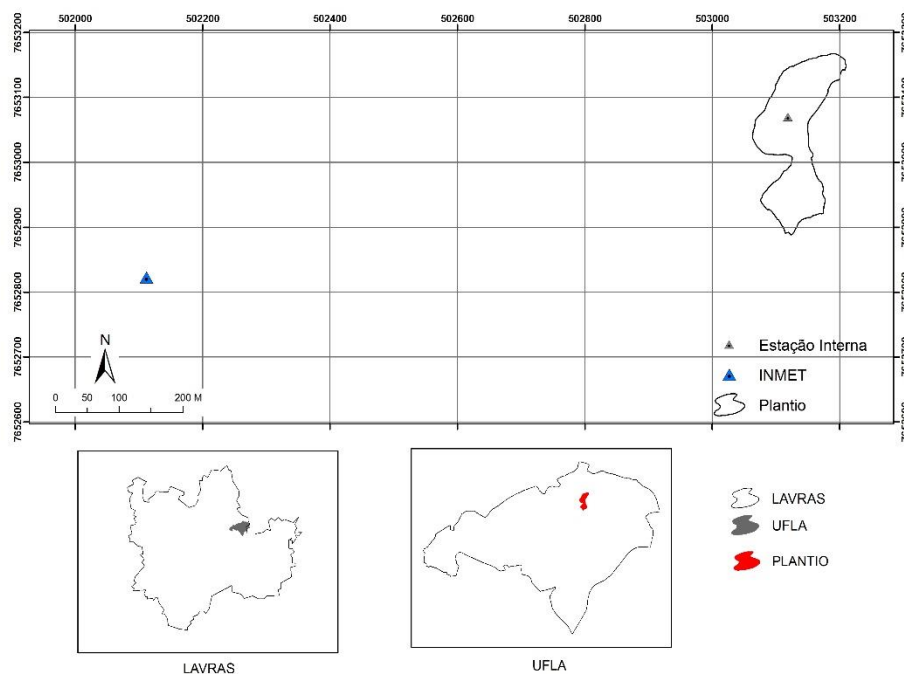
$$S_{yx} \% = \frac{S_{yx}}{\bar{Y}} * 100 \quad (7)$$

Em que: S_{yx} = erro padrão residual; $S_{yx} \%$ = erro padrão percentual; Y = valor observado da variável dependente; \hat{Y} = valor estimado da variável dependente; n = número de dados utilizados no ajuste; p = número de variáveis independentes.

3.2.2 Dados meteorológicos

O monitoramento das variáveis meteorológicas foi conduzido por duas estações. Para as informações externas foram usados os dados da estação do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) instalado no campus da UFLA, ao passo que, para identificar os efeitos das variáveis meteorológicas no povoamento de eucalipto, foi instalada uma estação no interior da área plantada (FIGURA 4).

Figura 4 - Localização das estações meteorológicas.



Fonte: Do autor (2018).

O período de monitoramento das variáveis meteorológicas na estação do INMET foi de 01 de março de 2006 a 31 de outubro de 2017, contendo informações desde o plantio até a idade atual do povoamento. Nessa estação, os dados obtidos foram de temperatura mínima, média e máxima do ar, umidade relativa do ar, precipitação total mensal e evapotranspiração potencial (ETp) sendo obtida pelo método de Thornthwaite e Mather (1955).

No caso da estação instalada no interior do povoamento, o monitoramento teve início no dia 01 de novembro de 2013 a 31 de outubro de 2017, compreendendo quatro anos hidrológicos (2013/2014; 2014/2015; 2015/2016; 2016/2017). As informações extraídas foram de temperatura mínima, média e máxima do ar e umidade relativa do ar.

Os dados das estações foram tabulados e analisados em escala mensal e, posteriormente, em média anual ou acumulado do ano, no caso da precipitação e evapotranspiração (TABELA 1).

Tabela 1 - Dados hidrometeorológicos adquiridos da estação do INMET e suas unidades de medições e métodos de análise em escala anual.

Dados Hidrometeorológicos	Unidade	Método de análise
Temperatura mínima	°C	Média
Temperatura média	°C	Média
Temperatura máxima	°C	Média
Umidade Relativa (UR)	%	Média
Precipitação Pluviométrica	mm.mês ⁻¹	Soma
Evapotranspiração potencial	mm.mês ⁻¹	Soma

Fonte: Do autor (2018).

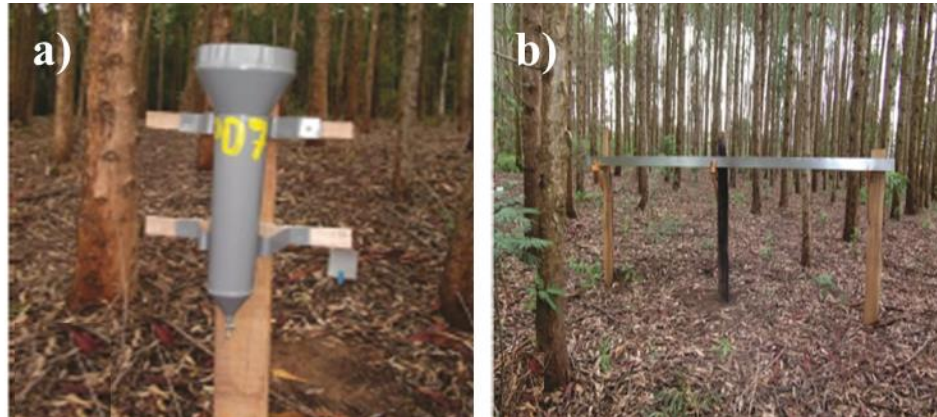
Com o intuito de analisar o comportamento do dossel florestal e como ele exerce influência sobre o microclima da área florestada, foram confrontados os dados meteorológicos internos e externos ao povoamento.

As informações climáticas verificadas neste trabalho foram correlacionadas aos dados da última normal climatológica (1981 a 2010) de acordo com Diniz, Ramos e Rebello (2018).

3.2.3 Dados hidrológicos

Para analisar o comportamento da precipitação incidente no povoamento, foram instalados 30 pluviômetros do tipo “*Ville de Paris*” (FIGURA 5a) e 7 do tipo calha (FIGURA 5b), distribuídos espacialmente na área de estudo. Além de uma estação meteorológica instalada no centro do povoamento.

Figura 5 - Pluviômetros para coleta da precipitação no povoamento: a) Pluviômetro do tipo “*Ville de Paris*” e b) tipo calha.

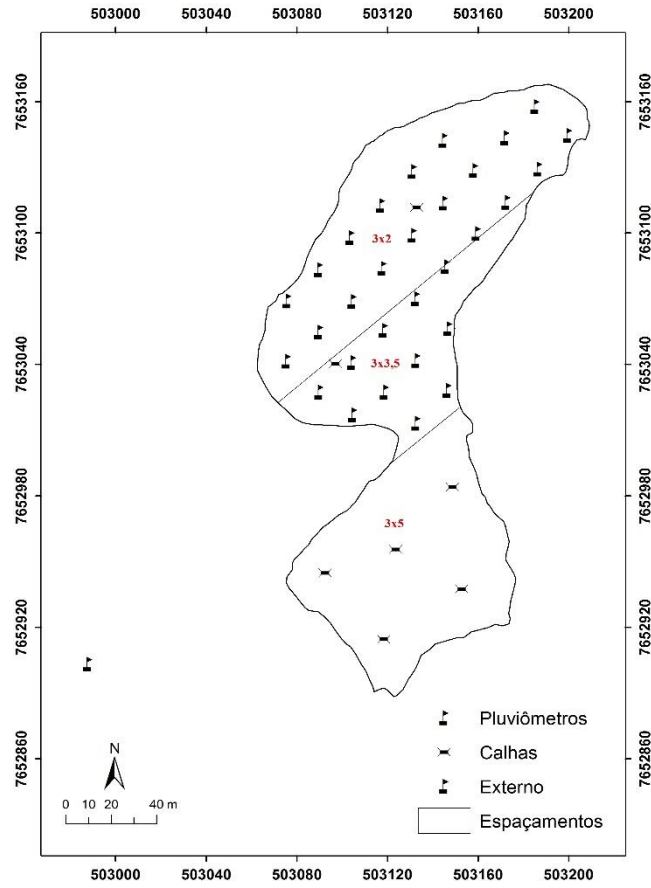


Fonte: Melo Neto (2016).

Os pluviômetros “*Ville de Paris*” foram instalados com um arranjo retangular no interior do povoamento próximo as árvores com diâmetro representativo no povoamento, espaçados com uma distância de 20 metros aproximadamente (FIGURA 6).

Além disso, foi instalado um pluviômetro “*Ville de Paris*” a 150 metros do povoamento, em área aberta sem obstáculos para uma aquisição mais apurada da precipitação incidente sobre o povoamento (FIGURA 7).

Figura 6 - Distribuição espacial dos pluviômetros “Ville de Paris” e Calhas na área de estudo e localização do pluviômetro externo ao povoamento.



Fonte: Do autor (2018).

Figura 7 - Pluviômetro “Ville de Paris” instalado em local aberto a 150 m do povoamento.



Fonte: Do autor (2018).

A aquisição dos dados de precipitação interna sempre era realizada após a ocorrência do fenômeno da chuva. A maior parte das coletas foi efetuada no período da manhã exceto em condições de chuva. Nesse caso, se realizava no período da tarde, após um prazo mínimo de duas horas, em razão da necessidade do escoamento total do dossel.

Conforme metodologia utilizada por Melo Neto (2016), os dados foram apurados em escala média mensal, anual (2013/2014; 2014/2015; 2015/2016; 2016/2017), analisando cada ano hidrológico e sazonal, discriminando os períodos chuvosos e secos de cada ano. O volume precipitado e coletado pelos pluviômetros e calhas foram transformados para lâmina precipitada interna através da Equação 8.

$$h_{pi} = \left(\frac{V}{A}\right) * 10 \quad (8)$$

Sendo: h_{pi} = lâmina observada no dia da coleta (mm); V = volume coletado (ml); A = área do coletor (cm^2).

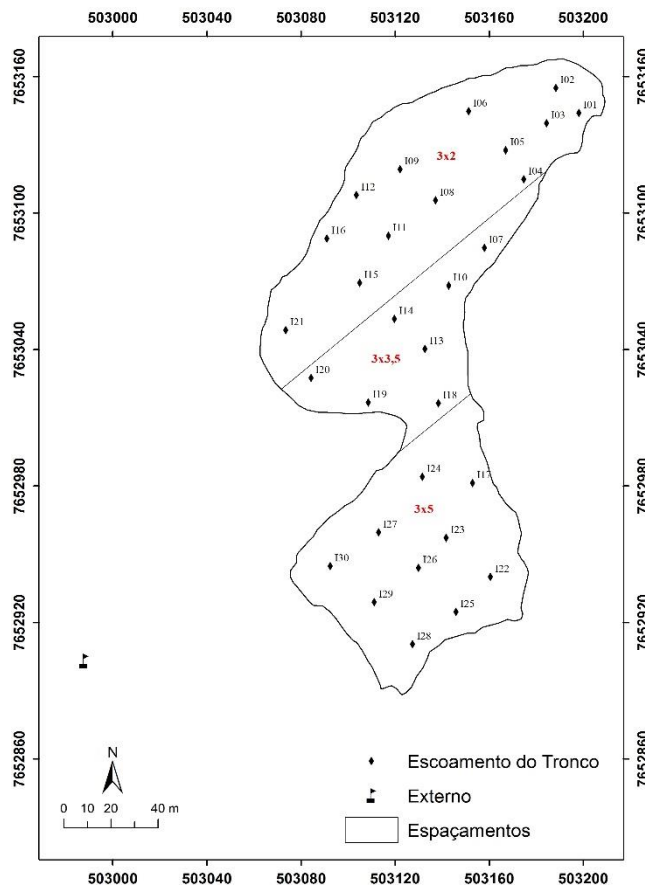
Para análise e caracterização do escoamento do tronco no povoamento (FIGURA 8), foram instalados coletores nas 30 árvores estipuladas como representativas da área, conforme a classificação diamétrica realizada, a partir do inventário florestal do ano de 2013 (TABELA 2).

Tabela 2 - Número de coletores de escoamento no tronco em relação à distribuição das classes de diâmetro no povoamento.

Classes	Limites (cm)		Coletores
	Inferior	Superior	
C01	2,5	7,5	1
C02	7,5	12,5	4
C03	12,5	17,5	5
C04	17,5	22,5	9
C05	22,5	27,5	7
C06	27,5	32,5	3
C07	32,5	37,5	1

Fonte: Melo Neto (2016).

Figura 8 - Distribuição espacial dos coletores do Escoamento do Tronco.



Fonte: Do autor (2018).

O sistema de coleta é formado por uma mangueira de captação e um balde de armazenamento. A mangueira, cuja função é captar a água que é drenada pela árvore é fixada em espiral no tronco e vedada com silicone impedindo que haja vazamento, com intuito de captar todo o volume de água escoado da copa pelo fuste.

A mangueira de polipropileno é moldável e direcionada para o balde fixo e fechado com capacidade de 65 litros, onde a água escoada por gravidade

fica armazenada até a sua medição, que é realizada juntamente com as medições da precipitação interna (FIGURA 9).

As leituras do volume escoado e do volume precipitado foram realizadas com auxílio de uma proveta graduada.

Figura 9 - Sistema de coleta do escoamento do tronco, mangueira fixada em espiral no tronco e balde coletor.



Fonte: Melo Neto (2016).

O volume de água escoado pelo tronco é transformado em lâmina escoada, através da Equação 9.

$$h_{EST} = \left(\frac{V}{A} \right) \quad (9)$$

Sendo: h_{EST} = lâmina escoada pelo tronco (mm); V = volume coletado e armazenado no balde em litros; A = Área da copa da árvore em m^2 .

Dessa forma, como proposto por Shinzato et al. (2011), a área da copa foi obtida pela projeção vertical da copa da árvore no solo. Para isso, seccionou-se a projeção em oito triângulos com ângulos de 45° entre si, a partir do centro do tronco até a extremidade da projeção da copa.

O cálculo da área de copa de cada árvore foi realizado pela Equação 10.

$$A = \sum_i^8 (a * b * \text{sen } 45^\circ) / 2 \quad (10)$$

Sendo: A = somatório das áreas de cada secção da copa (m^2); a e b = representam os comprimentos em metros de duas secções em ângulo de 45° entre si.

Para a determinação da quantidade de água interceptada pela copa foi obtida a precipitação total incidente no povoamento, a precipitação interna e o escoamento do tronco, pois o processo de interceptação é analisado por meio da drenagem da precipitação.

A quantificação da precipitação interceptada pela copa do eucalipto, foi então alcançada pela subtração da precipitação em área aberta (PA), ou seja, precipitação incidente, pelo valor de água que atinge a superfície do solo como precipitação efetiva (PE), por meio da Equação 11.

$$I = PA - PE \quad (11)$$

Em que: I = perda por interceptação (mm); PA = precipitação incidente em área aberta (mm); PE = precipitação efetiva (mm).

A precipitação efetiva foi obtida pelo somatório da precipitação interna (PI) e do escoamento do tronco (EsT), através da Equação 12.

$$PE = PI + EsT \quad (12)$$

Em que: PI = precipitação interna (mm); EsT = volume escoado pelo tronco (mm).

3.3 Determinação da densidade do povoamento

O estudo sobre a densidade dos povoamentos florestais é baseado por uma relação natural entre o aumento em diâmetro das árvores e o seu espaço disponível para o crescimento. O índice de densidade do povoamento (IDP), apresentado por Reineke (1933), esclarece bem essa relação, por meio de uma junção entre o número de árvores por unidade de área (N) e o diâmetro quadrático médio (Dg).

Dessa forma, foram escolhidas 27 parcelas com área de 150 m² pertencentes à base de dados do inventário florestal com 5 medições (TABELA 3).

Tabela 3 - Dados provenientes do inventário no povoamento.

	N/ha	Dg (cm)	Idade	Parcelas
Mínimo	867	6,81	2,3	27
Médio	1504	17,76	6,9	
Máximo	2200	28,80	11,4	

Fonte: Do autor (2018).

A montagem dos dados para o ajuste do modelo de (*IDP*), é realizada com a seleção de parcelas distribuídas no povoamento em condições de elevada competição.

O índice de densidade do povoamento (*IDP*) foi gerado a partir do modelo de Reineke (1933) em formulação logarítmica e ajustado pela regressão linear (EQUAÇÃO 13).

$$\text{Ln}(N_i) = \beta_0 + \beta_1 \text{Ln}(Dg_i) + \varepsilon_i \quad (13)$$

Sendo: Ln = logaritmo neperiano; N_i = nº de árvores por hectare; Dg = diâmetro quadrático médio (cm); β_0 = intercepto da reta; β_1 = inclinação da reta ε_i = erro aleatório da estimativa da *i-ésima* parcela.

O ajuste do modelo foi elaborado aplicando o método de quadrados mínimos ordinários, que permite o ajuste da linha média da dispersão dos dados.

Para determinar o *IDP* máximo do povoamento, foi preciso interferir manualmente no ajuste, pelo fato da reta ajustada condizer à média das parcelas em competição e não ao limite superior a elas.

Dessa forma, como proposto por Possato et al. (2016), o valor do intercepto ajustado pela regressão foi modificado de modo que a reta cruzasse pela parcela de maior densidade, considerando o par de dados N e Dg (EQUAÇÃO 14).

$$\beta_{IDP} = \text{Ln}(N_{pi}) - \beta_1 \text{Ln}(Dg_{pi}) \quad (14)$$

Sendo: β_{IDP} = parâmetro do intercepto modificado, relativo ao máximo *IDP*; β_1 = parâmetro relativo à inclinação da reta ajustada; N_{pi} e Dg_{pi} = valores de N e Dg referentes às parcelas de maior densidade, que provocou um maior valor de β_{IDP} .

Fundamentando-se ainda no conceito de Reineke (1933), para definição do *IDP* máximo do povoamento foi utilizado o *Dg* igual a 25 cm (EQUAÇÃO 15).

$$IDP = \exp(\beta_{IDP}) \cdot 25^{\beta_1} \quad (15)$$

Para a obtenção dos parâmetros iniciais da regressão linear, foi ajustado utilizando-se da função *lm* a partir do *software* R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2017).

O método de regressão linear, foi avaliado quanto ao ajuste por meio do cálculo do erro padrão residual (S_{yx}) e percentual ($S_{yx}\%$).

Outro elemento chave que intervém na dinâmica de um povoamento florestal é a mortalidade, portanto necessita-se de um maior cuidado em sua análise.

Em razão da sua natureza estocástica e de ocorrência eventual, a mortalidade caracteriza-se por ser um dos mais difíceis atributos analisados em modelos de crescimento (WEISKITTEL et al., 2011).

Ao longo da história, Reineke colaborou com seus estudos para o entendimento da mortalidade, que se inicia com a competição em povoamentos equiâneos.

Como critério de análise da mortalidade no povoamento, foi verificado o total de árvores vivas e mortas no povoamento e, por idade, distinguindo-se pelos espaçamentos existentes na área. Ainda foi explorado o percentual de sobrevivência e mortalidade por classe diamétrica e idade.

3.4 Análise espacial das variáveis dendrométricas e hidrológicas

A análise geoestatística foi aplicada para avaliar a dependência espacial das variáveis dendrométricas e hidrológicas ao longo dos anos de 2013, 2015 e

2017, período em que compreende o monitoramento da precipitação interna no povoamento florestal.

As variáveis dendrométricas foram obtidas das 27 parcelas de 150 m² instaladas no povoamento. Sendo utilizado para o estudo da dependência espacial o diâmetro médio, a área basal e volume total da parcela nos anos de medição.

A variável hidrológica foi obtida pela espacialização da precipitação interna em função do valor acumulado pelos pluviômetros em cada ano hidrológico monitorado (2013/2014; 2014/2015; 2015/2016; 2016/2017).

Com o intuito de entender o comportamento dos dados, para todas as variáveis em estudo, procedeu-se uma análise exploratória, determinando medidas de posição, dispersão e coeficiente de variação.

Foi verificada a tendência dos dados e a remoção quando existente, sendo nessa etapa avaliada a distribuição espacial dos pontos em função da latitude e longitude, por meio de gráficos de tendência. Procedeu-se uma avaliação da normalidade por histograma de frequência e verificação de dados discrepantes por meio de gráficos “*boxplot*”.

O estudo variográfico consistiu na geração de semivariogramas experimentais para cada ano de medição das variáveis dendrométricas e para cada ano hidrológico da precipitação interna (EQUAÇÃO 16).

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (16)$$

Sendo: $\gamma(h)$ = semivariância da variável $Z(x_i)$; h = vetor de distância euclidiana; e $N(h)$ = número de pares de pontos medidos $Z(x_i)$ e $Z(x_i + h)$, separados por uma distância h .

A análise espacial foi determinada pelo ajuste dos modelos, exponencial, esférico e gaussiano pelo método dos Mínimos Quadrados Ponderados (JOURNEL; HUIJBREGTS, 1978). Os três modelos mencionados exibem maior eficiência em estudos de variabilidade espacial de variáveis dendrométricas e hidrológicas, conforme a literatura (ÁVILA et al., 2010; GUEDES et al., 2015; MELLO et al., 2005; PELISSARI et al., 2014; REIS et al., 2016; VIOLA et al., 2010).

No ajuste dos modelos para os semivariogramas experimentais, definiram-se os parâmetros efeito pepita ou “*nugget*” (τ^2), contribuição ou “*partial sill*” (σ^2) e alcance ou “*range*” (ϕ). O grau de dependência espacial (DE) foi determinado pela razão entre a variância estrutural (σ^2) e o patamar ($\tau^2 + \sigma^2$), seguindo a classificação: Fraco até 25%; Moderado entre 25 e 75% e maior que 75% como Forte (CAMBARDELLA et al., 1994).

Para a verificação da qualidade do ajuste do semivariograma aos dados experimentais utilizou-se da validação cruzada, compondo-se em estimar os pontos observados com base no modelo de semivariograma ajustado. Dessa forma, permite comparar o valor estimado do real (REIS et al., 2015).

Conforme Mello et al. (2005), a comparação do erro ficou condicionada ao erro médio reduzido (EMR) e ao desvio padrão do erro reduzido (S_{ER}) considerando-se o melhor desempenho do modelo quando mais próximo de zero for o EMR e mais próximo de 1 o valor de S_{ER} (EQUAÇÕES 17 e 18).

$$EMR = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{Z(x_{i0}) - \hat{Z}(x_{i0})}{\sigma(x_{i0})} \quad (17)$$

$$S_{ER} = \sqrt{\frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n \left(\frac{Z(x_{i0}) - \hat{Z}(x_{i0})}{\sigma(x_{i0})} \right)^2} \quad (18)$$

Sendo: $Z(x_{i0})$ = valor observado no ponto $i0$; $\hat{Z}(x_{i0})$ = é o valor estimado para o ponto $i0$ e $\sigma(x_{i0})$ é o desvio padrão da krigagem no ponto $i0$.

Em todas as análises estatísticas utilizou-se o *software* R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2018), com o pacote *geoR* (RIBEIRO JÚNIOR; DIGLLE, 2001). Na fase de geração dos mapas de espacialização das variáveis dendrométricas e hidrológicas nos períodos em análise empregou-se o interpolador geoestatístico krigagem ordinária com base no melhor ajuste dos semivariogramas experimentais, trabalhando-se com o *software* ArcGIS, 10.5 (ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE - ESRI, 2018), fornecendo os parâmetros dos modelos do semivariograma que apresentaram melhor ajuste para cada evento hidrológico e para as variáveis dendrométricas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados do presente estudo serão apresentados a seguir em forma de tópicos, obedecendo a sequência dos objetivos específicos apresentados na introdução deste trabalho.

4.1 Comportamento hidrometeorológico no período de estudo

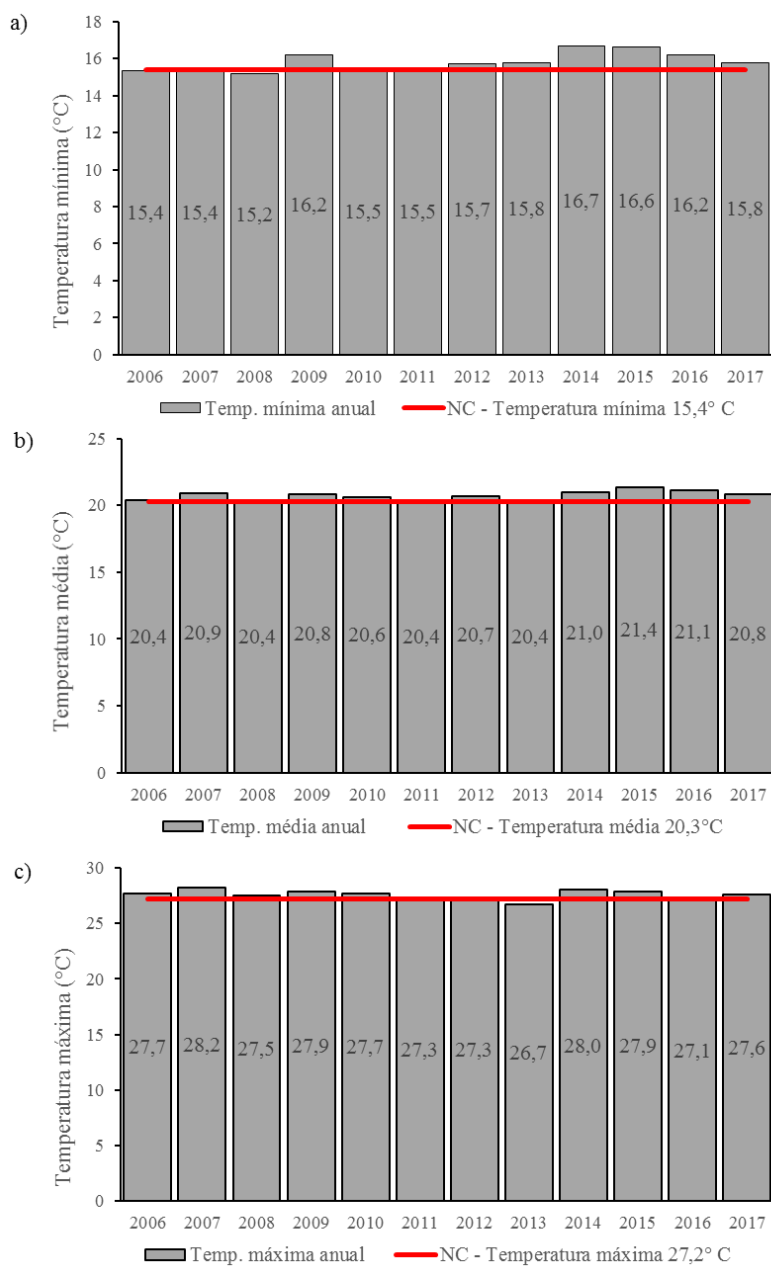
Mudanças no comportamento das variáveis climáticas, como temperatura e precipitação, têm influência direta em povoamentos florestais, sendo esses fatores climáticos os mais importantes no contexto de produtividade (STAPE et al., 2010).

Para um bom desenvolvimento de espécies de eucalipto, a faixa adequada de temperatura média anual varia entre 18 e 25° C, sendo que abaixo de 18° C ou acima de 25° C, a cultura teria dificuldades de crescimento (CAMPOE et al., 2016; CARVALHO et al., 2008; SCOLFORO et al., 2016).

Um povoamento de eucalipto necessita em média de uma precipitação anual entre 720 a 1800 mm, distribuída uniformemente durante o ano. Com relação ao déficit hídrico anual, o eucalipto apresenta bom desempenho num intervalo de 15 a 170 mm (SPERANDIO et al., 2010).

As temperaturas do município de Lavras-MG, apresentam valores médios nos anos de monitoramento, ligeiramente superiores aos valores das normais climatológicas. Esse comportamento foi observado em suas três análises: mínima, média e máxima (FIGURA 10).

Figura 10 - Temperaturas observadas no período de monitoramento, em escalas:
a) mínimas; b) médias; c) máximas e Normal climatológica anual.



Fonte: Do autor (2018).

Ao longo do período de monitoramento as temperaturas mínimas e máximas ficaram em média 0,4 °C acima da normal climatológica.

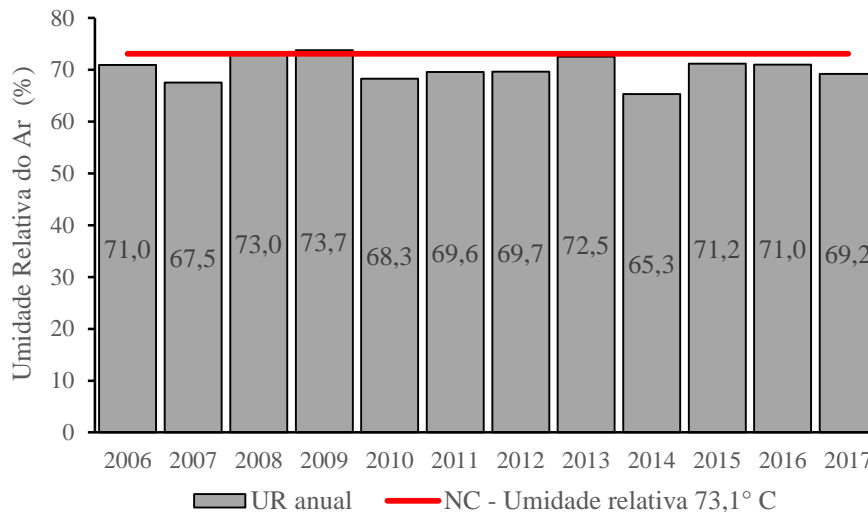
A temperatura é um fator determinante da taxa de processos metabólicos, causando impacto no crescimento das plantas, afetando no balanço do carbono que influencia na fotossíntese e na respiração celular que afeta o balanço hídrico da planta (BAMBERG, 2014).

Alvares et al. (2017), afirmam que as temperaturas máxima e mínima são de interesse, porque podem causar danos às plantas e interromper o crescimento temporariamente ou permanentemente, sendo considerável fonte de estresse abiótico. Segundo Hansen et al. (2006), os dados de temperaturas globais nos últimos 100 anos evidenciaram variações de 0,8°C e 0,6°C para as últimas três décadas.

Nesse estudo, a temperatura média para os anos de monitoramento foi de 20,7 °C, ou seja, 0,4 °C superior à normal climatológica. Esse valor observado enquadra no intervalo de 18 a 25 °C que se refere à exigência de temperatura para o bom desenvolvimento do eucalipto.

A umidade relativa do ar ao longo dos anos de monitoramento apresentou um valor médio de 70,2 %, havendo uma queda de 3% em relação a 73,1% referente à normal climatológica. (FIGURA 11).

Figura 11 - Umidade relativa do período de monitoramento.



Fonte: Do autor (2018).

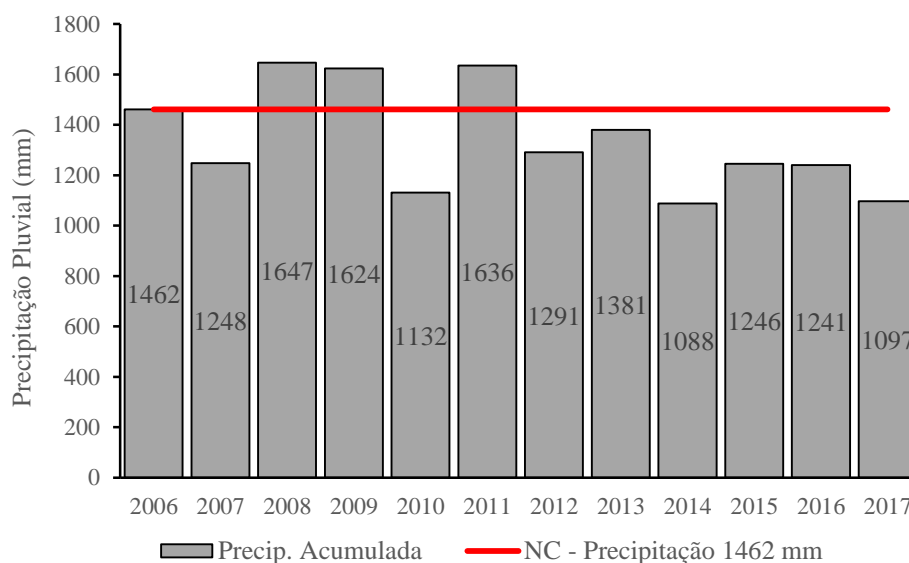
A quantidade de umidade no ar é importante no crescimento das plantas, pois determina a velocidade com que a água é perdida a partir das folhas para a atmosfera através dos estômatos, pelo processo de transpiração (BAMBERG, 2014; ZANON; FINGER, 2010).

A precipitação durante os anos de monitoramento apresentou valores inferiores à normal climatológica em relação a totais anuais (FIGURA 12). Ao longo dos 12 anos de monitoramento, o valor médio de precipitação total anual foi de 1341 mm, 8% inferior aos 1462 mm referente à normal climatológica do município.

A redução da precipitação pode ocasionar deficiências na formação dos indivíduos florestais e redução no incremento do povoamento (BUGG et al., 2006). Stape (2002), estudando cultivos florestais no estado da Bahia, concluiu que a precipitação está relacionada com a produção do eucalipto, a qual explicou 80% da variação do incremento médio no povoamento.

Durante o período de monitoramento, a região sudeste do Brasil sofreu importantes déficits de precipitação, resultando em condições de seca e uma crítica crise de água, especificamente durante os anos de 2013/2014 e 2014/2015. Essa crise hídrica pode ser explicada pela atuação de alguns fenômenos climáticos que atuaram na América do Sul, nesse período, evidenciando-o como um dos mais secos já registrados no sudeste do Brasil (COELHO; CARDOSO; FIRPO, 2016).

Figura 12 - Distribuição da precipitação total anual nos anos de monitoramento.



Fonte: Do autor (2018).

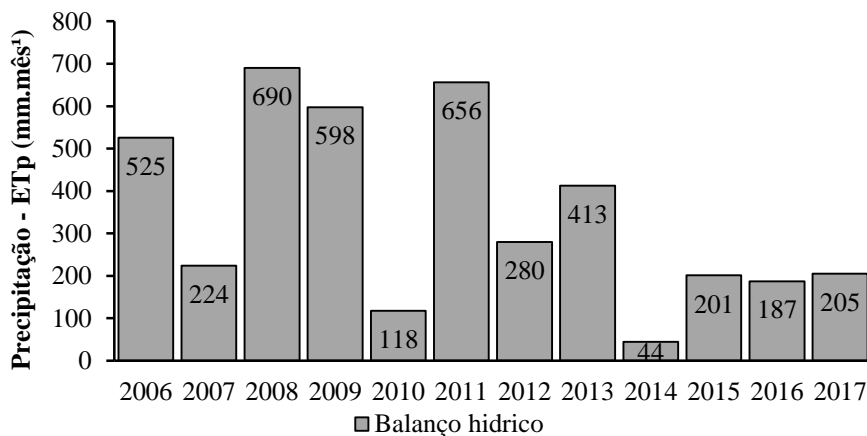
Durante o verão de 2013/2014, a seca na região teve como causa as condições de atividade convectiva anômalas na região tropical, desencadeando uma sequência de processos conectando a região tropical e extratropical do oceano Pacífico, até atingir o oceano Atlântico e a região sudeste do Brasil (CENTRO DE PREVISÃO DO TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS - CPTEC, 2015; COELHO; CARDOSO; FIRPO, 2016).

A presença de anomalias, nesse período, gerou para a região bloqueios atmosféricos que desfavoreceram a formação de eventos de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), sendo um dos principais mecanismos para a formação de chuvas sobre a região sudeste do país, promovendo o término antecipado da estação chuvosa (COELHO; CARDOSO; FIRPO, 2016; OTTO et al., 2015). Além disso, no ano de 2014, foi observado o fenômeno El-Niño, variando sua intensidade entre fraco e moderado, colaborando para intensificar o déficit pluviométrico no período (CPTEC, 2015).

Apesar das anomalias ocorridas no período de monitoramento, o valor médio da precipitação total anual de 1341 mm, enquadra em termos de exigência climática para o cultivo do eucalipto que pode variar entre 720 e 1800 mm.

Com os dados coletados na Estação Climatológica Principal de Lavras, pertencente ao INMET, foi possível obter os valores da evapotranspiração potencial (ETp) para os anos de monitoramento e, com isso, realizar um balanço hídrico em relação à precipitação total anual (FIGURA 13).

Figura 13 - Balanço hídrico para o município de Lavras, entre a Precipitação (mm) e Evapotranspiração potencial (ETp) nos anos de monitoramento das variáveis climáticas.



Fonte: Do autor (2018).

Existem dois processos fundamentais que contribuem para o valor da evapotranspiração em florestas: a perda por interceptação, caracterizada pela água da chuva retida na copa e diretamente evaporada das folhas e galhos. E a transpiração, definida pela água absorvida pelas raízes e liberada, principalmente, através dos estomas das folhas. Ambos os processos são determinados pelo poder evaporativo da atmosfera e pela disponibilidade de água.

As condições climáticas afetam o potencial de evapotranspiração, facilitando tanto a evaporação quanto a transpiração. Além disso, a evapotranspiração é influenciada pela intensidade e duração dos eventos de precipitação e pela disponibilidade de água para planta no perfil do solo (ZHANG; DAWES; WALKER, 1999).

Os parâmetros meteorológicos como temperatura, umidade relativa do ar e precipitação, auxiliam no entendimento dos anos em que o valor do balanço hídrico foi baixo, justamente no período caracterizado pela crise hídrica no sudeste do Brasil, destacando o verão de 2013/2014 onde a estação chuvosa encerrou antecipadamente e temperatura foi elevada para o período.

A floresta é responsável por estruturar o microclima no interior do povoamento florestal. A partir de novembro de 2013, com o monitoramento da estação meteorológica no interior do povoamento, foi possível constatar que a temperatura média anual foi de 19,7 °C, ou seja, 1,0 °C menor que a temperatura média anual observada pela estação externa. Outra variável observada foi a umidade relativa do ar, que apresentou 83,4% no interior do povoamento, sendo 13,2% maior que a umidade em ambiente externo.

4.2 Caracterização das variáveis dendrométricas ao longo do tempo

Os resultados das estatísticas descritivas relacionadas às variáveis dendrométricas, discriminando as informações de acordo com os espaçamentos e idades existentes estão descritos abaixo (TABELA 4) e (TABELA 5).

Tabela 4 - Características dendrométricas por espaçamento e idade.

Trat	Ano	Idade	Nº Fustes	DAP (cm)	HT (m)	G (m²)	V (m³)
3 x 2	2008	2,3	1085	9,8	8,8	8,9	34,8
	2010	3,9	1083	13,6	13,9	17,6	119,5
	2013	7,5	991	18,5	19,9	30,0	300,7
	2015	9,5	991	19,7	21,3	34,0	362,4
	2017	11,4	984	21,1	22,7	38,3	433,7
3 x 3,5	2008	2,3	451	9,3	8,3	3,5	14,1
	2010	3,9	449	14,7	15,2	8,3	60,9
	2013	7,5	427	20,1	21,7	14,9	158,9
	2015	9,5	427	21,0	22,8	16,5	184,3
	2017	11,4	422	23,1	25,0	19,4	234,5
3 x 5	2008	2,3	348	10,3	9,5	3,2	13,8
	2010	3,9	341	16,3	17,4	7,6	59,6
	2013	7,5	334	21,8	23,8	13,3	146,9
	2015	9,5	331	23,6	25,8	15,7	187,9
	2017	11,4	325	26,5	28,5	19,4	256,7

Fonte: Do autor (2018).

Em que: *DAP* = diâmetro médio (cm); *HT* = altura total média (m); *G* = área basal média (m²); *V* = volume total médio (m³).

Tabela 5 - Análise descritivas das variáveis no povoamento.

Trat	Área (m ²)	Idade	IC DAP	IC HT	G (m ² /ha)	V (m ³ /ha)	IMA (m ³ .ha/ano)
3 x 2	7646,76	2,3	4,2	3,8	11,6	45,5	19,5
		3,9	2,4	3,2	23,0	156,3	39,9
		7,5	1,4	1,7	39,2	393,2	52,4
		9,5	0,6	0,7	44,4	474,0	49,9
		11,4	0,7	0,8	50,1	567,2	49,7
3 x 3,5	5504,52	2,3	4,0	3,6	6,3	25,7	11,0
		3,9	3,3	4,3	15,1	110,7	28,2
		7,5	1,5	1,8	27,1	288,6	38,5
		9,5	0,5	0,5	29,9	334,9	35,3
		11,4	1,1	1,2	35,3	426,1	37,3
3 x 5	6348,72	2,3	4,4	4,1	5,0	21,7	9,3
		3,9	3,8	4,9	12,0	93,9	24,0
		7,5	1,5	1,8	21,0	231,4	30,8
		9,5	0,9	1,0	24,7	296,0	31,2
		11,4	1,5	1,4	30,6	404,4	35,4

Fonte: Do autor (2018).

Em que: *IC DAP* = incremento médio em diâmetro (cm); *IC HT* = incremento médio em altura (m); *G* = área basal extrapolado por hectare (m²/ha); *V* = volume extrapolado por hectare (m³/ha); *IMA* = incremento médio anual em volume (m³.ha/ano).

O espaçamento tem influência marcante no desenvolvimento das variáveis dendrometrias ao longo dos anos. O espaçamento 3 x 2 apresentou os maiores valores de volume total médio (m³) e volume médio por hectare (m³/ha) nos diferentes anos de estudo. Contudo, a influência sobre o diâmetro e altura foi menor em relação aos demais espaçamentos. A caracterização de maior volumetria e área basal tem relação direta com o número de plantas por espaçamento e não somente ao crescimento de diâmetro e altura. Espaçamentos mais adensados possuem mais árvores por hectare do que os demais espaçamentos. Fato comprovado com a Tabela 4, onde apresenta o número de fustes por espaçamento e idades.

No presente estudo, para o espaçamento mais adensado e com idade avançada, houve uma certa estagnação no crescimento dos elementos dendrométricos, quando comparados aos demais espaçamentos mais amplos, relação avaliada pelo incremento em diâmetro e altura conforme a Tabela 5.

É possível constatar que espaçamentos mais amplos detém maior disponibilidade de área para o desenvolvimento do indivíduo em diâmetro e altura. Segundo Stape et al. (2010), o espaçamento é influenciado por fatores abióticos do meio, pois esses determinam os fatores produtivos como água, luz e nutrientes.

Fato que corrobora com os resultados da Tabela 4 do presente estudo. Quando menor a disponibilidade desses fatores, menor será a capacidade de desenvolvimento do sítio necessitando de maiores espaçamentos.

De acordo com a Tabela 5, os valores de volume por hectare (m^3/ha) e área basal por hectare (m^2/ha), são mais expressivos no espaçamento 3 x 2. Segundo Silveira, Reiner e Smaniotto (2014), isso se deve ao fato de os espaçamentos mais adensados possuírem maior número de indivíduos que, mesmo apresentando baixo volume individual em relação aos espaçamentos mais amplos, na soma final resultam em maior volume na área total.

Comportamento semelhante apresentado por Lima et al. (2013), onde os maiores valores de volume por hectare foram verificados nos espaços vitais menos amplos que possuíam maior número de árvores, quando comparados diferentes arranjos de espaçamentos.

Os valores de incremento médio anual ($\text{m}^3.\text{ha}/\text{ano}$) decrescem com o aumento do espaçamento no povoamento, variando entre a primeira e última idade de medição: 30,2 $\text{m}^3.\text{ha}/\text{ano}$, 26,3 $\text{m}^3.\text{ha}/\text{ano}$, 26,1 $\text{m}^3.\text{ha}/\text{ano}$, para os espaçamentos (3 x 2), (3 x 3,5) e (3 x 5) consecutivamente.

Os dados de diâmetro a partir do ano de 2013 foram reunidos em classes de diâmetro com o intuito de avaliar o desempenho diamétrico do povoamento

nas idades mais avançadas. Os dados foram agrupados com amplitude de 7 cm nas seguintes medições (TABELA 6).

Tabela 6 - Classificação diamétrica do povoamento para os anos de 2013, 2015 e 2017.

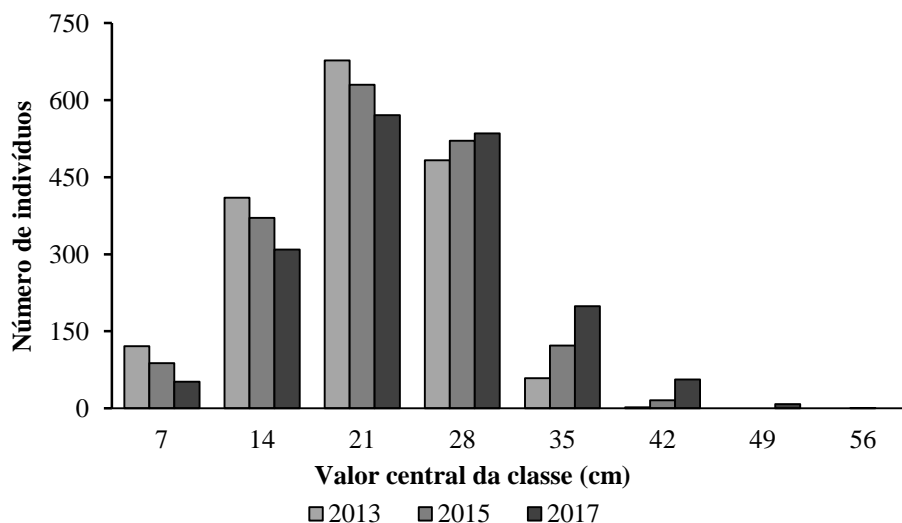
Classes	LI	LS	Valor Central	Fi (2013)	Fi (2015)	Fi (2017)
C1	3	10	7	121	88	52
C2	10	17	14	410	371	309
C3	17	24	21	677	630	571
C4	24	31	28	483	521	535
C5	31	38	35	59	122	199
C6	38	45	42	2	16	56
C7	45	52	49	0	0	8
C8	52	59	56	0	1	1

Fonte: Do autor (2018).

Em que: LI = Limite inferior de classe (cm); LS = Limite superior de classe (cm); Fi = Frequência observada de classe.

A distribuição de indivíduos agrupados por classes diamétricas (FIGURA 14), verificou uma relação entre a frequência observada e o valor central das classes. Houve uma maior concentração dos indivíduos nas classes centrais 3 e 4, onde apresentam valor central de classe de 21 e 28 cm respectivamente. Fato muito comum em florestas plantadas, pois, em sua maioria, são florestas formadas por uma espécie e equiâneas (LIMA; LEÃO, 2013).

Figura 14 - Distribuição dos indivíduos em classes diamétricas nos anos de 2013, 2015 e 2017.



Fonte: Do autor (2018).

Do total de árvores no ano de 2013, 38,6% estavam presentes na classe 3 e 27,6% na classe 4, no segundo ano de medição 36,0% e 29,8% dos indivíduos estavam inseridos nas classes 3 e 4 respectivamente. Em 2017, onde o povoamento apresenta idade mais avançada, 33,0% e 30,9% dos indivíduos estabelecem nas classes 3 e 4 respectivamente.

Esse aumento dos indivíduos para classes superiores é constatado, em decorrência do incremento médio em diâmetro ao longo dos anos. Resultados que corroboram com os obtidos por Melo Neto (2016), onde analisou o incremento em diâmetro sendo responsável pelo aumento de indivíduos em classes superiores em plantio de eucalipto clonal.

Com o intuito de verificar se existia semelhança entre as distribuições diamétricas nos anos de análise, aplicou-se um teste não paramétrico de aderência, denominado de Kolmogorov-Smirnov (SOKAL; ROHLF, 1995).

Obtendo a estatística da distribuição da variável pelo D de Kolmogorov-Smirnov, ao nível de significância de 95 % ($\alpha = 0,05$).

O teste K-S verificou aderência entre os anos de análise das distribuições pelo $D_{\text{calculado}} = 0,875$ e $p\text{-value} = 0.00537$.

Segundo Marangon et al. (2017), os povoamentos florestais apresentam uma distribuição gráfica que se aproxima de uma curva normal, sendo possível perceber um aumento das curvas com o valor central das classes.

Para estimativa e caracterização das tendências de crescimento em diâmetro nos diferentes espaçamentos no povoamento, foi ajustado o modelo de Chapman-Richards (FIGURA 15). As estimativas dos parâmetros foram significativas em nível de 95% e probabilidade ($p \leq 0,05$) pelo teste t. Para avaliar os ajustes foi empregado o erro padrão da estimativa (S_{yx}), recalculado para variável de interesse (TABELA 7).

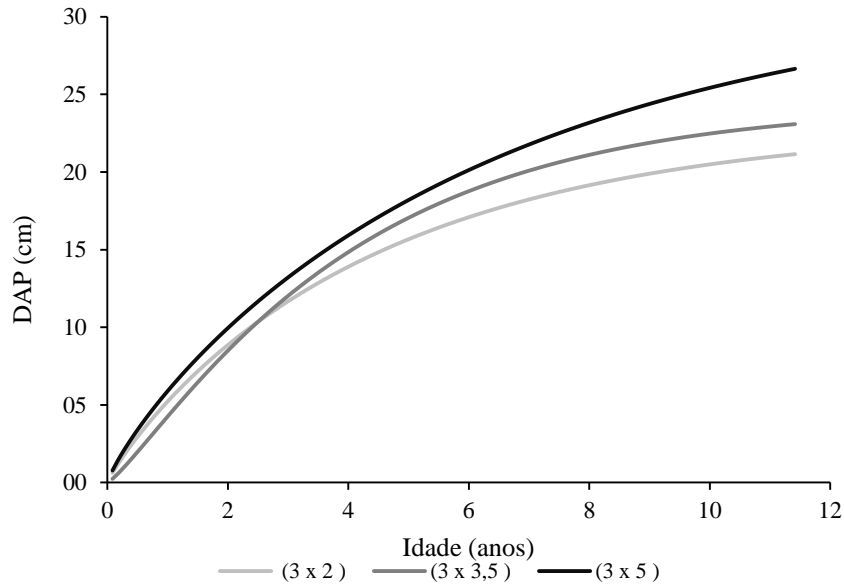
Tabela 7 - Estimativa dos coeficientes e parâmetros estatísticos do modelo de Chapman-Richards para a variável diâmetro em diferentes tratamentos.

Tratamentos	3 x 2	3 x 3,5	3 x 5
b0	23,0469	24,37476	32,00505
b1	-0,209	-0,27469	-0,14261
b2	0,88981	1,2235	0,83813
S_{yx} (cm)	5,8	6,0	6,1

Fonte: Do autor (2018).

Em que: b_i = coeficientes estimados; S_{yx} = erro padrão da estimativa.

Figura 15 - Ajuste do modelo de Chapman-Richards para estimativa de crescimento em diâmetro nos diferentes tratamentos no povoamento.



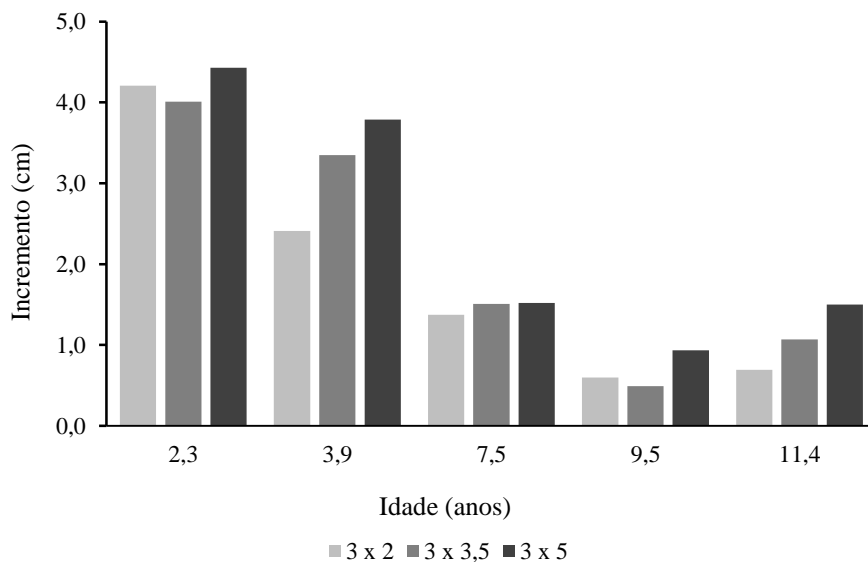
Fonte: Do autor (2018).

As curvas de crescimento explicam visualmente o efeito do espaçamento nos plantios florestais, evidenciando os maiores valores de crescimento em diâmetro onde o indivíduo possui maior espaço vital, possibilitando melhor performance do fuste e maior absorção de nutrientes.

Esse resultado está em consonância com os valores apresentados para diâmetro e altura na Tabela 4. Dessa forma, se o objetivo do plantio florestal é buscar indivíduos com maiores proporções diamétricas destinando a madeira para serrarias, recomenda-se iniciar o plantio com espaçamentos amplos, reduzindo custos com intervenções de manejo, como o desbaste no plantio.

Em povoamentos mais adensados a estagnação do crescimento tende a ocorrer mais cedo com o avanço dos anos (FIGURA 16).

Figura 16 - Taxas de incremento diamétrico nos diferentes espaçamentos ao longo dos anos.



Fonte: Do autor (2018).

O espaçamento influencia significativamente no diâmetro, apesar do envelhecimento do povoamento e a diminuição da taxa de incremento, os espaçamentos menos adensados possuem ainda espaço vital para crescimento mesmo a pequenas taxas.

Por outro lado, com o avanço da idade no povoamento com espaçamentos mais adensados, a competição por nutrientes e luminosidade é mais intensa, contribuindo com o aumento de mortalidade e, até mesmo, com a estocagem do povoamento em situação precoce.

De acordo com os valores observados e estimados para variável diâmetro, é constatado que o modelo de Chapman-Richards foi eficiente para descrever as tendências de crescimento do povoamento em questão.

Fato também observado por Cruz et al. (2008) quando se utilizam do modelo para avaliar as características de crescimento em diâmetro, área basal,

altura dominante e volume de um povoamento florestal, demonstrando a eficácia do modelo, decorrente do realismo biológico e qualidade do ajuste. Permitindo inferir que o modelo de Chapman-Richards é adequado para descrever o crescimento de variáveis dendrométricas.

4.3 Avaliação da densidade do povoamento

Ao analisar a distribuição dos dados na junção entre o número de fustes por hectare (N) e o diâmetro quadrático médio (Dg), foi possível constatar parcelas com elevado N , o que corresponde a parte do povoamento com plantio mais adensado e/ou mais fustes por cova. Por outro lado, as parcelas com elevado Dg equivalem ao povoamento com idade acima de sete anos, sem competição direta ou ocorrência de desbaste natural (TABELA 8).

Tabela 8 - Valores mínimo, médio e máximo de Dg , N e Idade para as 27 parcelas de 150 m² avaliadas.

Espaçamentos	Nº Parcelas (150 m ²)		Variáveis		
			Idade	N	Dg
3 x 2	12	Mín.	2,3	867	6,8
3 x 3,5	5	Méd.	6,9	1504	17,8
3 x 5	10	Máx.	11,4	2200	28,8

Fonte: Do autor (2018).

A base de dados analisada neste trabalho possui baixa variação no número de fustes por hectare (N) e um elevado Dg . A preparação dos dados para o ajuste do modelo do Índice de Densidade do Povoamento (IDP) necessita da seleção de parcelas em situação de elevada competição. Dessa forma, buscou-se na literatura os parâmetros para o ajuste do modelo que se adapta melhor às peculiaridades da base de dados.

Os parâmetros do modelo de Reineke, ajustados por meio da regressão linear clássica no trabalho de Possato (2014), foi o que retratou melhor as características da base de dados em estudo.

Os parâmetros da regressão linear, por meio dos mínimos quadrados ordinários foram significativos ($p < 0,001$) e o valor da inclinação da reta (β_1) (TABELA 9).

Tabela 9 - Estimativa dos parâmetros do modelo de Reineke pelo método de regressão linear clássica.

Parâmetros	Estimativa	Syx %	IDP
β_0	10,610		
β_{IDP}	10,778	1,92	1207
β_1	-1,144		

Fonte: Do autor (2018).

Sendo: β_{IDP} = parâmetro do intercepto modificado, relativo ao máximo *IDP*; β_0 = intercepto da reta; β_1 = inclinação da reta; $S_{yx}\%$ = erro padrão residual.

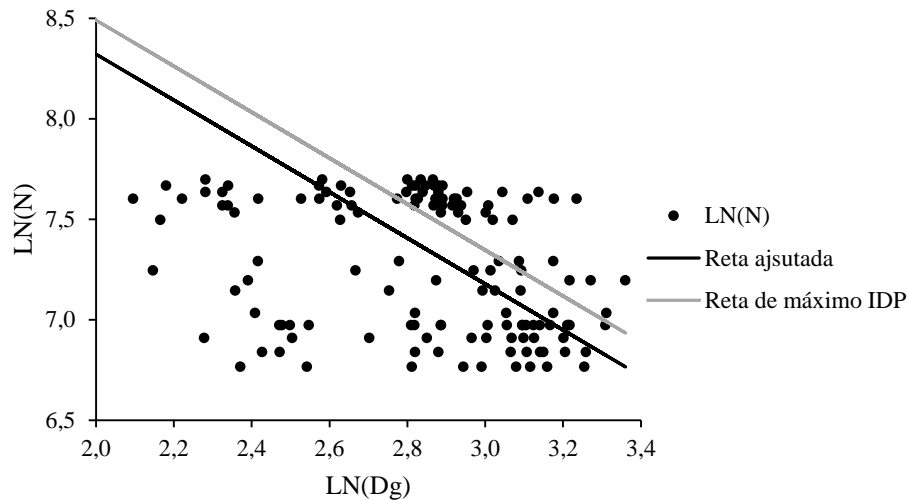
O valor do *IDP* foi calculado com base nos parâmetros estimados pela regressão linear de Reineke (TABELA 10). A influência do número de parcelas selecionadas na estimativa do *IDP*, utilizando o método de regressão dos mínimos quadrados ordinários, é esperada em virtude da característica inerente ao método, que objetiva minimizar a soma de quadrado dos erros. Assim, a presença de dados mais dispersos proporciona alterações nos parâmetros para satisfazer tal objetivo (FIGURA 12).

Tabela 10 - Equação de Reineke ajustada pelos parâmetros estimados.

Equação ajustada	IDP
$\ln(N) = 10,778 - 1,144 \ln(Dg)$	1207

Fonte: Do autor (2018).

Figura 17 - Retas de ajuste da regressão linear clássica e do máximo *IDP* após alteração do intercepto em função do número de fustes por hectare (*N*) e do diâmetro quadrado médio (*Dg*)



Fonte: Do autor (2018).

De acordo com a Figura 17, a reta ajustada correspondeu à média das parcelas em competição, não retratando o limite superior a elas. Dessa forma, o valor do intercepto foi modificado (β_{IDP}), com o intuito de que a reta cruzasse as parcelas de maior densidade, levando em consideração o par de *N* e *Dg*.

Para determinação do *IDP* em estudo, foram consideradas para o ajuste as 27 parcelas nas suas diferentes idades observadas (2,3; 3,9; 7,5; 9,5 e 11,4) anos.

O valor de índice de densidade do povoamento de 1207, aproxima-se do valor definido por Reineke (1933) de 1209 para povoamentos equiâneos.

O valor estimado para a inclinação da reta (β_l) foi diferente daquele estabelecido no modelo original de Reineke (-1,605) para o método de ajuste utilizado. Essa diferença pode ocorrer em virtude das características da base de dados que continha valores de *Dg* inferiores aos 25 cm preconizados como referência do modelo original, indicando que o coeficiente angular do modelo de

Reineke é diferente para cada espécie e não constante como postulado (FIGURA 18).

Segundo Possato et al. (2016), o objetivo de pesquisas que estimam de forma consistente o valor do *IDP* utilizam-se do índice como parâmetro em tomadas de decisões do manejador, principalmente, em manejo da densidade.

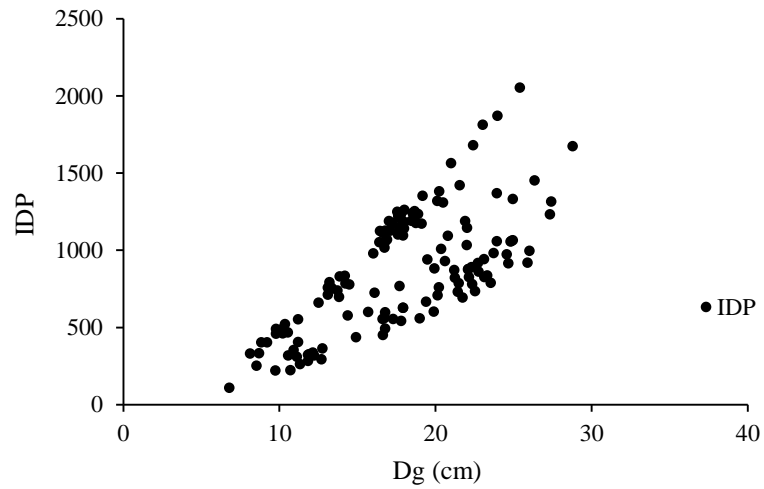
Quando não existe interferência por parte do manejador, o povoamento continuará em desenvolvimento, com incrementos cada vez menores, até atingir um ponto que, para a continuidade do crescimento é indispensável a ocorrência da morte de alguns indivíduos.

A intervenção no povoamento, por meio do desbaste, possibilita um novo cenário ao ambiente, atingindo o desenvolvimento de cada indivíduo e do povoamento como um todo.

Segundo Castedo-Dourado et al. (2009), a relação da densidade e do crescimento da floresta pode ser utilizada para orientar no manejo do desbaste, auxiliando na definição dos intervalos de densidade adequados para a manutenção da ocupação do sítio e do crescimento.

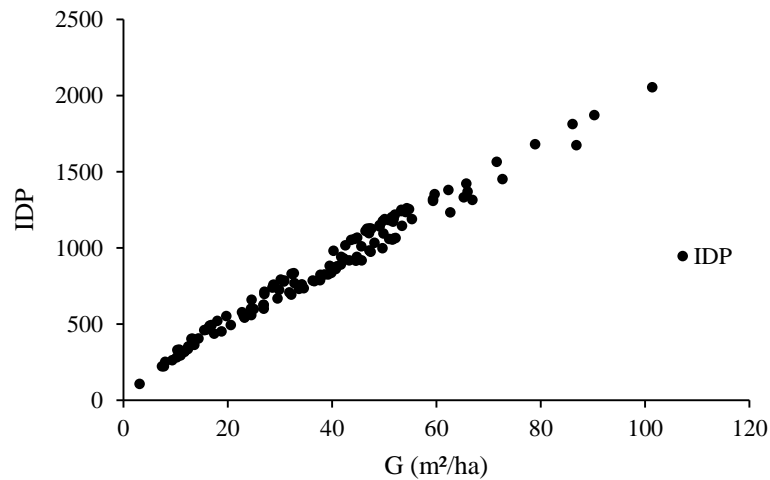
Pela equação original de Reineke, o valor do *IDP* estimado para determinada espécie será sempre estritamente relacionado ao *G* do povoamento, isso ocorre em razão do *IDP* e área basal utilizarem das variáveis número de fustes por hectare (*N*) e diâmetro do quadrado médio (*Dg*) no desenvolvimento de seus cálculos (FIGURA 19).

Figura 18 - Relação do índice de densidade do povoamento (*IDP*) pelo diâmetro médio quadrático (*Dg*).



Fonte: Do autor (2018).

Figura 19 - Relação do índice de densidade do povoamento pela área basal (*G*).



Fonte: Do autor (2018).

Com o índice de Reineke, é possível definir as parcelas que estão em competição ou em processo de estocagem (TABELA 11).

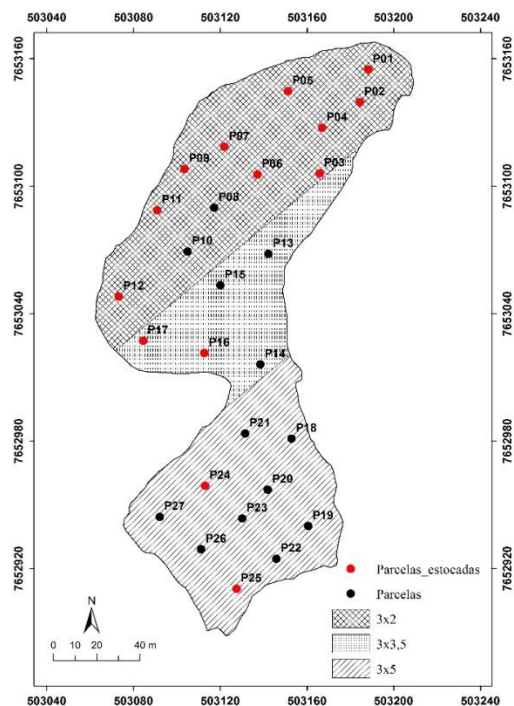
Tabela 11 - Representação da estocagem no povoamento aos 9 anos de idade.

Tratamentos	Parcelas	Nº de parcelas em competição	(%)
3 x 2	12	10	83%
3 x 3,5	5	2	40%
3 x 5	10	2	20%

Fonte: Do autor (2018).

Dessa forma apresentada pela Tabela 11, das 27 parcelas existentes na área, 14 foram estocadas a partir dos 9 anos de idade. Sendo que o maior número de parcelas em alta competição ou já estocadas se encontra na porção do povoamento com o espaçamento mais adensado (FIGURA 20).

Figura 20 - Relação das parcelas estocadas no povoamento em função dos espaçamentos existentes.



Fonte: Do autor (2018).

Isso comprova o verdadeiro efeito da densidade populacional no desenvolvimento do indivíduo. O crescimento e vigor das plantas são influenciados por fatores bióticos e abióticos que controlam a produtividade do povoamento.

Dessa forma, ambientes mais adensados promovem a competição mais cedo por condições desfavoráveis para o crescimento do indivíduo. Em povoamentos florestais de alta densidade as árvores estão em constante competição pelo espaço aéreo e espaço no solo para seu desenvolvimento. Essa competição é a mesma que causa a diminuição do crescimento e também conduz à eliminação dos indivíduos, aumentando o índice de mortalidade e promovendo um autodesbaste no povoamento.

O número de árvores mortas por idade e espaçamento ao longo dos anos em que ocorreu o censo no povoamento são apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 - Número de árvores mortas por ano de medição das variáveis no povoamento.

Espaçamentos	Nº de Árvores Mortas					Total
	2008	2010	2013	2015	2017	
3 x 2	2	11	95	0	7	115
3 x 3,5	1	6	23	0	5	35
3 x 5	2	7	6	3	6	24

Fonte: Do autor (2018).

Verifica-se que a mortalidade se manifesta em taxas maiores em espaçamentos mais reduzidos do que nos mais amplos, como observado no espaço vital de 6 m² (3 x 2). Essa tendência ocorre, em razão de as árvores necessitarem de maior espaço vital à medida que vão crescendo e desenvolvendo.

A necessidade de suprir as funções fisiológicas no povoamento promove uma severa competição por luz, água e nutrientes entre as árvores, sobrevivendo aquelas que apresentam maior vigor de crescimento.

Segundo Schneider et al. (2005), a taxa de mortalidade está diretamente relacionada à idade, associada à qualidade do sítio e espaço vital em determinada fase de crescimento das árvores do povoamento.

No presente estudo, foi possível verificar um déficit pluviométrico entre os anos de 2012 a 2014, que apresentaram valores de precipitação acumulada abaixo da normal climatológica da região, conforme Figura 12. Dessa forma, podem-se associar também as taxas elevadas de mortalidade no ano de 2013 ao déficit hídrico, além da dificuldade de desenvolvimento e elevada competição em espaçamentos mais adensados.

Apesar de diversas pesquisas no ramo florestal com o intuito de compreender as causas da mortalidade, ainda é difícil determinar exatamente quando a mortalidade ocorre e as causas desse fenômeno. Neste estudo, as taxas de mortalidade foram mais expressivas no ano de 2013, promovendo a morte de 123 indivíduos no povoamento, sendo 95 indivíduos pertencentes ao espaçamento 3 x 2.

É possível associar as causas da mortalidade no povoamento, em razão da competição por sobrevivência. Sendo essa competição por limitado fornecimento de luz, água e nutrientes mais intensiva em povoamentos densos ou superestocados (ROSSI et al., 2007). Definição que corrobora com os resultados já abordados anteriormente, onde caracteriza a região do povoamento com espaçamento mais adensado em estado crítico de competição com parcelas já estocadas.

Dessa forma, as causas da morte no povoamento podem ser definidas pela expressão “mortalidade regular”, sendo relacionadas a fatores não

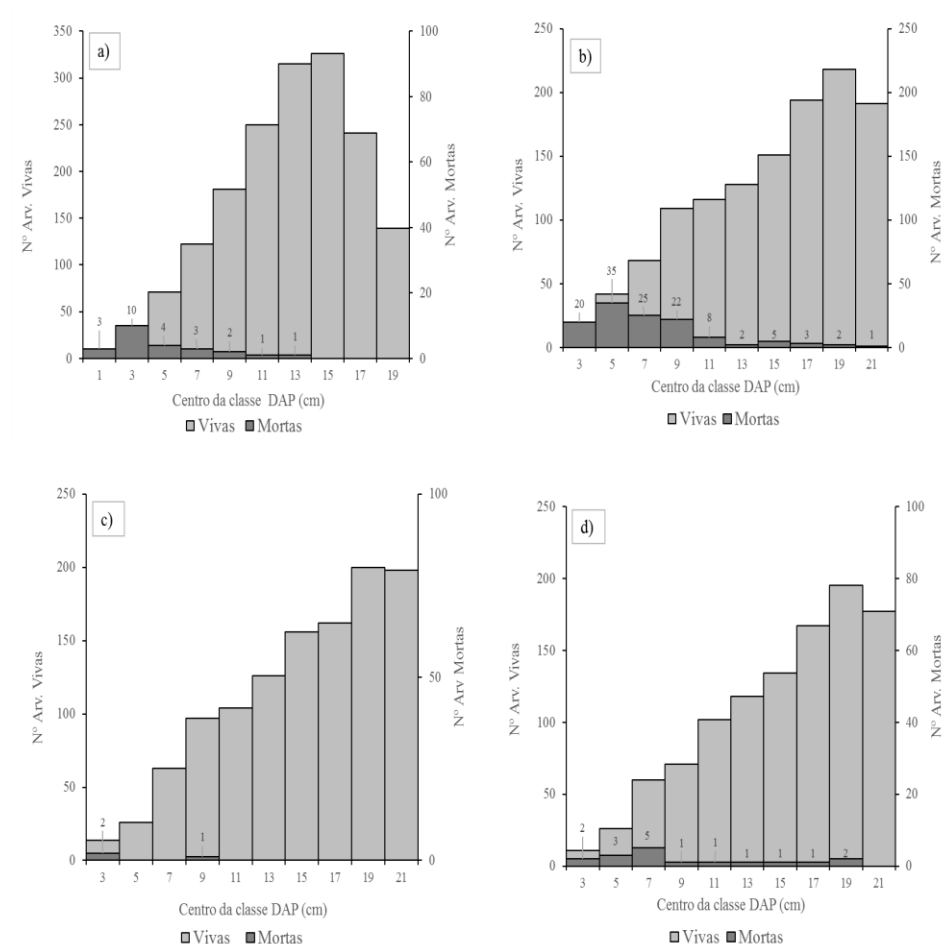
catastróficos como competição, idade e fatores genéticos ou senescência (DOBBERTIN; BIGING, 1998).

Na dinâmica do número de árvores vivas e mortas no povoamento para as idades em análise, observou-se um avanço nas classes diamétricas com o aumento da idade (FIGURA 21).

As árvores mortas no ano de 2008 não foram retratadas em classes de diâmetro, por se tratar do primeiro ano de medição, não permitindo definir em qual classe as mesmas estavam.

No ano de 2010, os poucos casos de mortalidade ficaram mais evidentes nas classes iniciais, provavelmente tratando-se de árvores dominadas que sofreram mais com o efeito da competição.

Figura 21 - Análise do número de árvores vivas e mortas por classe de diâmetro, para os anos: a) 2010 (3,9 anos); b) 2013 (7,5 anos); c) 2015 (9,5 anos); d) 2017 (11,4 anos).



Fonte: Do autor (2018).

No ano de 2013, em que o povoamento se encontrava com 7,5 anos houve os maiores casos de mortalidade, apesar de ocorrer mortes de indivíduos em praticamente todas as classes diamétricas, o número maior de casos aconteceu nas 5 primeiras classes, concentrando-se até a classe de 11 cm.

Dessa forma, a área de ocorrência de mortalidade situou-se entre os menores diâmetros, provavelmente com avanço da idade e o aumento da

competição por nutrientes e luz e a presença de espaçamentos mais adensados os indivíduos dominados sofreram mais por supressão. Além de fatores externos como o déficit hídrico caracterizado nesse período, que afetou drasticamente o desenvolvimento do plantio. Sendo assim, o motivo que acarretou muitas mortes.

Fato que colaborou com a diminuição da mortalidade nos anos seguintes, com as mortes em 2013 ocorrendo desbaste natural, gerou espaço para desenvolvimento dos indivíduos sobreviventes.

Alguns autores consideram o clima também como outro importante agente de mortalidade em povoamentos florestais. A ocorrência de secas ou inundações prolongadas pode acarretar a morte de árvores suprimidas ou até mesmo, ainda que raro, a morte de árvores saudáveis (VANCLAY, 1994). No presente estudo, o ano de 2013, onde teve maior mortalidade, foi um ano crítico de seca. Esse fator climático teve uma ação bastante considerável nas taxas de mortalidade do ano de 2013.

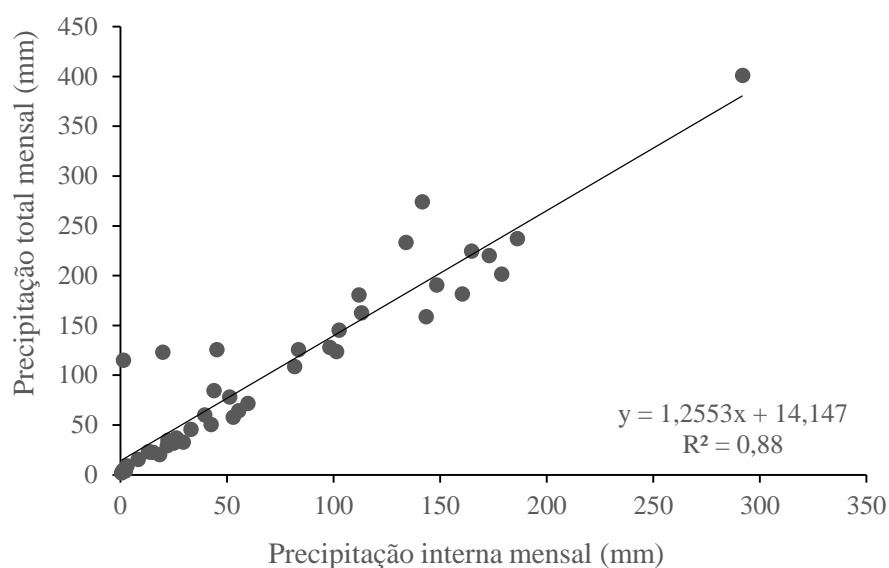
4.4 Monitoramento da precipitação interna e do escoamento do tronco

O monitoramento da precipitação externa foi realizado no período entre novembro de 2013 a outubro de 2017, ou seja, 1460 dias que representam 4 anos hidrológicos. Nesse intervalo, foram acumulados 4651,6 mm de precipitação externa registrados em 405 eventos diários, destacando uma precipitação máxima diária de 76,2 mm no período chuvoso do ano de 2016.

A precipitação interna no mesmo intervalo de monitoramento apresentou uma precipitação máxima diária de 53,6 mm, expondo em condições médias um total de 3269,3 mm, o que representa 70,3% do total de chuva externa.

O efeito linear das variáveis é observado em função de uma análise de regressão entre os dados médios mensais da precipitação externa e interna (FIGURA 22).

Figura 22 - Correlação entre a precipitação externa e interna em escala mensal.



Fonte: Do autor (2018).

A relação da precipitação interna perante os valores externos apresentou uma boa correlação para povoamento de eucalipto clonal. Resultado explorado por Consensa (2012), onde relatou que a precipitação interna de *Eucalyptus urograndis* e *Eucalyptus dunnii* representam respectivamente 69,7% e 86,6% da precipitação total. Tonello et al. (2014), realizaram um estudo na Floresta Nacional de Ipanema no município de Iperó-SP, avaliando um plantio experimental de *Eucalyptus cloeziana*. Durante o monitoramento, foram registrados 25 eventos de chuva com um total de 520,4 mm, obtendo uma

precipitação interna de 85,2% em relação à precipitação total externa, para o plantio.

Em outras culturas florestais, como exemplo o *Pinus*, a precipitação interna também possui comportamento semelhante, segundo Calux e Thomaz (2012), em povoamento de *Pinus elliottii* var. *elliottii* com idade de 8 anos, a precipitação interna foi de 73,4% em relação a externa.

Ávila et al. 2014, avaliando o comportamento da precipitação em uma bacia hidrológica inserida no Bioma da Mata Atlântica na Serra da Mantiqueira no estado de Minas Gerais, observaram uma precipitação interna de 3923 mm, correspondendo a 79 % da precipitação externa ao longo de 2 anos de monitoramento.

Os resultados desse trabalho condizem com a literatura e podem ser explicados por uma análise qualitativa da arquitetura do povoamento que apresenta um bom fechamento de copa e crescimento estável.

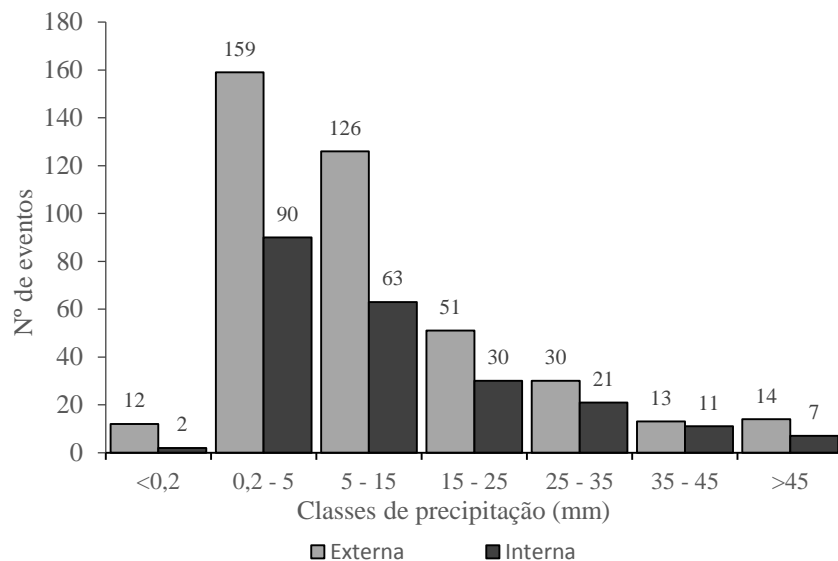
Os eventos diários de precipitação externa e interna foram divididos por classes de precipitação (TABELA 13), analisando a intensidade e a estrutura das precipitações ocorridas (FIGURA 23).

Tabela 13 - Classe de Precipitação diária (mm).

Classe de Precipitação (mm/dia)
0,2 - 5
5 - 15
15 - 25
25 - 35
35 - 45
>45

Fonte: Do autor (2018).

Figura 23 - Número de eventos por classe de precipitação (mm).

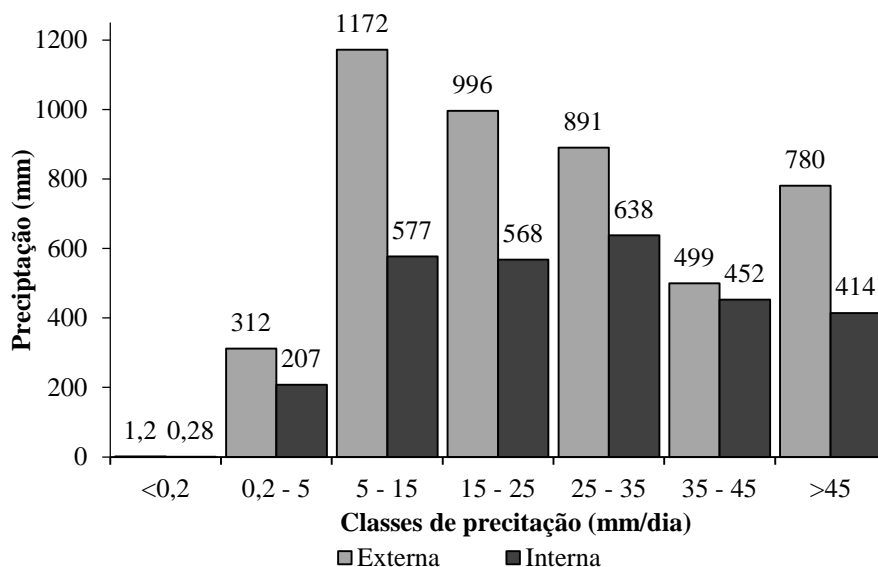


Fonte: Do autor (2018).

De acordo com a figura 23, 39% dos eventos de precipitação externa concentram-se na classe (0,2 - 5) mm. Padrão também apresentado pela precipitação interna que concentra 40% dos eventos na classe (0,2 - 5) mm. Observa-se que, à medida que as classes de precipitação crescem, a diferença entre o número dos eventos para precipitação externa e interna diminui, ou seja, eventos de grande intensidade promovem precipitação interna proporcional à externa.

Apesar da maior concentração dos eventos de precipitação na classe (0,2 - 5) mm, essa classe representa 6,7% do volume total de precipitação externa e apenas 4% do volume total de precipitação interna que penetra pelo dossel florestal (FIGURA 24).

Figura 24 - Volume total precipitado por classe de chuva.



Fonte: Do autor (2018).

Ao longo do período de análise, o volume de precipitação externa expôs uma maior concentração na classe de (5 - 15) mm, acumulando 1172 mm de chuva, nessa classe, o que representa 25% da precipitação total. Nessa classe, foi observada uma interceptação de 50,8%, contra uma média do monitoramento ao longo dos 4 anos hidrológicos de 27%.

Quanto à precipitação interna, aparentemente mostrou-se mais uniforme na distribuição das classes de precipitação, com 22% da precipitação interna presente na classe de (25 - 35) mm. Vale ressaltar que o dossel florestal tem papel fundamental na distribuição de água no piso florestal. Dessa forma, eventos de baixa intensidade em muitos casos são interceptados e evaporados sem sequer atingir o solo, por outro lado a chegada da água no piso florestal é mais provável em eventos de grande magnitude que promove a saturação do

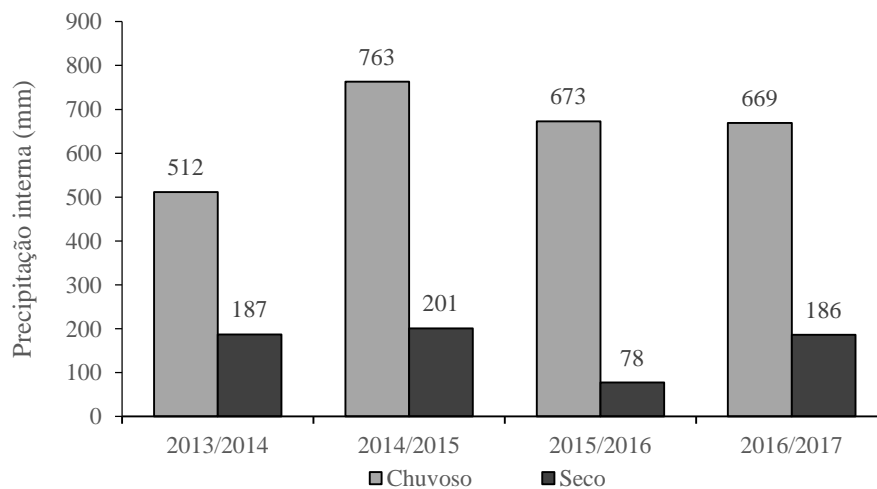
dossel, causando a entrada da chuva por precipitação interna e escoamento do tronco.

Os valores de precipitação total externo e interno foram avaliados quanto ao padrão de sazonalidade, sendo comparado o período chuvoso (outubro a março) e o seco (abril a setembro).

Observou-se um efeito da sazonalidade nos eventos de precipitação, sendo que para a precipitação externa, 81,3% ocorreu no período chuvoso e 18,7% do total precipitado ocorreu no período seco. Padrão semelhante foi apresentado pela precipitação interna, onde 80% e 20% da chuva foram distribuídas no período chuvoso e seco, respectivamente.

Tal fato ocorre, porque no período chuvoso o dossel permanece úmido com mais frequência e é atingida a capacidade máxima de retenção de água de uma forma mais rápida, em decorrência da continuidade da chuva, contribuindo assim para a incidência de precipitação interna. Foi caracterizada a precipitação interna nos anos hidrológicos analisados de acordo com a sazonalidades dos eventos de chuva (FIGURA 25).

Figura 25 - Caracterização da precipitação interna nos anos hidrológicos de acordo com o período chuvoso e seco.



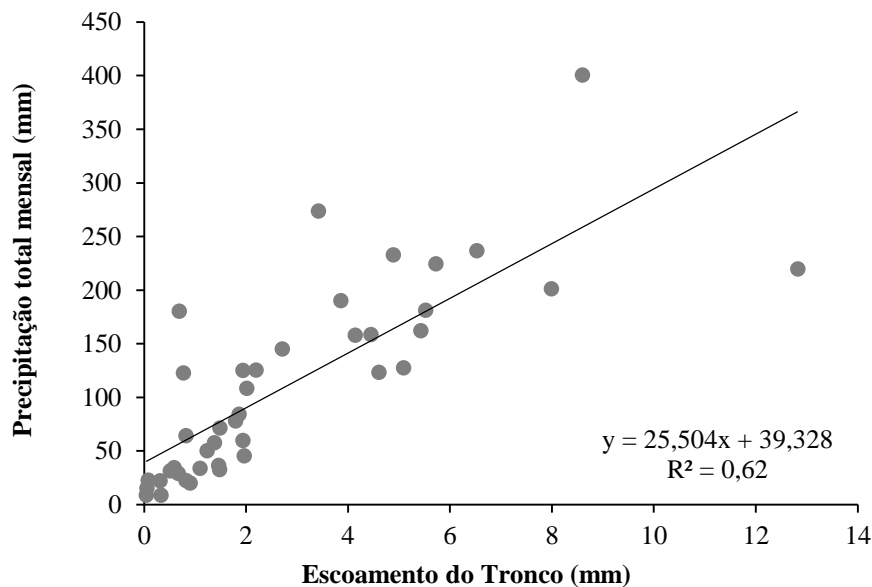
Fonte: Do autor (2018).

O escoamento do tronco foi também quantificado, pois é uma variável importante no cálculo da interceptação da chuva pelo dossel florestal. Durante os 4 anos hidrológicos de monitoramento, ocorreram 227 eventos de precipitação que geraram lâmina escoada pelo tronco. No total foram 114,3 mm de precipitação escoada pelo tronco, em porcentagem representa 2,5% da precipitação total incidente no povoamento.

O efeito linear das variáveis é observado em função de uma análise de regressão entre os dados médios mensais da precipitação externa e do escoamento do tronco (FIGURA 26).

O escoamento do tronco é representado por uma fração da precipitação incidente que é retida pelas copas das árvores juntamente com aquela que atinge diretamente os troncos e em sequência escoam pelo fuste das árvores, chegando ao piso florestal (OLIVEIRA JUNIOR; DIAS, 2005; TUCCI et al., 2001).

Figura 26 - Correlação entre a precipitação externa e do escoamento do tronco em escala mensal.



Nota-se que existe uma correlação entre os valores de precipitação externa e a quantidade de lâmina escoada pelos troncos, essa análise é de suma importância quando os dados são trabalhados em escala diária.

Segundo Shinzato et al. (2011), grande parte dos estudos de monitoramento do volume de água escoada pelo tronco nos diversos povoamentos florestais, a fração escoada varia de 0,2% a 4,2% da precipitação total incidente.

Os valores de escoamento do tronco possuem uma relação direta com a magnitude da precipitação incidente e com o acúmulo do volume precipitado. De acordo com o monitoramento neste trabalho, eventos com lâmina precipitada inferior a 4,0 mm não geraram escoamento no tronco.

Segundo a pesquisa de Tonello et al. (2014), o escoamento do tronco em povoamentos de *Eucalyptus cloeziana* foi representado por 1,0% da precipitação

total. No estudo realizado por Consensa (2012), o escoamento do tronco em plantios de *Eucalyptus urograndis* e *Eucalyptus dunnii* representam respectivamente 2,2% e 2,1% da precipitação total incidente. Também foram observados valores de 0,3% e 1,7% de escoamento do tronco para *Eucalyptus nicholli* e *Eucalyptus saligna* na Austrália (LIVESLEY; BAUDINETTE; GLOVER, 2014).

Terra et al. (2018a), avaliaram o escoamento do tronco em um remanesce de Mata Atlântica, de abril de 2016 a março de 2017, com um registro total de 1624,5 mm de precipitação gerados por 52 eventos, sendo o escoamento representado por 0,17% do total de chuvas.

No estudo de Shinzato et al. (2011), foram comparados os escoamentos pelo tronco em três povoamentos florestais: *Eucalyptus cloeziana*, *Pinus sp.* e uma parcela de Florestal Estacional Semidecidual. Verificou-se que, em média, os valores de escoamento representaram 1,0% da precipitação total incidente, além do que, os valores de escoamento só foram observados em eventos com precipitação igual ou maior que 11,0 mm, 6,6 mm e 8,2 mm respectivamente para cada povoamento.

Os resultados desse trabalho condizem com a literatura e podem ser explicados pela arquitetura do povoamento que apresenta um bom fechamento de copa e também relacionados à idade superior do povoamento (12 anos aproximadamente). Com o avanço da idade os indivíduos tendem a ter um aumento no diâmetro e o escoamento do tronco em indivíduos de eucalipto decresce com o incremento em diâmetro (MELO NETO, 2016).

Indivíduos que apresentam maior diâmetro, em geral possuem uma casca mais espessa contribuindo para uma maior absorção da água, sendo assim a chuva retida pela copa ou pelo próprio tronco, retornando à atmosfera por evaporação.

Ao averiguar o escoamento do tronco de acordo com a sazonalidade do ano, notou-se uma diferença quando no período chuvoso e seco. Foi observado um maior volume escoado no período chuvoso em relação ao seco: 77,4% do volume escoado se fez presente no período chuvoso, enquanto 22,6% no período seco (TABELA 14).

Tabela 14 - Valor acumulado do Escoamento do tronco por mês durante o os 4 anos hidrológicos monitorados.

Período	Precipitação externa (mm)	Escoamento do tronco (mm)	%
Janeiro	849,7	27,1	3,2%
Fevereiro	414,5	9,4	2,3%
Março	540,4	12,5	2,3%
Abril	269,2	7,0	2,6%
Mai	132,2	3,5	2,7%
Junho	148,4	3,1	2,1%
Julho	47,0	2,0	4,2%
Agosto	69,2	2,6	3,8%
Setembro	202,5	7,7	3,8%
Outubro	332,9	6,1	1,8%
Novembro	868,8	13,7	1,6%
Dezembro	776,8	19,6	2,5%
Total	4651,6	114,3	2,5%
Chuvoso	3783,1	88,4	77,4%
Seco	868,5	25,8	22,6%

Fonte: Do autor (2018).

De acordo com a tabela 14, o valor acumulado da precipitação externa por mês ao longo dos 4 anos hidrológicos, evidenciou com clareza o período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) do ano.

O escoamento do tronco condiz com a mesma análise da precipitação externa, porém quando se analisam os valores de porcentagem mensal, alguns meses do período seco geram valores acima da média. O escoamento do tronco está relacionado, dentre outros fatores, com a área foliar do estrato arbóreo (TONELLO et al., 2014). O processo de redistribuição de água da chuva no

povoamento florestal é influenciado pela distribuição temporal dos eventos, sendo caracterizado pela sazonalidade climática.

No período chuvoso, o dossel permanece úmido por um período maior proporcionando de maneira mais rápida e efetiva a capacidade máxima de armazenamento do dossel. No entanto, as lâminas precipitadas no período seco são concentradas em poucos eventos e o *Eucalyptus* sp. diminui a capacidade de armazenamento, provocando um efeito similar do período chuvoso com rápida saturação do dossel, explicando os valores representativos da porcentagem de escoamento do tronco no período seco (ÁVILA et al., 2014; DANTAS; CARVALHO; FERREIRA, 2007).

Para quantificar a precipitação interceptada pela copa das árvores no povoamento, foram mensuradas as precipitações externas, internas e mediu-se a quantidade de água escoada pelo tronco, durante os quatro anos hidrológicos de monitoramento.

Os valores de interceptação foram adquiridos pela relação entre a precipitação em área aberta (PA), ou seja, precipitação externa e a precipitação efetiva (PE) que é representada pela soma da precipitação interna e do escoamento do tronco. As análises foram geradas discriminado cada ano hidrológico monitorado (TABELA 15).

Tabela 15 - Quantificação da lâmina (mm) e da porcentagem (%) da precipitação em área aberta (PA), da precipitação interna (PI), escoamento do tronco (EsT), precipitação efetiva (PE) e da interceptação da copa (I) no povoamento de eucalipto para cada ano hidrológico monitorado.

Monitoramento	Análises	Lâmina (mm)	Porcentagem (%)
Ano hidrológico 1 (2013-2014)	Precip. em Aberto (PA)	969,1	100%
	Precip. Interna (PI)	698,8	72%
	Esc. do Tronco (EsT)	32,2	3%
	Precip. Efetiva (PE)	731,0	75%
	Interc. da Copa (I)	238,1	25%
Ano hidrológico 2 (2014-2015)	Precip. em Aberto (PA)	1200,4	100%
	Precip. Interna (PI)	750,5	63%
	Esc. do Tronco (EsT)	35,7	3%
	Precip. Efetiva (PE)	786,2	65%
	Interc. da Copa (I)	414,2	35%
Ano hidrológico 3 (2015-2016)	Precip. em Aberto (PA)	1412,1	100%
	Precip. Interna (PI)	964,5	68%
	Esc. do Tronco (EsT)	22,7	2%
	Precip. Efetiva (PE)	987,2	70%
	Interc. da Copa (I)	424,9	30%
Ano hidrológico 4 (2016-2017)	Precip. em Aberto (PA)	1070,0	100%
	Precip. Interna (PI)	855,5	80%
	Esc. do Tronco (EsT)	23,7	2%
	Precip. Efetiva (PE)	879,2	82%
	Interc. da Copa (I)	190,8	18%

Fonte: Do autor (2018).

Os menores valores de precipitação em área aberta (PA), precipitação interna (PI) e precipitação efetiva (PE) foram observados no ano hidrológico 1 e 2.

Resultado que retrata o cenário de crise hídrica ocorrido entre os anos de 2013 e 2014. Nesse período, 25% da precipitação foram retidas pela copa das árvores e possivelmente evaporada, não atingindo o piso florestal.

O destaque para o percentual de água interceptação pela copa foi no ano hidrológico 3 (2015-2016), em que 424,9 mm de chuva foram retidas nas copas das árvores. A explicação para o valor interceptado pode estar relacionada à intensidade da precipitação externa que foi superior aos outros anos, acumulando um maior valor de chuva no dossel da floresta e pela arquitetura do povoamento que apresenta um estruturado fechamento da copa, em decorrência da idade do povoamento.

Para os demais anos, os valores de precipitação interceptada ficaram em um intervalo de 190 a 414,2 mm, caracterizando em porcentagem para os anos hidrológicos 1 (2013-2014), 2 (2014-2015) e 4 (2016-2017): 25 %, 35 % e 18 % respectivamente.

Livesley, Baudinette e Glover (2014) obtiveram valores de interceptação de 43,9% e 27,3%, respectivamente para *Eucalyptus nicholli* e *Eucalyptus saligna*, na Austrália. Consensa (2012) obteve a interceptação em um povoamento de *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus urograndis* de 10% e 26% respectivamente. Outras pesquisas também apresentaram valores menores para interceptação, como os encontrados por Almeida e Soares (2003), que obtiveram um valor próximo à 11% em plantio de *Eucalyptus grandis*.

Analisando outros povoamentos florestais nota-se um padrão semelhante para a fração interceptada pela copa das árvores. Como no caso de plantios de *Pinus sp.* e Floresta de Araucária que interceptaram por suas copas 26,6 % e 14,4%, respectivamente, da precipitação incidente (CALUX; THOMAZ, 2012).

A interceptação é consequência direta da arquitetura do dossel do povoamento uma vez que é influenciada pelo manejo praticado. Menores espaçamentos causam maior densidade populacional e as espécies de eucalipto possuem características de desrama natural mantendo uma copa mínima e eficiente, afetando na interceptação da água da chuva (MELO NETO, 2016).

Portanto, pode se afirmar que existem diferentes capacidades de interceptação, provenientes de características das espécies e no manejo, e que os valores obtidos, neste estudo, estão na faixa de valores encontrados na literatura.

4.5 Estrutura espacial das variáveis dendrométricas e hidrológicas

As estatísticas descritivas das variáveis dendrométricas estão apresentadas na Tabela 16, considerando os 3 espaçamentos conjuntamente.

Tabela 16 - Análise exploratória com os valores de Média, Desvio Padrão, Coeficiente de Variação (CV%) para as variáveis dendrométricas avaliadas por parcela em cada ano de medição.

Anos	Estatística	Variáveis dendrométricas		
		DAP (cm)	G (m ²)	V (m ³)
2013	Média	17,95	0,66	6,88
	Desvio Padrão	2,64	0,16	2,21
	CV (%)	14,73	24,72	32,24
2015	Média	18,99	0,74	8,13
	Desvio Padrão	2,87	0,19	2,77
	CV (%)	15,04	26,21	34,16
2017	Média	20,45	0,85	10,04
	Desvio Padrão	3,49	0,22	3,53
	CV (%)	17,10	26,27	35,17

Fonte: Do autor (2018).

Sendo: DAP = diâmetro médio da parcela (cm); G = área basal da parcela (m²); V = volume da parcela (m³).

O DAP (cm) foi a variável dendrométrica que apresentou o menor coeficiente de variação em todos os anos de análise. Por outro lado, o volume apresentou a maior variabilidade entre as parcelas com o CV (%) variando de 32,24% a 35,17%. Isso se deve ao fato de que o DAP é uma medida determinada em campo, ao passo que o volume é uma estimativa, além de considerar no seu

cálculo a altura total, que é uma característica com alta variabilidade dentro do povoamento, gerando maior incerteza na sua medida.

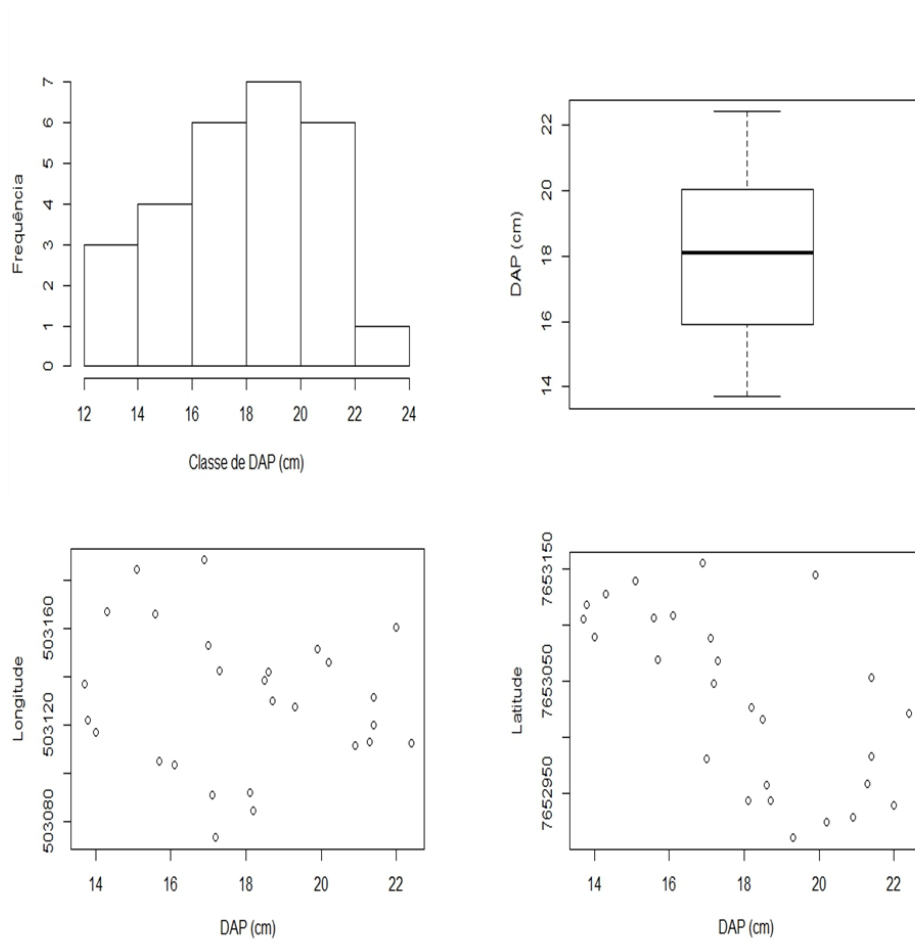
Os histogramas de frequência das variáveis apontam tendência à normalidade, uma vez que são unimodais com tendência central. Gráficos *boxplot* e gráficos de tendência em relação a longitude e latitude nos anos de 2013, 2015 e 2017 também foram gerados em caráter exploratório para cada variável. Esses gráficos mostraram que não há uma tendência evidente das variáveis observadas em cada ano em relação a latitude e longitude.

A normalidade dos dados não é uma exigência para aplicar técnicas geoestatísticas, porém sua presença atribui às inferências outras propriedades estatísticas ótimas (DINIZ, 2007; GUEDES et al., 2012; KANEGAE JÚNIOR, 2004).

Há presença de alguns valores discrepantes, contudo, estes foram observados em campo e devem ser considerados na análise geoestatística. Verificou-se, porém que eles não provocaram alterações no comportamento da estrutura espacial das variáveis avaliadas.

Os gráficos exploratórios do DAP (cm), referentes ao inventário do ano 2013, podem ser analisados na Figura 27. Os gráficos que ilustram as análises exploratórias das demais medições da variável DAP e de todas medições da área basal (m²) e volume (m³) nos anos de medição se encontram no Anexo A.

Figura 27 - Gráficos exploratórios para o ano de 2013 para a variáveis DAP (cm). Analisando: histograma de frequência, gráficos de boxplot e a relação da variável com a longitude e a latitude.



Fonte: Do autor (2018).

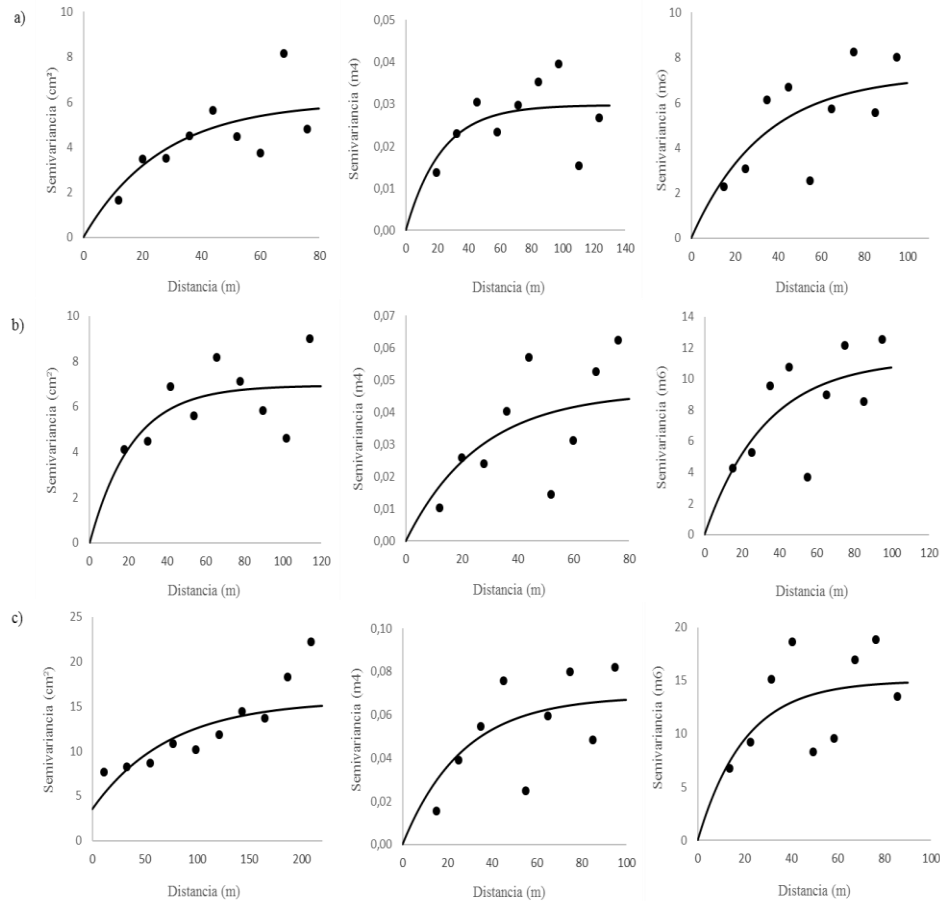
Tabela 17 - Parâmetros do modelo espacial selecionado (exponencial); τ^2 : efeito pepita; σ^2 : contribuição e ϕ : alcance; estatísticas da validação cruzada: erro médio reduzido (EMR), desvio do erro médio (S_{ER}) e grau de dependência espacial (DE) das variáveis.

Variáveis Dendrométricas	Parâmetros	Anos analisados		
		2013	2015	2017
DAP (cm)	τ^2	0,00	0,00	3,53
	σ^2	6,02	6,94	12,11
	ϕ	80,00	65,94	220,00
	EMR	-0,043	-0,045	0,003
	S_{ER}	0,998	1,009	1,108
	DE (%)	100,00	100,00	77,43
G (m ²)	τ^2	0,00	0,00	0,00
	σ^2	0,03	0,05	0,07
	ϕ	68,26	79,38	80,60
	EMR	-0,051	-0,060	-0,067
	S_{ER}	1,111	1,143	1,143
	DE (%)	100,00	100,00	100,00
V (m ³)	τ^2	0,00	0,00	0,00
	σ^2	7,23	11,23	14,93
	ϕ	100,00	97,63	60,16
	EMR	-0,045	-0,055	-0,069
	S_{ER}	1,115	1,145	1,101
	DE (%)	100,00	100,00	100,00

Fonte: Do autor (2018).

É possível observar que as variáveis DAP, G e V apresentam forte dependência espacial em todos os anos do período de estudo, de acordo com a classificação de Cambardella et al. (1994) para o grau de dependência espacial. A situação de efeito pepita zero ou pequeno (FIGURA 28), é interessante no processo de krigagem. Isso promove uma menor incerteza com relação às estimativas em cada ponto dentro do processo de krigagem.

Figura 28 - Semivariogramas das variáveis DAP (cm), G (m²) e V (m³), respectivamente por parcela nos anos de análise: a) 2013; b) 2015; c) 2017.



Fonte: Do autor (2018).

A partir do modelo espacial ajustado em cada ano avaliado (FIGURA 28), foram gerados mapas de krigagem ordinária para as variáveis dendrométricas em análise. Nota-se que o comportamento espacial das variáveis dendrométricas segue, primariamente, o arranjo dos espaçamentos do plantio, pelos mapas de krigagem (FIGURAS 29 a 31). Assim, um menor diâmetro médio é encontrado na área de espaçamento adensado, ao norte do povoamento

e um maior diâmetro médio é encontrado na região de espaçamento menos adensado, ao sul do povoamento. Esse padrão da krigagem para diâmetro médio foi verificado nos 3 anos de avaliação. Os dados da Tabela 4, presentes no item 4.2 deste trabalho, mostraram esse mesmo comportamento, por meio de uma abordagem de estatística descritiva das variáveis dendrométricas. Esse resultado corrobora o encontrado por vários autores que reportam tendência a menores diâmetros em menores espaçamentos em plantios homogêneos (REINER et al., 2011; SILVEIRA; REINER; SMANIOTTO, 2014). Isso se deve ao menor espaço disponível para crescimento secundário individual da árvore. Normalmente, árvores crescendo nessas condições apresentam ainda copas menores e mais elevadas, coincidindo em termos gerais, com a divisão de espaçamentos. No caso específico da presente área de estudo, o espaçamento mais adensado também exibe um resultado com efeito de borda do povoamento, onde ocorre maior iluminação e maior espaço para desenvolver. Esses fatores favorecem um maior crescimento em DAP no espaçamento 3x2 em alguns pontos isolados como fica evidente nas Figuras 29.

Foi possível também verificar nas Figuras 30 e 31 o comportamento espacial da característica área basal e volume. Os maiores valores de área basal e volume coincidem com os menores valores de DAP. O espaçamento tem influência marcante no desenvolvimento das variáveis dendrométricas, sendo possível constatar que onde o espaçamento é mais amplo há maior disponibilidade de área para o crescimento do indivíduo.

A característica área basal é derivada diretamente do DAP. Porém essa característica é influenciada pelo número de plantas por hectare, padrão que também influencia o volume. Dessa forma, espaçamentos mais adensados possuem maior número de plantas, que mesmo apresentando menor volume individual em relação aos espaçamentos menos adensados, na somatória final das plantas resultam em maior volume por área. Esse padrão foi verificado para

a área basal e volume nos 3 anos de avaliação, corroborando com a análise das variáveis dendrométricas apresentadas na Tabela 4.

A partir da análise dos mapas é possível também notar menor incremento nas regiões de espaçamento mais adensado em relação às regiões de espaçamento menos adensado no período analisado.

O mapa de krigagem para volume mostra que no espaçamento 3x2 encontram-se os maiores valores de volume por área, bem como em alguns pontos do espaçamento 3x3,5 localizados na região central do povoamento.

Existem 2 pontos com menores valores de volume, a nordeste e a sudeste. Esses pontos são fortemente influenciados pela vizinhança que é uma floresta nativa bem desenvolvida conforme a Figura 1 do item 3.1 deste trabalho, referente à caracterização da área de estudo. Essa floresta nativa pode restringir a luminosidade, inibindo o crescimento das árvores do plantio próximas a ela.

Figura 29 - Mapas de krigagem para variável DAP (cm) a partir das informações dos semivariogramas para os anos de 2013, 2015 e 2017.

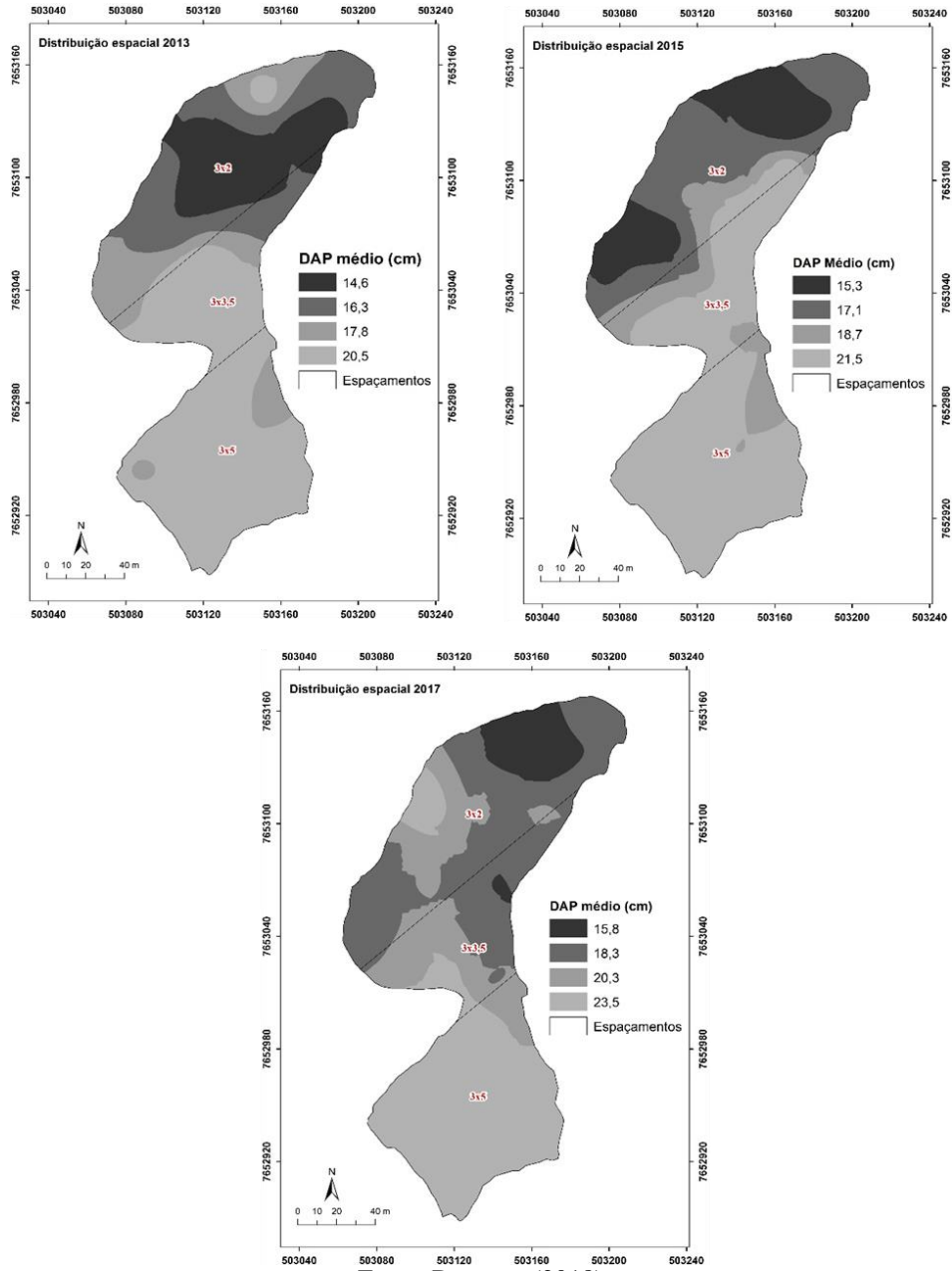


Figura 30 - Mapas de krigagem para variável área basal G (m²) a partir das informações dos semivariogramas para os anos de 2013, 2015 e 2017.

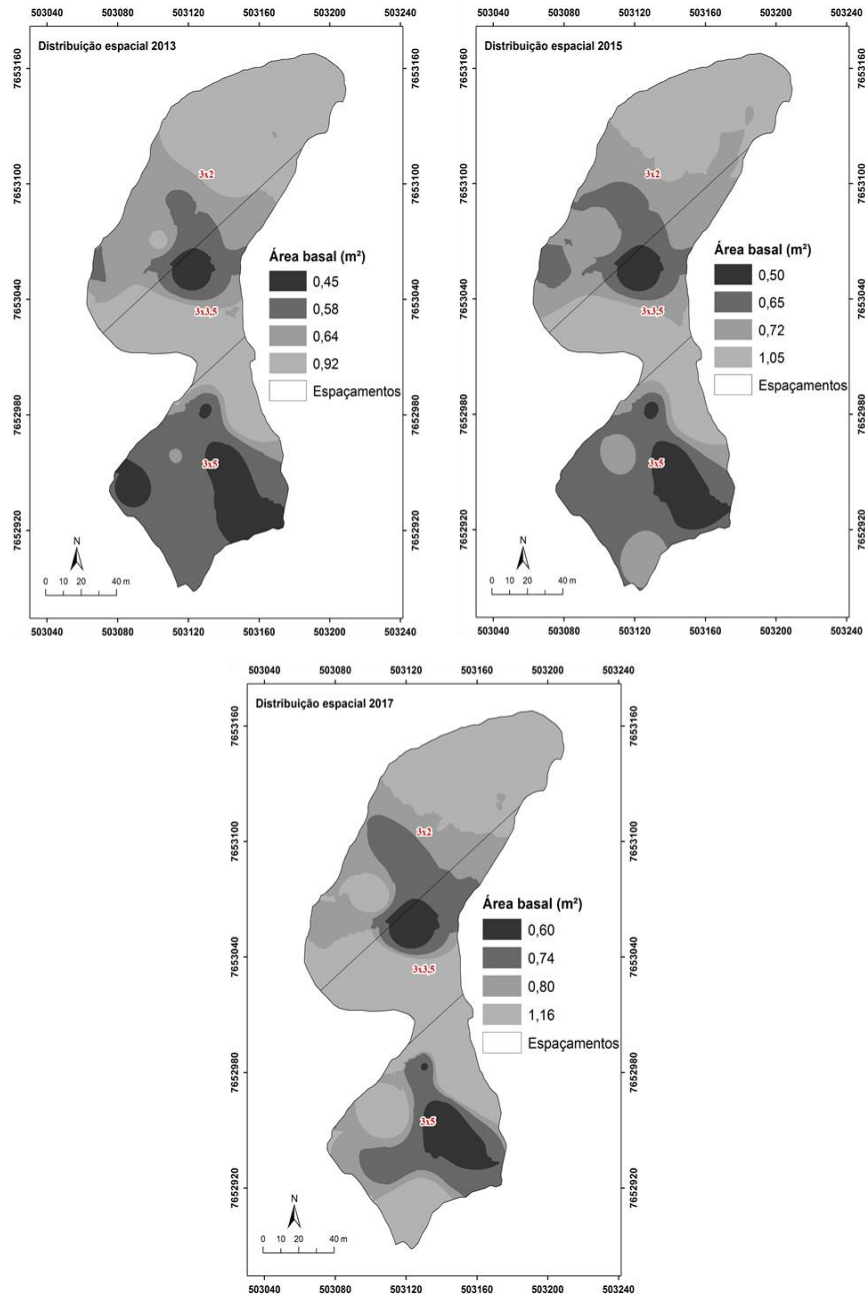
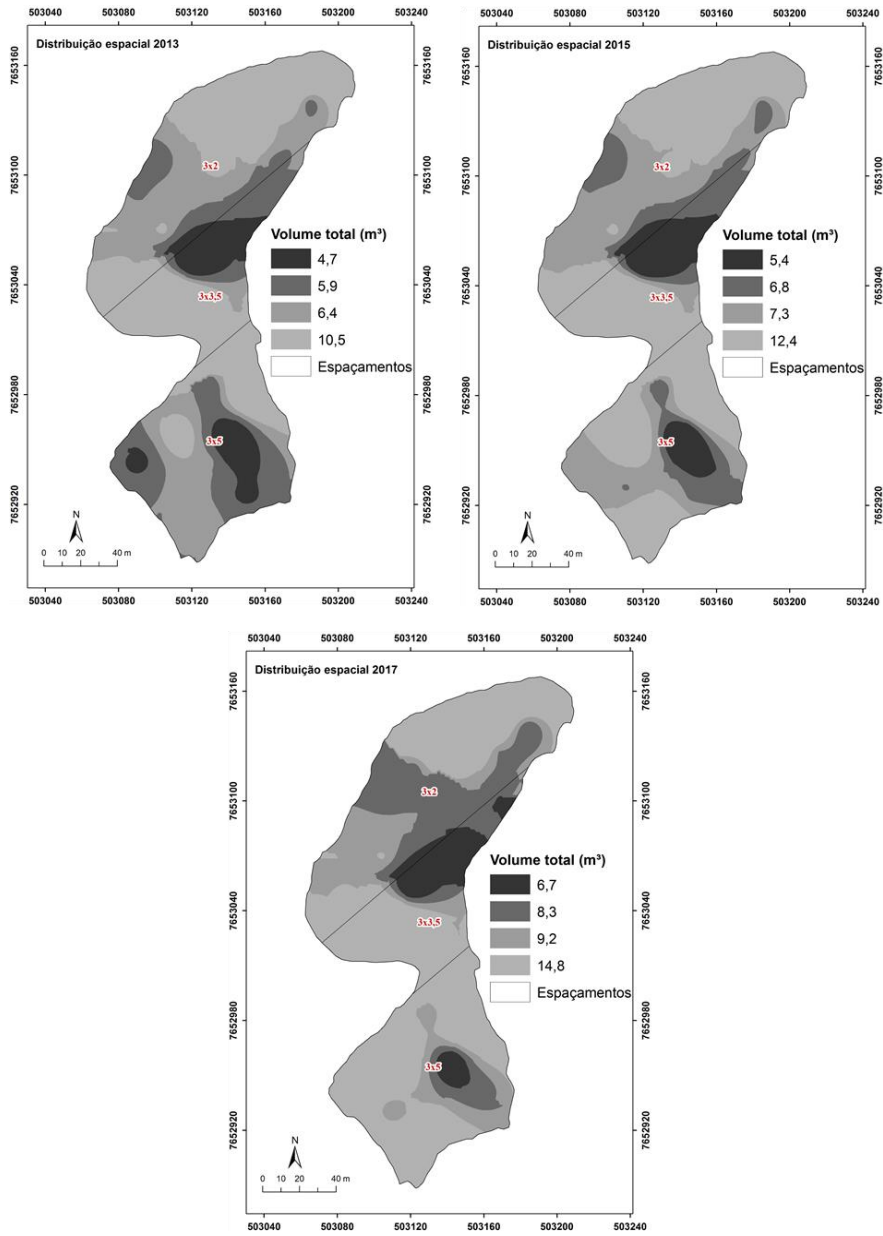
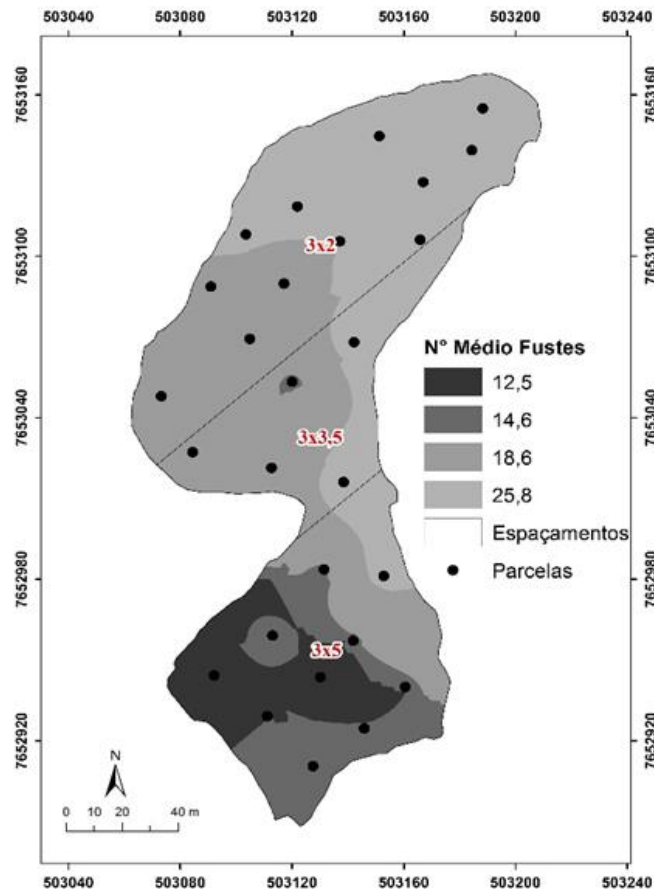


Figura 31 - Mapas de krigagem para variável volume V (m³) a partir das informações dos semivariogramas para os anos de 2013, 2015 e 2017.



Para explicar a relação de valores de área basal e volume da krigagem com os valores de DAP apresentados na Tabela 4, foi necessário construir o mapa de krigagem do número de plantas. Nesse mapa é nítido que nos menores espaçamentos temos mais plantas por unidade de área e consequentemente contribuiu para o aumento da área basal e do volume (FIGURA 32).

Figura 32 - Mapa de krigagem do número médio de fustes ao longo dos anos de medição (2013, 2015 e 2017) por parcela nos diferentes espaçamentos.



Fonte: Do autor (2018).

Na Tabela 18, estão apresentados os resultados das estatísticas descritivas da variável hidrológica precipitação interna (mm), obtida pelo valor acumulado nos pluviômetros ao longo de 4 anos hidrológicos: Ano hidro 1 (2013-2014); Ano hidro 2 (2014-2015); Ano hidro 3 (2015-2016) e Ano hidro 4 (2016-2017). Os valores mais baixos foram observados para os anos de 2013 a 2014 e são consequências da baixa pluviosidade e alta demanda atmosférica que provocou uma seca anômala na região sudeste do Brasil, acarretando grave crise hídrica nesse período (COELHO; CARDOSO; FIRPO, 2016).

Tabela 18 - Análise exploratória com os valores de Média, Desvio Padrão, Coeficiente de variação (CV%) para a variável precipitação interna (mm/ano) avaliada ao longo de cada ano hidrológico.

Estatística	Precipitação interna (mm/ano)			
	Ano hidro 1	Ano hidro 2	Ano hidro 3	Ano hidro 4
Média	618,37	406,10	933,01	604,53
Desvio Padrão	187,07	67,32	112,67	82,83
CV (%)	30,25	16,57	12,07	13,70

Fonte: Do autor (2018).

Na Tabela 19, estão apresentados os dados de estatística descritiva da precipitação interna acumulada (mm/ano) dos anos hidrológicos 2013-2015 e 2015-2017.

Tabela 19 - Análise exploratória com os valores de Média, Desvio Padrão, Coeficiente de variação (CV%) para a variável precipitação interna acumulada (mm/ano) entre os anos (2013-2015) e (2015-2017).

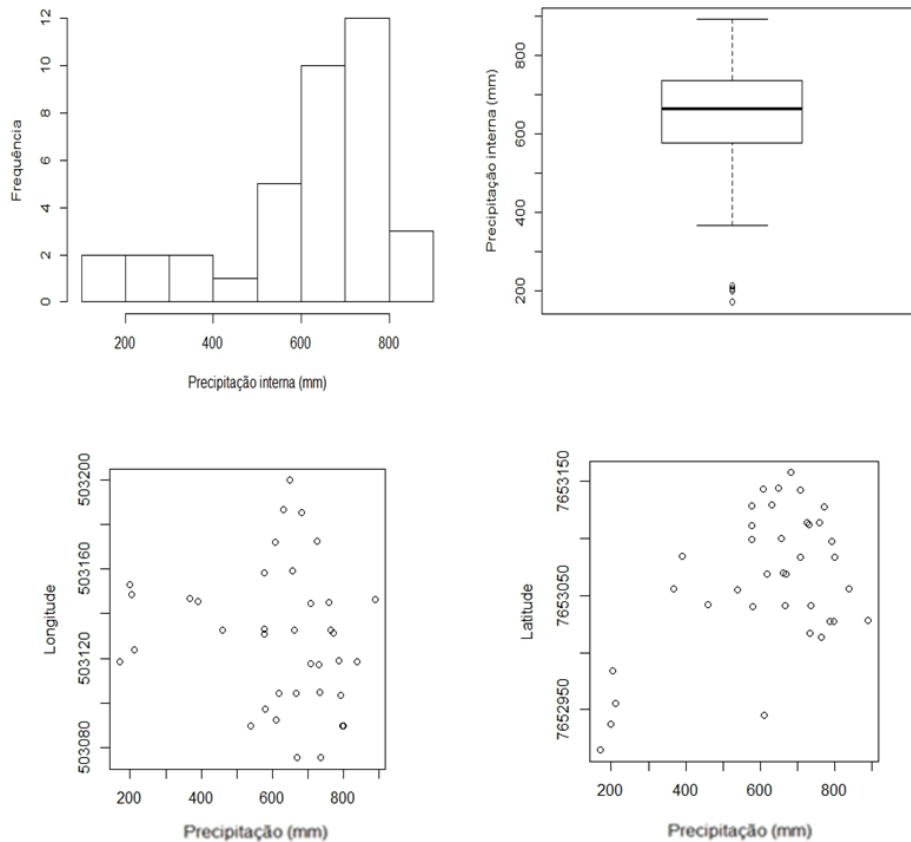
Estatística	Precipitação acumulada (mm/ano)	
	2013-2015	2015-2017
Média	1010,60	1551,30
Desvio Padrão	133,42	204,85
CV (%)	13,25	13,20

Fonte: Do autor (2018).

Os dados apresentaram normalidade, fato evidenciado pelos histogramas da variável, uma vez que são unimodais com tendência central. Essas e outras análises exploratórias, gráficos *boxplot* e gráficos de tendência em relação a longitude e latitude para o ano hidrológico 1 (2013-2014) são apresentadas nas Figuras 33.

As figuras que ilustram as análises exploratórias dos demais anos hidrológico: Ano hidro 2 (2014-2015), Ano hidro 3 (2015-2016), Ano hidro 4 (2016-2017), Acumulado 1 (2013-2015) e Acumulado 2 (2015-2017), se encontram no Anexo A.

Figura 33 - Gráficos exploratórios para o Ano hidrológicos 1. Analisando: histograma de frequência, *box plot* e relação da variável com a longitude e a latitude.



Fonte: Do autor (2018).

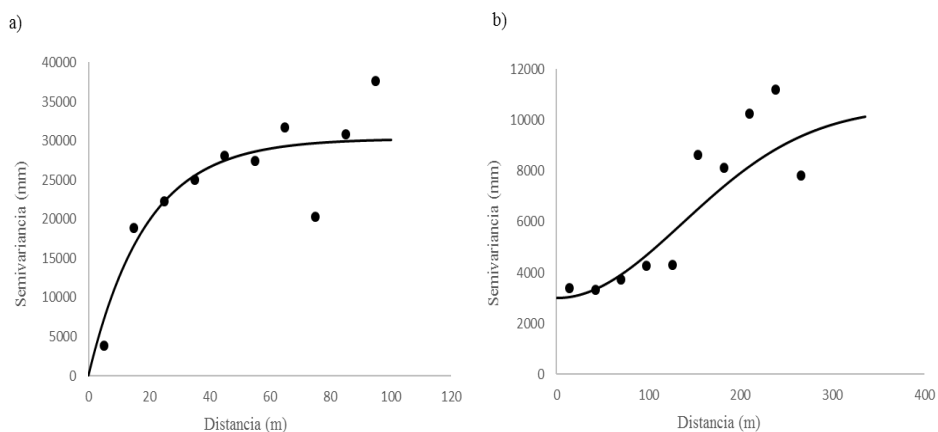
Na Tabela 20, estão os parâmetros do modelo espacial ajustado para a variável precipitação interna (mm/ano) e as Figuras 38, 39 e 40 trazem os respectivos semivariogramas. É possível observar que em todos os cenários, a variável apresentou grau de dependência espacial moderada ou forte. É também notável o menor alcance no período de 2013 a 2015 (anos hidrológicos 1 e 2), que foi o período mais seco dentro do intervalo estudado.

Tabela 20 - Parâmetros do modelo espacial selecionado, estatísticas da validação cruzada: erro médio reduzido (EMR) e desvio do erro médio (S_{ER}) e grau de dependência espacial da variável precipitação interna (mm).

Anos hidrológicos	Modelo Espacial	Parâmetros					
		τ^2	σ^2	ϕ	EMR	S_{ER}	DE (%)
Ano hidro 1	Exponencial	0,00	30239,50	56,63	0,028	0,897	100,00
Ano hidro 2	Gaussiano	3004,50	7507,04	336,00	0,007	0,964	71,42
Ano hidro 3	Gaussiano	8461,89	11452,49	220,00	0,023	0,982	57,51
Ano hidro 4	Gaussiano	5976,32	4447,02	336,00	-0,014	0,959	42,66
Acumulado 1	Gaussiano	20846,03	74549,65	264,00	0,019	1,008	78,15
Acumulado 2	Gaussiano	12114,62	23619,94	300,00	-0,002	0,951	66,10

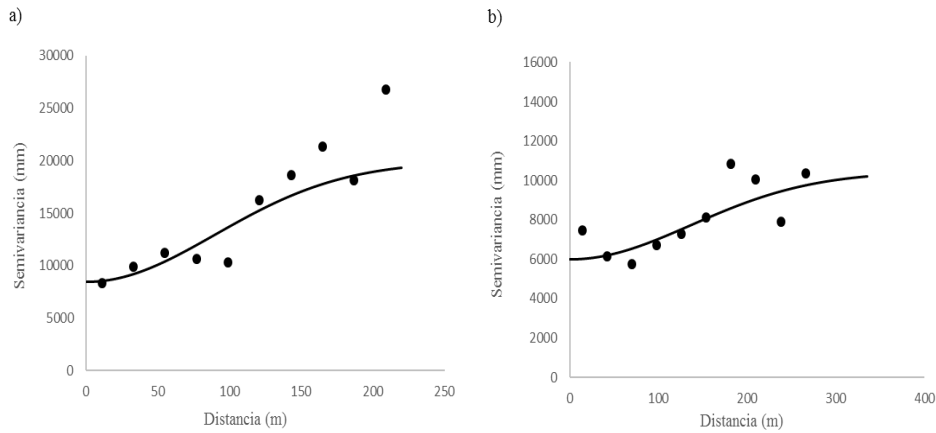
Fonte: Do autor (2018).

Figura 34 - Semivariogramas da precipitação interna (mm/ano) acumulada nos pluviômetros ao longo dos anos hidrológicos: a) Ano hidro 1 (2013-2014); b) Ano hidro 2 (2014-2015).



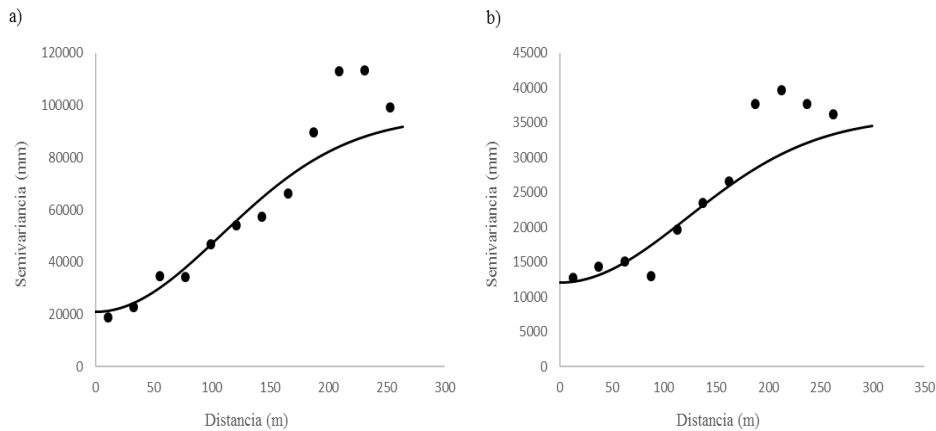
Fonte: Do autor (2018).

Figura 35 - Semivariogramas da precipitação interna (mm/ano) acumulada nos pluviômetros ao longo dos anos hidrológicos: a) Ano hidro 3 (2015-2016); b) Ano hidro 4 (2016-2017).



Fonte: Do autor (2018).

Figura 36 - Semivariogramas da precipitação interna (mm/ano) acumulada nos pluviômetros ao longo dos anos hidrológicos a) Ano hidro acumulado (2013-2015); b) Ano hidro acumulado (2015-2017).



Fonte: Do autor (2018).

A partir dos modelos espaciais ajustados foram gerados os mapas de krigagem ordinária apresentados nas Figuras 37 a 39. Nas Figuras 37 e 38, com maior resolução temporal, é possível observar os efeitos da seca de 2013-2014

na precipitação interna do plantio. Tal evento acarretou maior variabilidade espacial da precipitação interna, com menores alcances do modelo espacial. A precipitação acumulada apresentada na Figura 39 também reflete a seca histórica de 2013-2014.

A partir dos mapas de krigagem das variáveis dendrométricas e hidrológicas é possível perceber que, em geral, regiões de espaçamento mais adensado, com menor diâmetro médio individual e menor altura média por área, recebem em média menor lâmina de precipitação interna na área. Neste trabalho, a questão de crescimento será tratada com referência ao DAP, uma vez que essa variável dendrométrica em conjunto com a altura, são as que de fato crescem e possibilitam a geração de outras características.

Figura 37 - Mapas de krigagem para precipitação interna (mm/ano) nos anos: a) Ano hidrológico 1 (2013-2014); b) Ano hidrológico 2 (2014-2015).

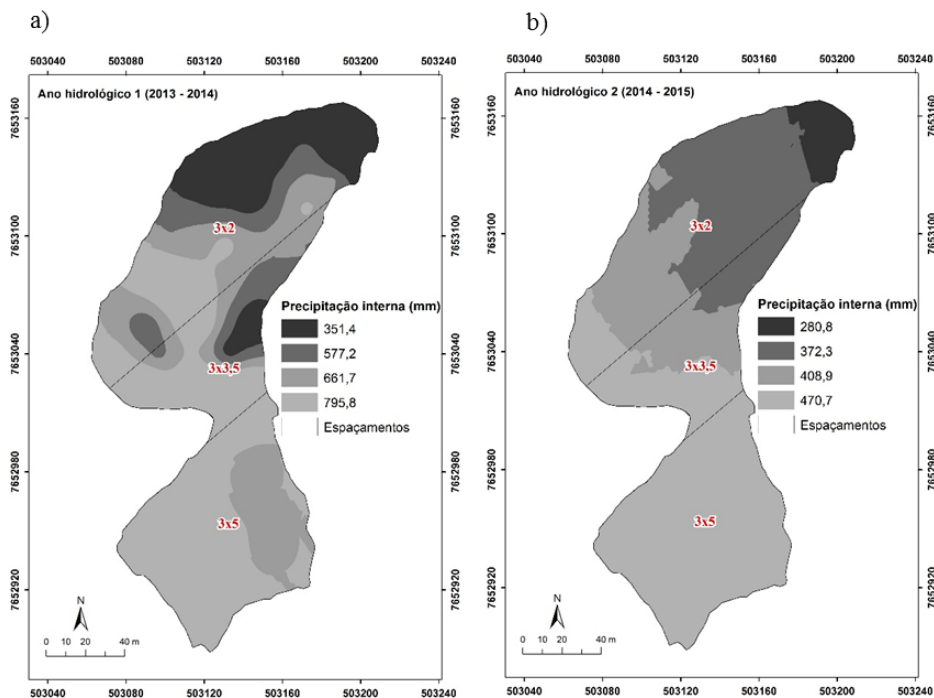
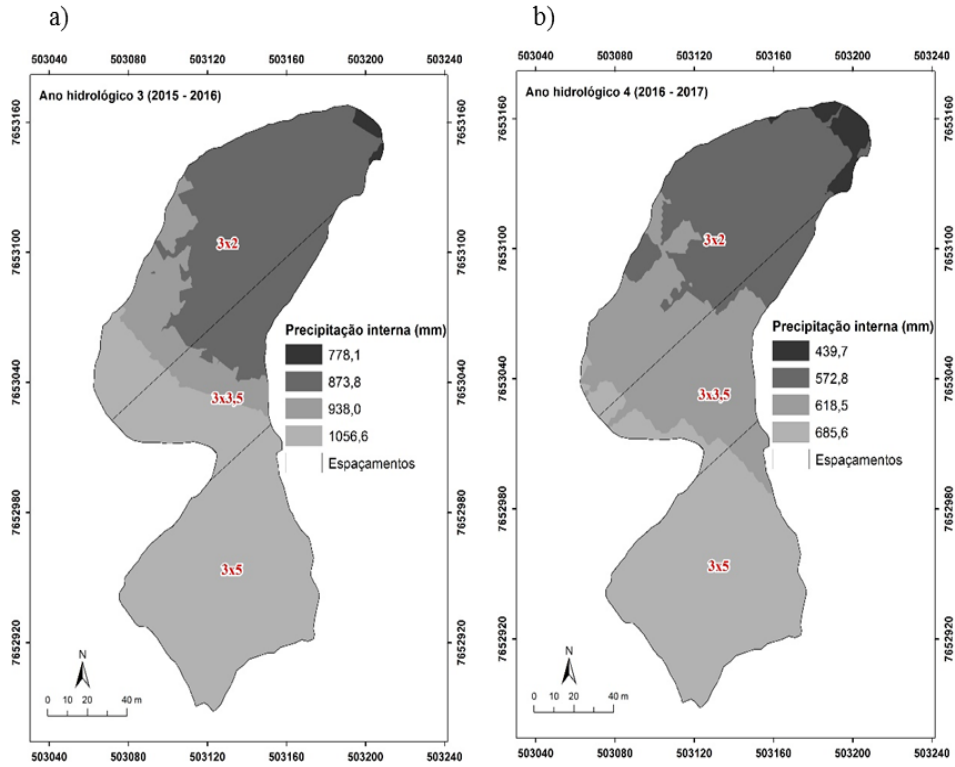
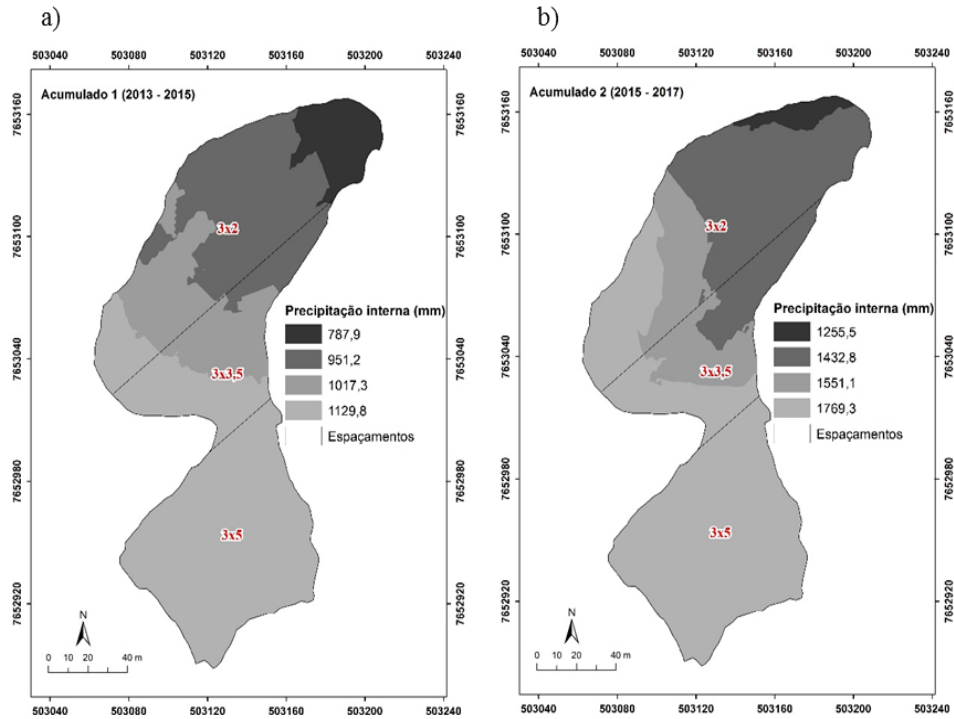


Figura 38 - Mapas de krigagem para precipitação interna (mm/ano) nos anos: a) Ano hidrológico 3 (2015-2016); b) Ano hidrológico 4 (2016-2017).



Fonte: Do autor (2018).

Figura 39 - Mapas de krigagem para precipitação interna (mm/ano) nos anos: a) Ano hidrológico acumulado 1 (2013-2015); b) Ano hidrológico acumulado 2 (2015-2017).



Fonte: Do autor (2018).

Em regiões de espaçamento menos adensado, com maior média de diâmetro individual e maior altura média recebem em média maior lâmina de precipitação interna na área, como apresentado nas figuras 37, 38 e 39 localizadas na região sul do povoamento. A competição, interação entre dois ou mais indivíduos que disputam o mesmo recurso, pode explicar o padrão encontrado. Assim, quando os recursos são limitados, há uma tendência à diminuição global da taxa de crescimento, do metabolismo, da sobrevivência ou da adequação de um organismo abaixo de sua condição ideal (WELDEN; SLAUSON, 1989). No presente caso, a competição mais intensa no

espaçamento mais adensado, propiciou árvores com menores dimensões, com reflexo na produtividade por área.

Em se tratando de recursos para crescimento e produção florestal, a água proveniente da precipitação e a luz emergem como os principais. No que se refere à precipitação, tem-se que em uma floresta, parte da precipitação incidente é interceptada pelo dossel e, dessa parte retorna à atmosfera por evaporação (ÁVILA et al., 2014). No presente estudo, a porção do povoamento com espaçamento mais adensado, provavelmente promove uma maior interceptação da precipitação, que é então evaporada. Essa região possui, portanto, menor precipitação interna. O contrário é verdadeiro para a região de espaçamento menos adensado. Possibilitando assim maiores crescimentos das características dendrométricas mensuradas nos indivíduos da floresta.

Portanto, no espaçamento mais adensado, a menor precipitação interna, que é a porção da precipitação que atinge o solo (FERREIRA; LUIZÃO; DALLAROSA, 2005), juntamente como a maior competição por esse recurso (em decorrência do maior número de árvores) são os prováveis responsáveis pelos menores valores de DAP nesse espaçamento. Afinal, a disponibilidade hídrica, tanto em florestas plantadas (SOUZA et al., 2006) quanto em florestas nativas (TERRA et al., 2018b), é fator determinante do crescimento e produção florestal.

5 CONCLUSÕES

O povoamento florestal encontra-se em estágio avançado de idade e os espaçamentos tiveram influência marcante no desenvolvimento das variáveis dendrométricas.

O espaçamento mais adensado (3x2) apresentou os menores valores de DAP em comparação aos demais (3x3,5 e 3x5). Contudo, nesse espaçamento se encontram os maiores valores da área basal e volume total e por hectare, em razão da maior concentração de fustes por área.

O ajuste do modelo de Reineke, pelo método de regressão linear, descreve a relação entre o número de fustes e o diâmetro quadrático médio, contribuindo para determinar o limite de densidade. O valor do índice de densidade do povoamento de 1207 é equivalente ao de outras espécies de crescimento rápido e assemelha-se ao definido por Reineke de 1209.

A região do povoamento com espaçamento mais adensado apresentou 83% de suas parcelas passando pela reta de máximo *IDP*. Os demais espaçamentos tiveram comportamento moderado em relação ao número de parcelas em competição sendo 40% (3x3,5) e 20% (3x5).

A mortalidade de árvores manifesta-se em maiores taxas no espaçamento mais adensado situando nas classes inferiores de diâmetro, confirmando que essa ocorrência pode ser tratada pela competição.

O monitoramento das variáveis meteorológicas no povoamento mostrou um comportamento diferenciado em comparação às médias históricas do município. As temperaturas apresentaram médias ligeiramente superiores aos valores das normais climatológicas, com um acréscimo de 0,4 ° C ao longo do período monitorado.

A umidade do ar apresentou valores abaixo da média histórica e a precipitação ao longo dos anos apresenta valores inferiores à normal

climatológica. A seca anômala no período foi evidente, porém não afetou as exigências climáticas para o desenvolvimento do eucalipto.

A precipitação interna no período analisado correspondeu a 70,3% da precipitação incidente total. Referindo-se a precipitação interna nos períodos sazonais: 80% no período chuvosa e 20% no período seco.

A parte escoada pelo tronco apresentou 114,3 mm da precipitação incidente, que em porcentagem representa 2,5%. Os anos hidrológicos de 2013 e 2014 foram os que tiveram as menores taxas de precipitação interna, reforçando a crise hídrica no período.

As variáveis dendrométricas DAP, área basal e volume apresentaram-se organizadas espacialmente com grau de dependência espacial (DE) forte em todos os anos de análise. Os mapas de Krigagem retrataram o comportamento dessas variáveis em relação a divisão dos espaçamentos.

Sobre a precipitação interna a estrutura espacial apresentou-se de forte a moderada. E a partir dos mapas foi possível observar um aumento progressivo da precipitação nos espaçamentos menos adensados

REFERÊNCIAS

- ACERBI JÚNIOR, F. W. et al. Change detection in Brazilian savannas using semivariograms derived from NDVI images. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 39, n. 2, p. 103-109, fev./mar. 2015.
- ALMEIDA, A. C. de; SOARES, J. V. Comparação entre uso de água em plantações de *Eucalyptus grandis* e floresta ombrófila densa (Mata Atlântica) na costa leste do Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 27, n. 2, p. 159-170, 2003.
- ALVARES, C. A. et al. Climatic favour ability zones for *Eucalyptus* rust in Brazil. **Forest Pathology**, London, v. 47, n. 1, p. e12301, 2017.
- ARCOVA, F. C. S.; CICCIO, V. de; ROCHA, P. A. B. Precipitação efetiva e interceptação das chuvas por floresta de Mata Atlântica em uma microbacia experimental em Cunha, São Paulo. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 27, n. 2, p. 257-262, 2003.
- ASSMANN, E. **The principles of forest yield study**. Oxford: Pergamon Press, 1970.
- ÁVILA, L. F. et al. Continuidade e distribuição espacial da umidade do solo em bacia hidrográfica da Serra da Mantiqueira. **Agriambi**, Campina Grande, v. 14, n. 12, p. 1257-1266, 2010.
- ÁVILA, L. F. et al. Partição da precipitação pluvial em uma microbacia hidrográfica ocupada por Mata Atlântica na Serra da Mantiqueira, MG. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 3, p. 583-595, 2014.
- BALBINOT, R. et al. O papel da floresta no ciclo hidrológico em bacias hidrográficas. **Ambiência**, Guarapuava, v. 4, n. 1, p. 131-149, 2008.
- BAMBERG, R. **Análise da influência das variáveis meteorológicas no crescimento em diâmetro e altura de quatro espécies florestais**. 2014. 56 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)-Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.
- BETONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. Precipitação. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: Ed. UFRGS; ABRH, 2007. p. 177-242.

BINKLEY, D. et al. Explaining growth of individual trees: light interception and efficiency of light use by *Eucalyptus* at four sites in Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 259, n. 9, p. 1704-1713, 2010.

BOISVENUE, C.; RUNNING, S. W. Impacts of climate change on natural forest productivity-evidence since the middle of the 20th century. **Global Change Biology**, Oxford, v. 12, n. 5, p. 862-882, 2006.

BUGG, A. L. et al. Application of three modelling approaches to simulating tree growth in central NSW, Australia. **Environmental Modelling & Software**, Oxford, v. 21, n. 3, p. 310-319, 2006.

BURKHARD, H. E.; TOMÉ, M. **Modeling forest trees and stands**. Dordrecht: Springer Science; Business Media, 2012. 457 p.

CALUX, J.; THOMAZ, E. L. Interceptação e precipitação interna: comparação entre floresta ombrófila mista e *Pinus elliottii* var. *elliotti*. **Geoambiente**, Jataí, n. 19, p. 1-16, 2012.

CAMBARDELLA, C. A. et al. **Field scale variability of soil properties in central forest**. Wallingford: CAB International, 1994. 312 p.

CAMPOE, O. C. et al. Meteorological seasonality affecting individual tree growth in forest plantations in Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 380, p. 149-160, 2016.

CAMPOE, O. C. et al. Stem production, light absorption and light use efficiency between dominant and non-dominant trees of *Eucalyptus grandis* across a productivity gradient in Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 288, p. 14-20, 2013.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 4. ed. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2013.

CARVALHO, L. G. et al. Zoneamento da cana-de-açúcar e do eucalipto: aspectos geofísicos e bióticos. In: _____. **Zoneamento ecológico-econômico do Estado de Minas Gerais: zoneamento e cenários exploratórios**. Lavras: Ed. UFLA, 2008. v. 2, p. 53-60.

CARVALHO, S. P. C. et al. Modelos não lineares generalizados aplicados na predição da área basal e volume de *Eucalyptus* clonal. **Cerne**, Lavras, v. 17, n. 4, p. 541-548, 2011.

CASTEDO-DORADO, F. et al. Development of a stand density management diagram for radiata pine stands including assessment of stand stability. **Forestry**, Oxford, v. 82, n. 1, p. 1-16, Jan. 2009.

CASTRO, R. V. O. et al. Crescimento e produção de plantios comerciais de eucalipto estimados por duas categorias de modelos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 48, n. 3, p. 287-295, mar. 2013.

CASTRO, R. V. O. et al. Modelagem do crescimento e da produção de povoamentos de *Eucalyptus* em nível de distribuição diamétrica utilizando índice de local. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 40, n. 1, p. 107-116, 2016.

CASTRO NETO, F. **Uso de variáveis climáticas para classificação de sítios em povoamentos de eucalipto**. 2015. 135 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015.

CENTRO DE PREVISÃO DO TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS. **Boletim InfoClima**. 2015. Disponível em: <<http://infoclima1.cptec.inpe.br/>>. Acesso em: 26 jun. 2018.

CLUTTER, J. L. et al. **Timber management: a quantitative approach**. New York: J. Wiley, 1983.

COELHO, C. A. S.; CARDOSO, D. H. F.; FIRPO, M. A. F. A seca de 2013 a 2015 na região sudeste do Brasil. **Climanálise**, São José dos Campos, p. 55-61, 2016. Edição especial de 30 anos.

CONSENSA, C. B. **Precipitação pluviométrica e interna em povoamentos de *Eucalyptus* spp. em Rosário**. 2012. 95 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

COOMES, D. A.; ALLEN, R. B. Effects of size, competition and altitude on tree growth. **Journal of Ecology**, Hoboken, v. 95, n. 5, p. 1084-1097, 2007.

COSTA, E. A.; FINGER, C. A. G.; HESS, A. F. Modelo de incremento em área basal para árvores de araucária de uma floresta inequiânea. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Brasília, DF, v. 35, n. 83, p. 239, 2015.

CRISTIANO, P. M. et al. High NDVI and potential canopy photosynthesis of South American subtropical forests despite seasonal changes in Leaf Area Index and air temperature. **Forests**, Basel, v. 5, n. 2, p. 287-308, 2014.

CRUZ, J. P. et al. Curvas de crescimento e de índice de local para povoamentos de *Tectona grandis* em Tangará da Serra, Mato Grosso. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 32, n. 4, p. 679-685, 2008.

CURTO, R. D. A. et al. Density of *Araucaria angustifolia* wood from overstocked stand. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Brasília, DF, v. 36, n. 85, p. 51, 2016.

DANTAS, A. A. A.; CARVALHO, L. G. de; FERREIRA, E. Comunicação classificação e tendências climáticas em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 6, p. 1862-1866, nov./dez. 2007.

DINIZ, F. de A.; RAMOS, A. M.; REBELLO, E. R. G. Brazilian climate normals for 1981-2010. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 53, n. 2, p. 131-143, fev. 2018.

DINIZ, F. S. **Métodos de amostragem e geostatística aplicada ao inventário florestal**. 2007. 87 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.

DOBBERTIN, M.; BIGING, G. S. Using the non-parametric classifier CART to model forest tree mortality. **Forest Science**, Bethesda, v. 44, p. 507-516, 1998.

DUARTE, J. B. **Sobre o emprego e a análise estatística do delineamento em blocos aumentados no melhoramento genético vegetal**. 2000. 293 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2000.

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. **ArcGIS Desktop**: release 10. Redlands, 2018.

FACCO, A. G. **Modelagem do balanço hídrico em microbacia hidrográfica com plantio eucalipto**. 2008. 107 p. Tese (Doutorado em Meteorologia Agrícola)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2008.

FARIAS, O. G.; FRANCISCO, C. N.; SENNA, M. C. A. Avaliação de métodos de interpolação espacial aplicados à pluviosidade em região montanhosa no litoral sul do estado Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Climatologia**, Presidente Prudente, v. 21, p. 172-185, jul./dez. 2017.

FEREZ, A. P. et al. Silvicultural opportunities for increasing carbon stock in restoration of Atlantic forests in Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 350, p. 40-45, 2015.

FERRAZ FILHO, A. C. **Sistema de prognose do crescimento e produção para *Pinus taeda* L. sujeito a regimes de desbastes e podas**. 2009. 147 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

FERRAZ FILHO, A. C. et al. Dominant height projection model with the addition of environmental variables. **Cerne**, Lavras, v. 17, n. 3, p. 427-433, 2011.

FERREIRA, M. Z. **Modelagem da influência de variáveis ambientais no crescimento e produção de *Eucalyptus* sp.** 2009. 101 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

FERREIRA, S. J. F.; LUIZÃO, F. J.; DALLAROSA, R. G. Precipitação interna e interceptação da chuva em floresta de terra firme submetida à extração seletiva de madeira na Amazônia Central. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 35, n. 1, p. 55-62, 2005.

FREIRE, J. P. A. **Modelação do crescimento da árvore individual independente da distância para a *Pinus pinaster* Aiton em Portugal**. 2002. 115 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Lisboa, 2002.

GERRITS, A. M. J.; PFISTER, L.; SAVENIJE, H. H. G. Spatial and temporal variability of canopy and forest floor interception in a beech forest. **Hydrological Processes**, West Sussex, v. 24, p. 3011-3025, 2010.

GÓMEZ, J. A. et al. Rainfall concentration under olive trees. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 55, p. 53-70, 2002.

GONÇALVES, J. L. M. et al. Integrating genetic and silvicultural strategies to minimize abiotic and biotic constraints in Brazilian eucalypt plantations. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 301, p. 6-27, 2013.

GOUVEIA JUNIOR, W. V.; MATIAS, R. A. M.; SOARES, T. S. Desenvolvimento inicial de eucalipto clonal em diferentes espaçamentos. **Revista Agrotecnologia**, Ipameri, v. 7, n. 2, p. 40-46, 2016.

GUEDES, I. C. D. L. et al. Continuidade espacial de características dendrométricas em povoamentos clonais de *Eucalyptus sp.* avaliada ao longo do tempo. **Cerne**, Lavras, v. 21, n. 4, p. 527-534, 2015.

GUEDES, I. C. D. L. et al. Técnicas geoestatísticas e interpoladores espaciais na estratificação de povoamentos de *Eucalyptus sp.* **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 3, p. 541-550, jul./set. 2012.

HANSEN, J. et al. **Global temperature trends: 2005 summation**. Washington: NASA, 2006.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Anuário estatístico da indústria brasileira de árvores: ano base 2016**. Brasília, DF, 2017.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **An introduction to applied geostatistics**. New York: Oxford University Press, 1989.

JOURNEL, A. G.; HUIJBREGTS, C. J. **Mining geostatistics**. London: Academic, 1978. 600 p.

KANEGAE JUNIOR, H. **Avaliação de sistemas de inventários sucessivos e dos interpoladores espaciais como instrumento de estratificação de povoamentos clonais de *Eucalyptus sp.*** 2004. 132 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.

KANEGAE JÚNIOR, H. et al. Avaliação de interpoladores estatísticos e determinísticos como instrumento de estratificação de povoamentos clonais de *Eucalyptus sp.* **Cerne**, Lavras, v. 12, n. 2, p. 136, 2006.

KATO, H. et al. Effect of canopy interception on spatial variability and isotopic composition of throughfall in Japanese cypress plantations. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 504, p. 1-11, 2013.

KING, G. et al. Climatic drivers of hourly to yearly tree radius variations along a 6 °C natural warming gradient. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 168, p. 36-46, 2013.

KOZAR, B.; LAWRENCE, R.; LONG, S. D. Soil phosphorus and potassium mapping using a spatial correlation model incorporating terrain slope gradient. **Precision Agriculture**, Dordrecht, v. 3, n. 4, p. 407-417, Dec. 2002.

KRIGE, D. G. A statistical approach to some basic mine valuation problems on the Witwatersrand. **Journal of the Chemical, Metallurgical and Mining Society of South Africa**, Johannesburg, v. 52, p. 119-139, 1951.

LANDIM, P. M. B.; STURARO, J. R. **Krigagem Indicativa aplicada à elaboração de mapas probabilísticos de riscos**. Rio Claro: DGA, 2002.

LEVIA JUNIOR, D. F.; FROST, E. E. Variability of throughfall volume and solute inputs on wooded ecosystems. **Progress in Physical Geography**, London, v. 30, n. 5, p. 605-632, 2006.

LIMA, J. P. C.; LEÃO, J. R. A. Dinâmica de crescimento e distribuição diamétrica de fragmentos de florestas nativa e plantada na Amazônia sul ocidental. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 20, n. 1, p. 70-79, 2013.

LIMA, R. et al. Efeito do espaçamento no desenvolvimento volumétrico de *Pinus taeda* L. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 20, n. 2, p. 223-230, 2013.

LIMA, W. P. **Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas**. 2. ed. Piracicaba: Ed. ESALQ, 2008.

LIMA, W. P. **Interceptação da chuva por povoamentos de eucaliptos e de pinheiros**. Piracicaba: Instituto de Pesquisas Florestais, 1976.

LIVESLEY, S. J.; BAUDINETTE, B.; GLOVER, D. Rainfall interception and stem flow by eucalypt street trees: the impacts of canopy density and bark type. **Urban Forestry and Urban Greening**, New York, v. 13, n. 1, p. 192-197, 2014.

LOUREIRO, G. H. **Diagrama de manejo da densidade para *Araucaria angustifolia* (Bert.) Ktze**. 2013. 71 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)-Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

MAESTRI, R. et al. Modelagem do crescimento florestal considerando variáveis do ambiente: revisão. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 14, n. 3, p. 103-110, 2013.

MARANGON, G. P. et al. Dinâmica da distribuição diamétrica e produção de eucalipto em diferentes idades e espaçamentos. **Revista de Ciências Agrárias**, Recife, v. 60, n. 1, p. 33-37, 2017.

MATHERON, G. Principles of geostatistics. **Economic Geology**, Lancaster, v. 58, p. 1246-1266, 1963.

MCTAGUE, J. P.; WEISKITTEL, A. R. Individual-tree competition indices and improved compatibility with stand-level estimates of stem density and long-term production. **Forests**, Basel, v. 7, n. 10, p. 1-16, Oct. 2016.

MELLO, J. M. **Geoestatística aplicada ao inventário florestal**. 2004. 110 p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais, Silvicultura e Manejo Florestal)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2004.

MELLO, J. M. de et al. Ajuste e seleção de modelos espaciais de semivariograma visando à estimativa volumétrica de *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 69, n. 4, p. 25-37, 2005.

MELLO, J. M. de et al. Métodos de amostragem e geoestatística para estimativa do número de fustes e volume em plantios de *Eucalyptus grandis*. **Floresta**, Curitiba, v. 39, n. 1, p. 157-166, 2009.

MELO, E. A. **Desenvolvimento de modelos para crescimento florestal e afilamento de fuste**. 2014. 122 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

MELO NETO, J. O. **Modelagem hidrometeorológica associada a um povoamento clonal de eucalipto**. 2016. 264 p. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016.

MIRANDA, R. O. V. **Modelagem de árvores individuais para povoamentos não desbastados de *Pinus taeda* L.** 2016. 168 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal)-Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

MIRANDA, R. O. V. et al. Modelagem do crescimento e produção em classes de precipitação pluviométrica para *Eucalyptus sp.* **Floresta**, Curitiba, v. 45, n. 1, p. 117-128, 2015.

MITCHELL, H. C. Regulation of farm woodlands by rule of thumb. **Journal of Forest**, New York, n. 41, p. 243-248, 1943.

MONSERUD, R. A.; STERBA, H. Modeling individual tree mortality for Austrian forest species. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 113, n. 2, p. 109-123, 1999.

NUTTO, L. Manejo do crescimento diamétrico de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze. baseado na árvore individual. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 11, n. 2, p. 9-25, 2001.

OLIVEIRA, G. M. V. et al. Equações hipsométricas para *Eucalyptus spp.* não manejado em idade avançada com técnicas de inclusão de covariantes. **Cerne**, Lavras, v. 21, n. 3, p. 483-492, 2015.

OLIVEIRA, L. L. et al. Precipitação efetiva e interceptação em Caxiuanã, na Amazônia Oriental. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 38, p. 723-732, 2008.

OLIVEIRA JÚNIOR, J. C.; DIAS, H. C. T. Precipitação efetiva em fragmento da Mata Atlântica. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 29, n. 1, p. 9-15, 2005.

OTTO, F. E. L. et al. Embracing uncertainty in climate change policy. **Nature Climate Change**, London, v. 5, n. 10, p. 917, 2015.

PEINHOPF, C. **Determinação de variáveis dendrométricas de *Eucalyptus urograndis* com dados Lidar aerotransportado**. 2012. 55 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)-Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati, 2012.

PELLISSARI, A. L. et al. Geoestatística aplicada ao manejo de povoamentos florestais de teca, em períodos pré-desbaste seletivo, no Estado do Mato Grosso. **Revista Brasileira de Biometria**, São Paulo, v. 32, n. 3, p. 430-444, 2014.

POORTER, L.; BONGERS, F. **Ecology of tropical forests**. Wageningen: Agricultural University, 1993. 223 p.

POSSATO, E. L. **Manejo da densidade em povoamentos de eucalipto**. 2014. 111 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

POSSATO, E. L. et al. Estimate of stand density index for *Eucalyptus Urophylla* using different fit methods. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 40, n. 5, p. 921-929, 2016.

PRODAN, M. et al. **Mensura forestal**. San José: Instituto Interamericano de Cooperacion para la Agricultura, 1997.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2017. Disponível em: <<http://www.R-project.org>>. Acesso em: 10 maio 2017.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R**: a language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2018. Disponível em: <<http://www.R-project.org>>. Acesso em: 10 mar. 2018.

REINEKE, L. H. Perfecting a stand-density index for even-aged forests. **Journal of Agricultural Research**, Washington, v. 46, p. 627-638, 1933.

REINER, D. A. et al. O uso do eucalipto em diferentes espaçamentos como alternativa de renda e suprimento da pequena propriedade na região do sudeste do Paraná. **Synergismus Scyentífica**, Pato Branco, v. 6, n. 1, 2011. Disponível em: <<http://revistas.utfpr.edu.br/pb/index.php/SysScy/article/view/1303/798>>. Acesso em: 10 mar. 2017.

REIS, A. A. et al. Estratificação de um povoamento de eucalipto por interpoladores geoestatísticos e sensoriamento remoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 51, n. 10, p. 1751-1761, out. 2016.

REIS, A. A. et al. Estratificação em cerrado sensu stricto a partir de imagens de sensoriamento remoto e técnicas geoestatísticas. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 43, n. 106, p. 377-386, 2015.

REYES-HERNÁNDEZ, V. J.; COMEAU, P. G. The influence of stocking and stand composition on productivity of boreal trembling aspen-white spruce stands. **Forests**, Basel, v. 6, n. 12, p. 4573-4587, 2015.

RIBEIRO JÚNIOR, P. J.; DIGGLE, P. J. Geo R: a package for geostatistical analysis. **R-News**, Pelotas, v. 1, n. 2, p. 15-18, 2001.

ROSSI, L. M. B. et al. Modelagem da mortalidade em florestas naturais. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 37, n. 2, p. 275-291, 2007.

ROWLAND, L. et al. The sensitivity of wood production to seasonal and interannual variations in climate in a lowland Amazonian rainforest. **Oecologia**, New York, v. 174, n. 1, p. 295-306, 2014.

SCHNEIDER, P. R. et al. Análise da mortalidade de *Acacia mearnsii* De Wild. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 2, p. 137-143, 2005.

SCHNEIDER, P. R. et al. Influência do espaçamento no autodesbaste de povoamento monoclonal de *Eucalyptus saligna* Smith. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 1, p. 27-43, 2015.

SCHNEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P. S. P. **Introdução ao manejo florestal**. 2. ed. Santa Maria: FACOS-UFSM, 2008.

SCHUMACHER, F. X.; HALL, F. S. Logarithmic expression of timber tree. **Journal of Agricultural Research**, Washington, v. 47, n. 9, p. 719-734, 1933.

SCOLFORO, H. F. et al. Modeling dominant eight growth of eucalyptus plantations with parameters conditioned to climatic variations. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 380, p. 182-195, 2016.

SCOLFORO, J. R. S. **Manejo florestal**. Lavras: Ed. UFLA/FAEPE, 1998.

SCOLFORO, J. R. S. et al. Dominant height model for site classification of *Eucalyptus grandis* incorporating climatic variables. **International Journal of Forestry Research**, Cairo, v. 2013, p. 1-7, 2013.

SCOLFORO, J. R. S.; MELLO, J. M. **Inventário florestal**. Lavras: Ed. UFLA/FAEPE, 2006.

SHINZATO, E. T. et al. Escoamento pelo tronco em diferentes povoamentos florestais na Floresta Nacional de Ipanema em Iperó, Brasil. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 39, n. 92, p. 395-402, 2011.

SILVA, K. E. et al. Padrões espaciais de espécies arbóreas tropicais. In: MARTINS, S. V. (Ed.). **Ecologia de florestas tropicais do Brasil**. 2. ed. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2012. p. 216-244.

SILVEIRA, E. R.; REINER, D. A.; SMANIOTTO, J. R. Efeito do espaçamento de plantio na produção de madeira e serapilheira de *Eucalyptus dunnii* na região Sudoeste do Paraná. **Revista Técnico Científica**, Curitiba, n. 2, p. 1-9, 2014.

SOKAL, R. R.; ROHLF, F. J. **Biometry**: the principles of statistics in biological research. New York: W. H. Freeman, 1995.

SOUZA, M. J. H. et al. Disponibilidade hídrica do solo e produtividade do eucalipto em três regiões da Bacia do Rio Doce. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 30, n. 3, p. 399-410, 2006.

SPANNER, M. A. et al. The seasonality of AVHRR data of temperate coniferous forests: relationship with leaf area index. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 33, n. 2, p. 97-112, 1990.

SPERANDIO, H. V. et al. Zoneamento agroecológico para espécies de eucalipto no Estado do Espírito Santo. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 11, n. 34, p. 203-216, jun. 2010.

STAPE, J. L. **Production ecology of clonal Eucalyptus plantations in northeastern Brazil**. 2002. 225 p. Thesis (Ph.D. in Forest Sciences)-Colorado State University, Fort Collins, 2002.

STAPE, J. L.; BINKLEY, D.; RYAN, M. G. Eucalyptus production and the supply, use and efficiency of use of water, light and nitrogen across a geographic gradient in Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 193, n. 1, p. 17-31, 2004.

STAPE, J. L. et al. The Brazil Eucalyptus potential productivity project: influence of water, nutrients and stand uniformity on wood production. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 259, n. 9, p. 1684-1694, 2010.

STEALENS, J. et al. Rainfall partitioning into throughfall, stemflow and interception within a single beech (*Fagus sylvatica* L.) canopy: influence of foliation, rain event characteristics and meteorology. **Hydrological Processes**, West Sussex, v. 22, p. 33-45, 2008.

TANG, S.; MENG, C. H.; MENG, F. R. A growth and self-thinning model for pure even-aged stands: theory and applications. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 70, n. 1, p. 67-73, 1994.

TÉO, S. J. et al. Índice de densidade do povoamento para Bracatingais nativos da região metropolitana de Curitiba, PR. **Cerne**, Lavras, v. 14, n. 1, p. 54-61, 2007.

TERRA, M. de C. N. S. et al. Stemflow in a neotropical forest remnant: vegetative determinants, spatial distribution and correlation with soil moisture. **Trees**, Berlin, v. 32, n. 1, p. 323-335, 2018a.

TERRA, M. de C. N. S. et al. Water availability drives gradients of tree diversity, structure and functional traits in the Atlantic-Cerrado-Caatinga transition, Brazil. **Journal of Plant Ecology**, Oxford, 2018b. Disponível em: <<https://academic.oup.com/jpe/advance-article/doi/10.1093/jpe/rtz017/5032688>>. Acesso em: 10 set. 2018.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. Centerton: Drexel Institute of Technology, Laboratory of Climatology, 1955. 104 p.

TONELLO, K. C. et al. Precipitação efetiva em diferentes formações florestais na Floresta Nacional de Ipanema. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 38, n. 2, p. 383-390, 2014.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 3. ed. Porto Alegre: Ed. UFRGS; ABRH, 2002.

TUCCI, C. E. M. Interceptação. In: _____. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: ABRH; EDUSP, 2007. v. 4, p. 243-252.

TUCCI, C. E. M. et al. Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas. In: _____. **Pequenas bacias hidrográficas: conceitos básicos**. Porto Alegre, ABRH, 2001. cap. 1.

URRUTIA-JALABERT, R. et al. Environmental correlates of stem radius change in the endangered *Fitzroya cupressoides* forests of southern Chile. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 200, p. 209-221, 2015.

VANCLAY, J. K. **Modelling forest growth and yield: applications to mixed tropical**. Wallingford: CAB International, 1994.

VENEGAS-GONZÁLEZ, A. et al. Sensitivity of tree ring growth to local and large-scale climate variability in a region of Southeastern Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, Wien, v. 123, n. 1/2, p. 233-245, 2016.

VIOLA, M. R. et al. Métodos de interpolação espacial para o mapeamento da precipitação pluvial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 9, p. 970-978, 2010.

WEISKITTEL, A. R. et al. **Forest growth and yield modeling**. Oxford: J. Wiley, 2011. 415 p.

WELDEN, C. W.; SLAUSON, W. L. The intensity of competition versus its importance: an overlooked distinction and some implications. **Quarterly Review of Biology**, Chicago, v. 61, p. 23-44, 1989.

WILSON, F. G. Numerical expression of stocking in terms of height. **Journal of Forest**, New York, v. 44, n. 10, p. 758-761, 1946.

YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M. B. **Geoestatística: conceitos e aplicações**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

YODA, K. et al. Self-thinning in over rowed pure stands under cultivated and natural conditions. **Journal of Biology**, Osaka City, v. 14, p. 107-129, 1963.

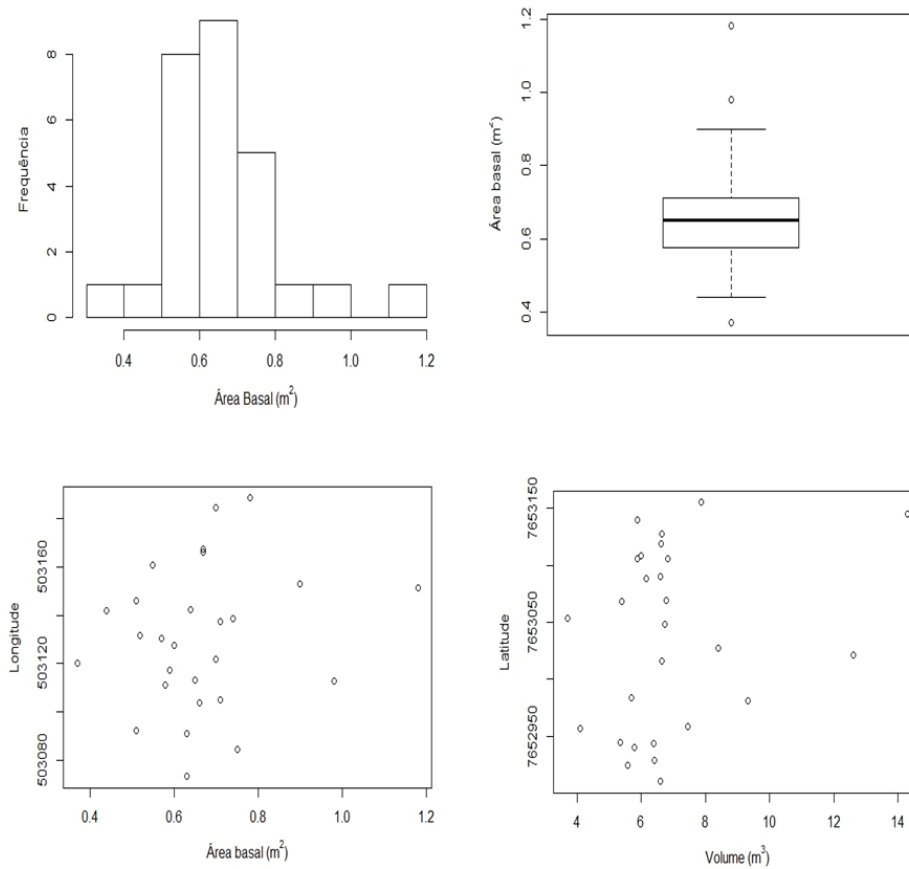
ZAMIN, N. T. **Modelagem da produção mensal de indivíduos de *Araucaria angustifolia* e *Pinus taeda* com inclusão de variáveis meteorológicas**. 2013. 97 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)-Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

ZANON, M. L. B.; FINGER, C. A. G. Relação de variáveis meteorológicas com o crescimento das árvores de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em povoamentos implantados. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 3, p. 467-476, 2010.

ZHANG, L.; DAWES, W. R.; WALKER, G. R. **Predicting the effect of vegetation changes on catchment average water balance**. Canberra: CRC for Catchment Hydrology, 1999. 42 p. (Technical report, 99/12).

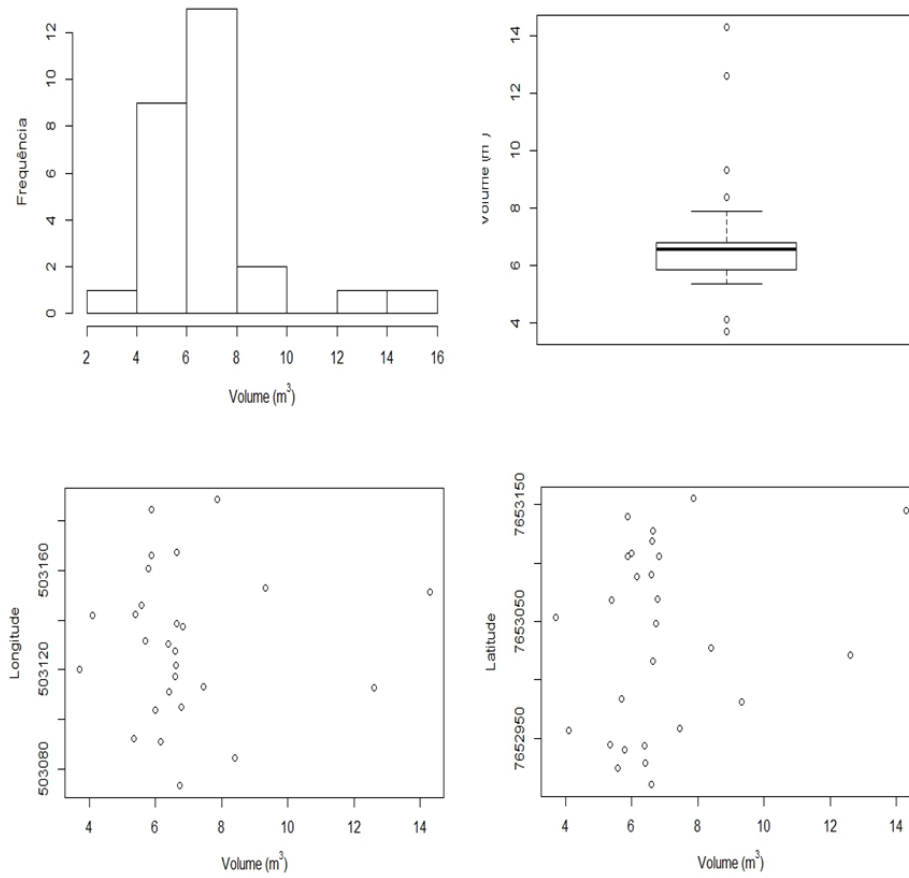
ANEXO A – FIGURAS

Figura 1- Gráficos exploratórios para o ano de 2013 para a variáveis Área Basal (m^2). Analisando: histograma de frequência, gráficos de boxplot e a relação da variável com a longitude e a latitude.



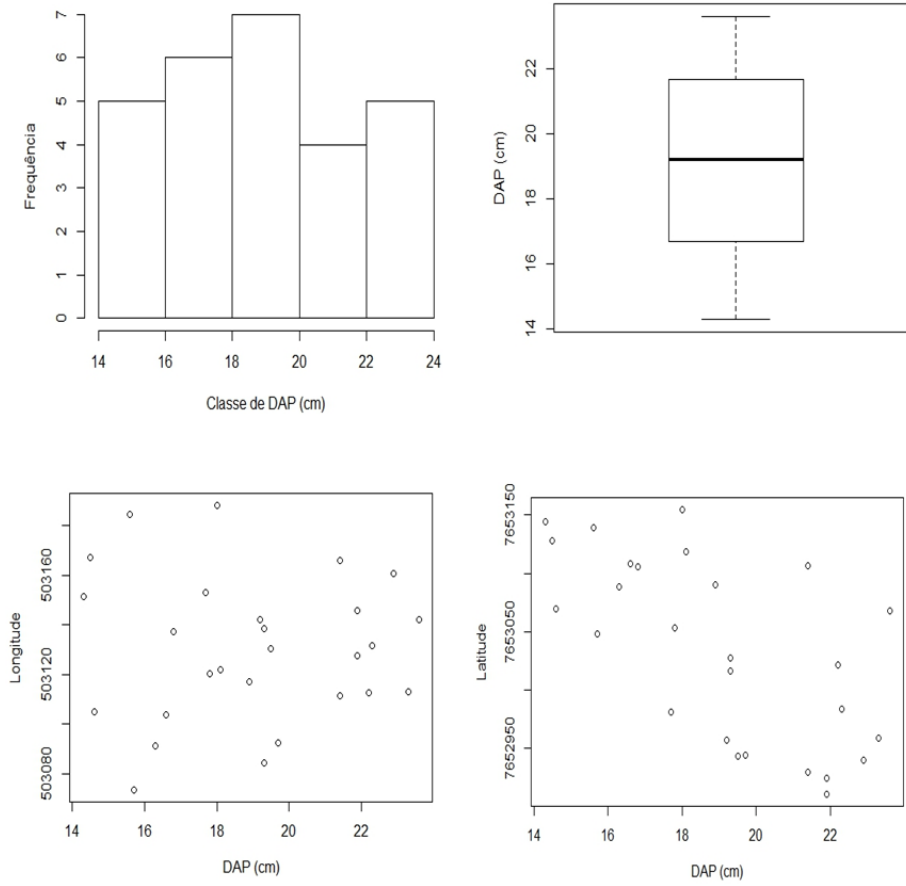
Fonte: Do autor (2018).

Figura 2 - Gráficos exploratórios para o ano de 2013 para a variáveis Volume (m^3). Analisando: histograma de frequência, gráficos de boxplot e a relação da variável com a longitude e a latitude.



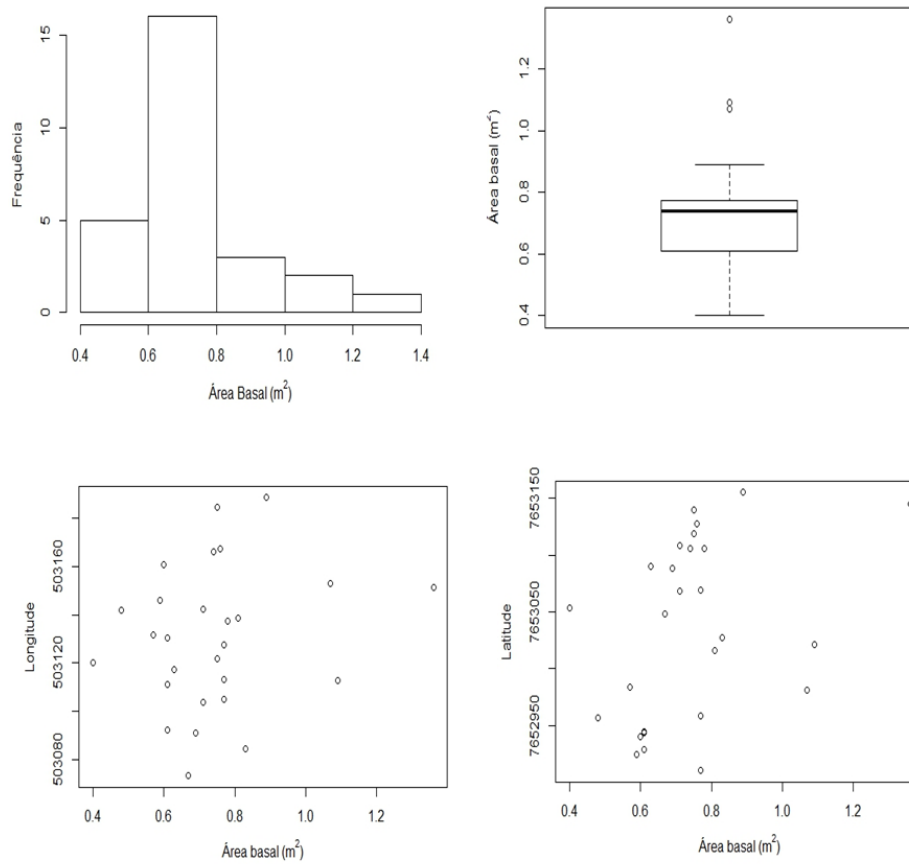
Fonte: Do autor (2018).

Figura 3 - Gráficos exploratórios para o ano de 2015 para a variáveis DAP (cm).
Analisando: histograma de frequência, gráficos de boxplot e a relação
da variável com a longitude e a latitude.



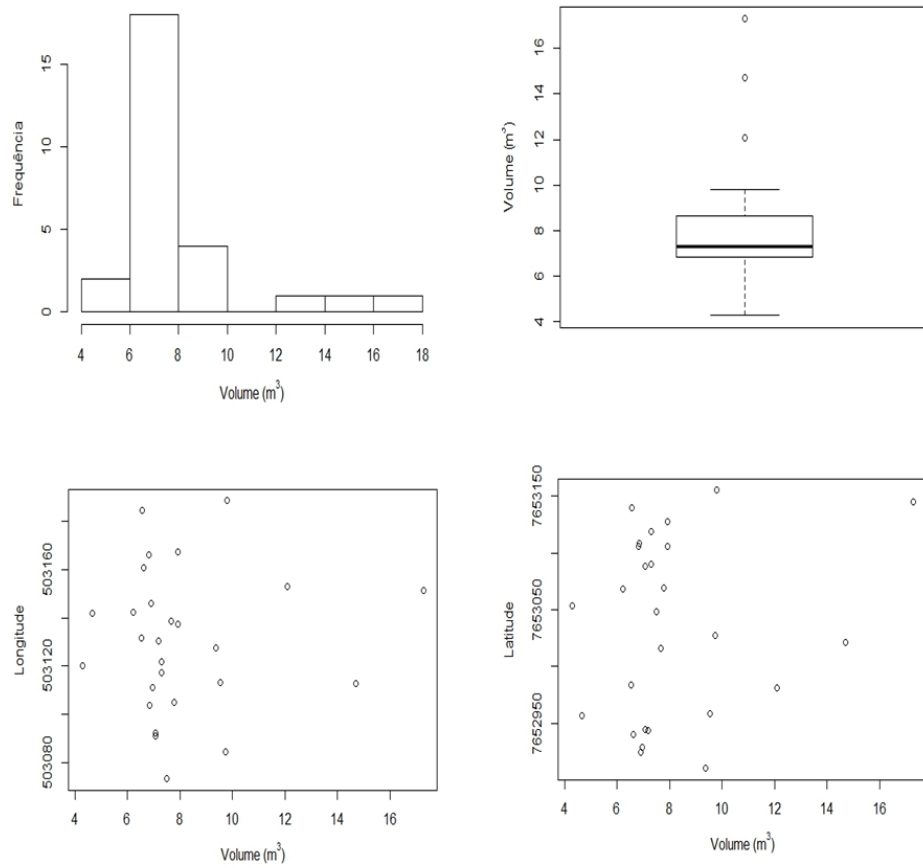
Fonte: Do autor (2018).

Figura 4 - Gráficos exploratórios para o ano de 2015 para a variáveis Área Basal (m^2). Analisando: histograma de frequência, gráficos de boxplot e a relação da variável com a longitude e a latitude.



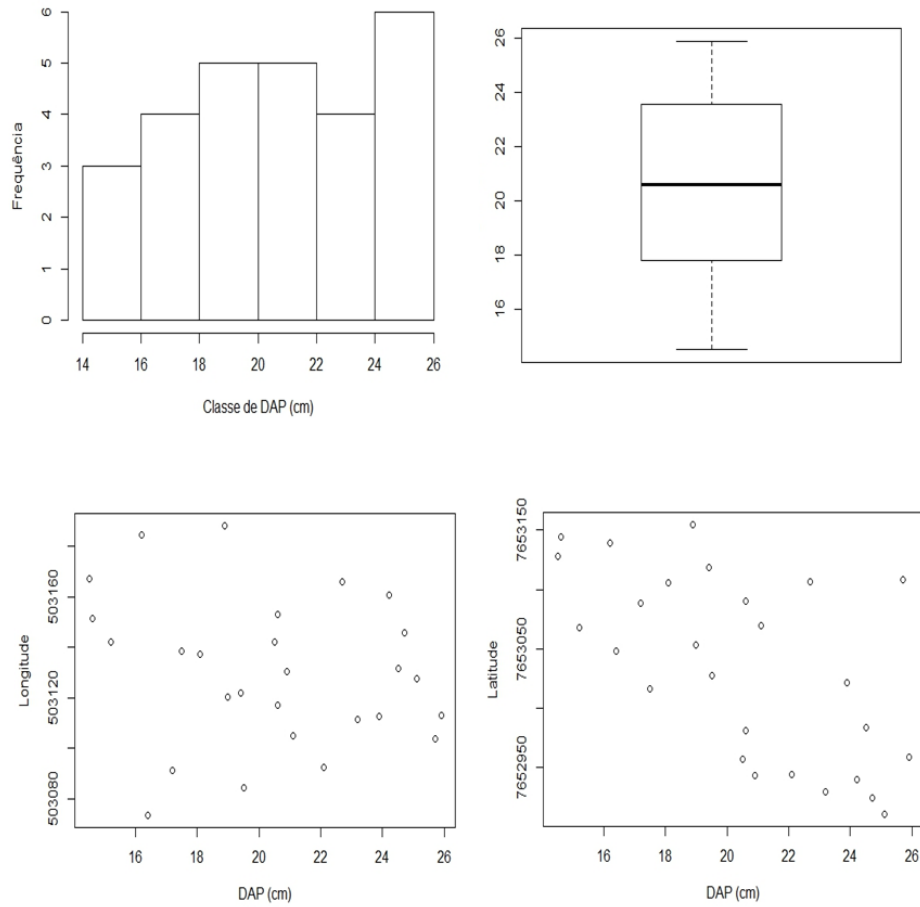
Fonte: Do autor (2018).

Figura 5 - Gráficos exploratórios para o ano de 2015 para a variáveis Volume (m^3). Analisando: histograma de frequência, gráficos de boxplot e a relação da variável com a longitude e a latitude.



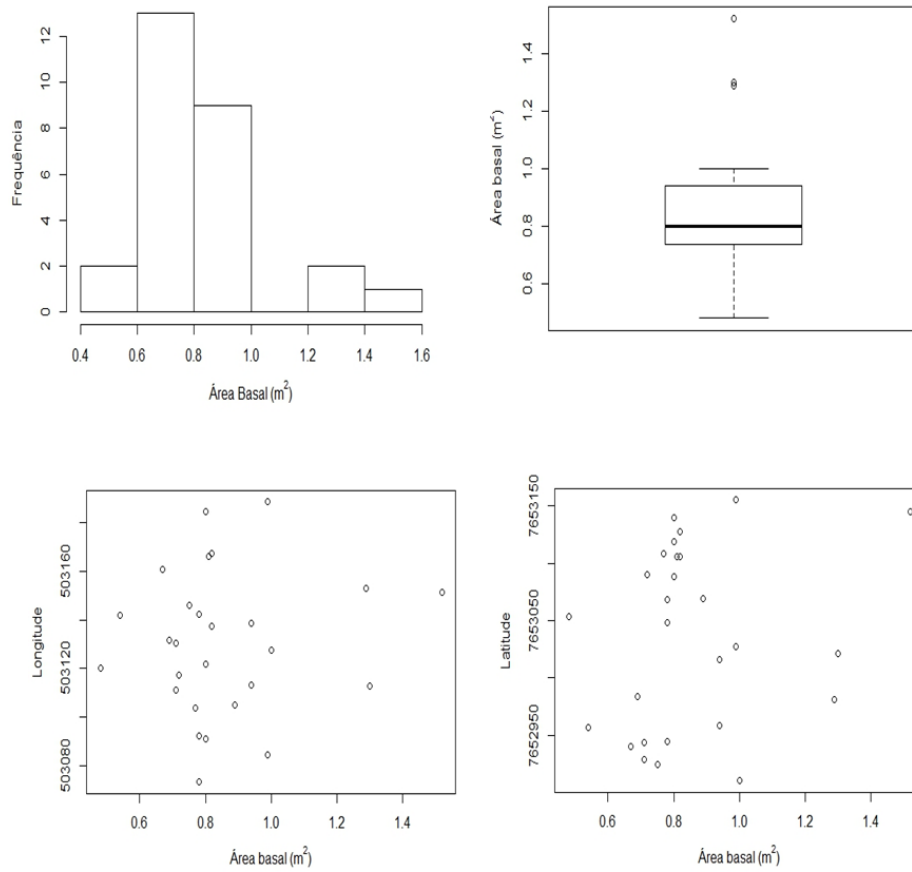
Fonte: Do autor (2018).

Figura 6 - Gráficos exploratórios para o ano de 2017 para a variáveis DAP (cm).
Analisando: histograma de frequência, gráficos de boxplot e a relação da variável com a longitude e a latitude.



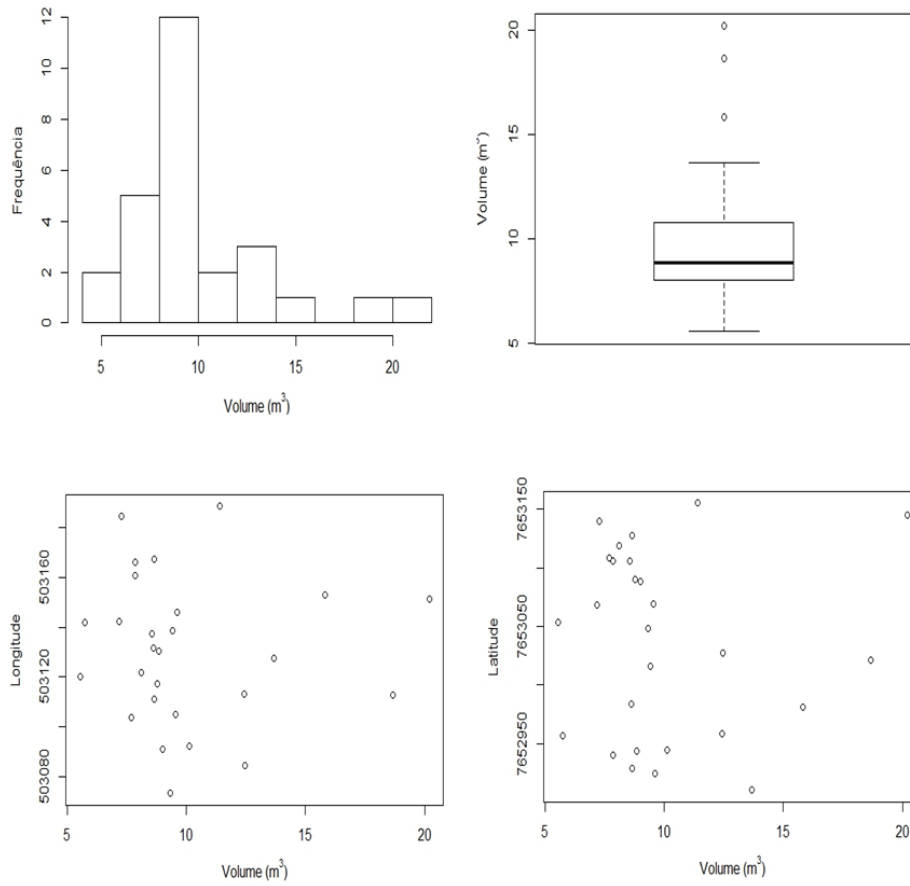
Fonte: Do autor (2018).

Figura 7 - Gráficos exploratórios para o ano de 2017 para a variáveis Área Basal (m^2). Analisando: histograma de frequência, gráficos de boxplot e a relação da variável com a longitude e a latitude.



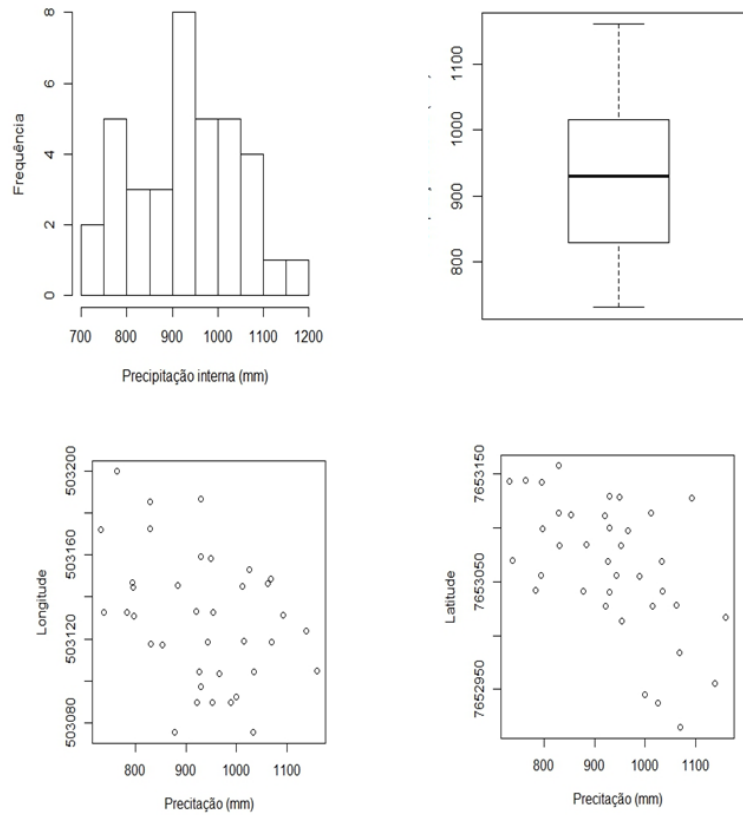
Fonte: Do autor (2018).

Figura 8 - Gráficos exploratórios para o ano de 2017 para a variáveis Volume (m^3). Analisando: histograma de frequência, gráficos de boxplot e a relação da variável com a longitude e a latitude.



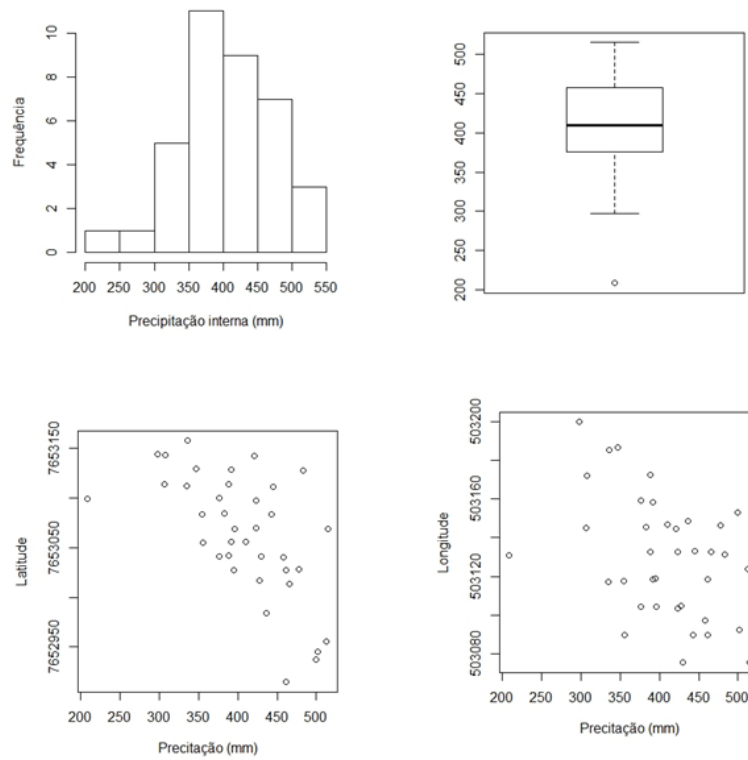
Fonte: Do autor (2018).

Figura 9 - Gráficos exploratórios para o Ano hidrológicos 2. Analisando: histograma de frequência, *box plot* e relação da variável com a longitude e a latitude.



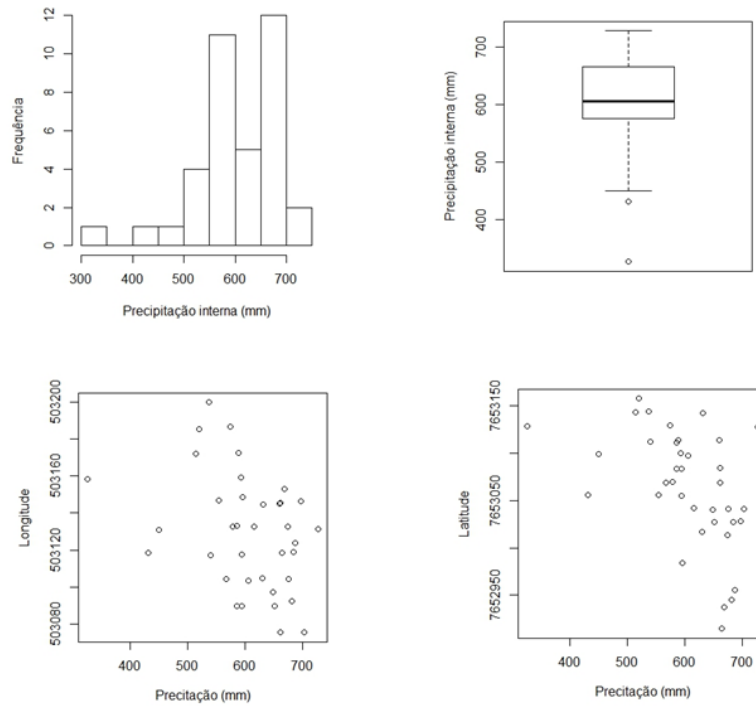
Fonte: Do autor (2018).

Figura 10 - Gráficos exploratórios para o Ano hidrológicos 3. Analisando: histograma de frequência, *box plot* e relação da variável com a longitude e a latitude.



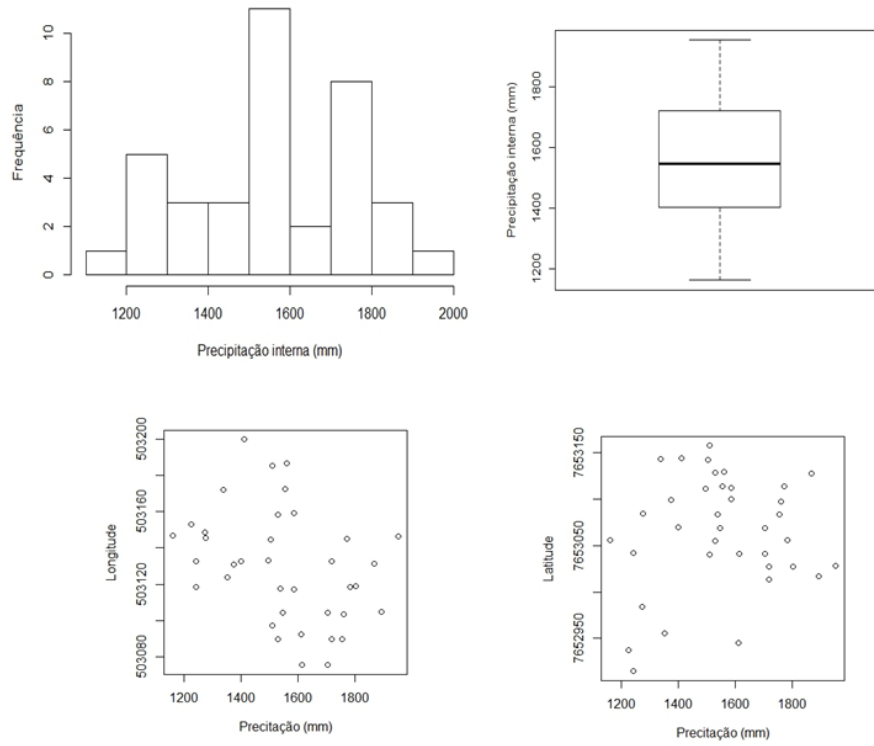
Fonte: Do autor (2018).

Figura 11 - Gráficos exploratórios para o Ano hidrológicos 4. Analisando: histograma de frequência, *box plot* e relação da variável com a longitude e a latitude.



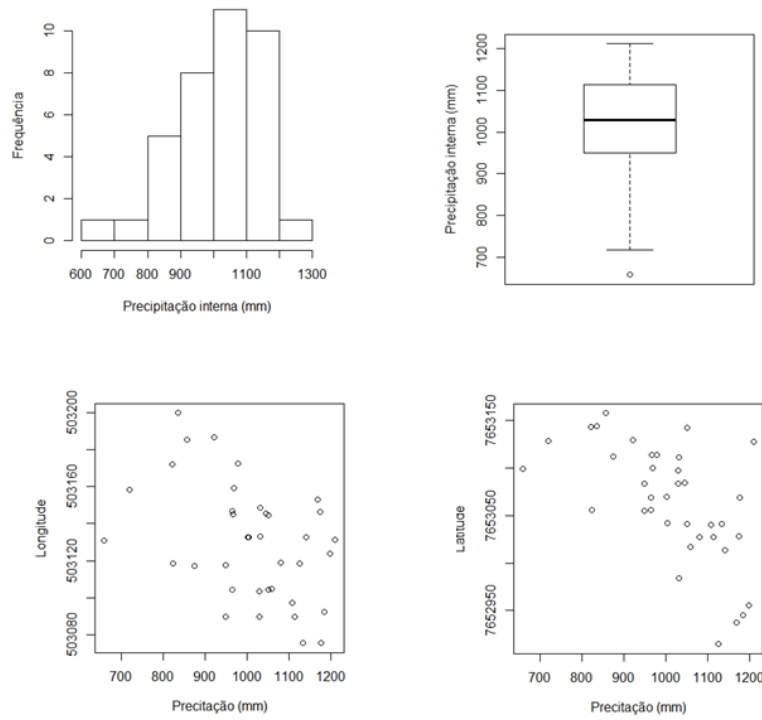
Fonte: Do autor (2018).

Figura 12 - Gráficos exploratórios para o Acumulado 1. Analisando: histograma de frequência, *box plot* e relação da variável com a longitude e a latitude.



Fonte: Do autor (2018).

Figura 13 - Gráficos exploratórios para o Acumulado 2. Analisando: histograma de frequência, *box plot* e relação da variável com a longitude e a latitude.



Fonte: Do autor (2018).