



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PPG EM BIOMETRIA E ESTATÍSTICA APLICADA**

IÊDA MARIA DE SIQUEIRA BEZERRA

**COMPARAÇÃO DE MÉTODOS ESTATÍSTICOS APLICADOS EM MEDIDAS
REPETIDAS AO LONGO DO TEMPO NA EXPERIMENTAÇÃO FLORESTAL**

RECIFE

2024

IÊDA MARIA DE SIQUEIRA BEZERRA

**COMPARAÇÃO DE MÉTODOS ESTATÍSTICOS APLICADOS EM MEDIDAS
REPETIDAS AO LONGO DO TEMPO NA EXPERIMENTAÇÃO FLORESTAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Biometria e Estatística Aplicada da Universidade Federal Rural de Pernambuco como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Biometria e Estatística Aplicada.

Área de concentração: Biometria e Estatística Aplicada

Linha de pesquisa: Estatística Aplicada e Experimental

Orientador: Prof. PhD. José Antônio Aleixo da Silva

RECIFE

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

B574

Maria de Siqueira Bezerra, Iêda

COMPARAÇÃO DE MÉTODOS ESTATÍSTICOS APLICADOS EM MEDIDAS REPETIDAS AO LONGO DO
TEMPO NA EXPERIMENTAÇÃO FLORESTAL / Iêda Maria de Siqueira Bezerra. - 2024.
163 f. : il.

Orientador: Jose Antonio Aleixo da Silva.
Inclui referências e apêndice(s).

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Biometria e
Estatística Aplicada, Recife, 2024.

1. Sistema Agroflorestal. 2. Eucalyptus. 3. Séries Temporais. 4. MANOVA. I. Silva, Jose Antonio Aleixo da,
orient. II. Título

CDD 519.5

IÊDA MARIA DE SIQUEIRA BEZERRA

**COMPARAÇÃO DE MÉTODOS ESTATÍSTICOS APLICADOS EM MEDIDAS
REPETIDAS AO LONGO DO TEMPO NA EXPERIMENTAÇÃO FLORESTAL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Biometria e Estatística Aplicada, para obtenção do título de Mestre em Biometria e Estatística Aplicada.

Aprovada em 29/02/2024.

COMISSÃO EXAMINADORA

Orientador:

Prof. PhD. José Antônio Aleixo da Silva
Departamento de Ciência Florestal / UFRPE

Prof. Dr. Guilherme Rocha Moreira
Departamento de Estatística e Informática / UFRPE

Prof. Dr. Gilciano Saraiva Nogueira
Departamento de Engenharia Florestal / UFVJM

*Dedico este trabalho aos meus pais,
Maria e Antônio,
meu porto seguro, na minha jornada.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me proporcionar oportunidades notáveis, permitindo-me manter a determinação e perseverança ao longo desta jornada.

Aos meus pais, Maria Cadete e Antônio Cícero, e à minha irmã, por todo apoio, cuidado e por sempre me incentivarem a buscar o melhor para mim, são o meu orgulho e exemplo, amo vocês.

Ao meu orientador, Professor José Antônio Aleixo da Silva, expresso minha gratidão pelo conhecimento compartilhado, pelas orientações, pela confiança e pela disponibilidade ao longo de todo o desenvolvimento deste trabalho.

Ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Biometria e Estatística Aplicada (PPGBEA), agradeço pelos valiosos conhecimentos compartilhados e pela disponibilidade em oferecer auxílio.

Aos amigos da Pós-graduação em Biometria e Estatística Aplicada, Rafaella Santos e Eduardo Gomes, pelos momentos compartilhados. A Nicéias Vilela, gratidão pela parceria e experiências trocadas durante o período que dividimos o apartamento. A Ingrid Felix e Francielle Nascimento, obrigada pelo incentivo e boas vibrações, e por cada momento vivenciado com vocês, tem tornado mais leve a reta final desta jornada. A Wylliam Alves, gratidão pela parceria, apoio, incentivo e conselhos concebido durante todo o curso, você é uma pessoa com um conhecimento vasto, sua sabedoria aliada a humildade é inspiradora.

Agradeço as minhas amigas da graduação, Gabrielle Tainá, Michelly Sales e Thayná Ferreira, pela amizade, pelas conversas, apoio, incentivo e por todos os momentos compartilhados desde a época da graduação, minha sincera gratidão a todas.

Aos amigos do trabalho em campo do Departamento em Ciência Florestal, durante as coletas de dados, Aline Amorin, Lais Deosdede, Alex Nascimento, Maria Beatriz, Amanda Mendes, Giúlia Riber, Cláudio Clementino, Matheus Dutra, Laura Nascimento, Adrielle Andrade, Manuel João Castigo, Duberli Elera e Rosilvam Ramos, gratidão pela receptividade, parceria e pelos momentos vividos, tornando o trabalho em campo proveitoso e menos difícil. A Júlio Sobreira, obrigada por todas as orientações, disponibilidade, parceria e conhecimento passado acerca do experimento, obrigada por tudo.

Ao Instituto Agrônômico de Pernambuco (IPA), Estação Experimental de Belém de São Francisco, a Dr^a Mina por toda colaboração e receptividade, bem como a todos os funcionários que contribuíram de alguma maneira nos trabalhos em campo.

A Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), pela sua estrutura e acolhimento.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Agradeço a todos os meus familiares e amigos que, de alguma maneira, contribuíram ao longo da minha jornada acadêmica.

“Lembre-se: aquele que semeia pouco, também colherá pouco, e aquele que semeia com fartura, também colherá fartamente.”

- BÍBLIA SAGRADA, 2 CORÍNTIOS 9:6

RESUMO

O objetivo da presente pesquisa foi avaliar o crescimento em altura das espécies florestais, cultivadas em monocultivos e um sistema agroflorestal, incluindo dois clones de eucalipto (*Eucalyptus urophylla* × *Eucalyptus tereticornis*), Aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Allemão) Angico (*Anadenanthera colubrina* var. Cebil), em consórcios ou em monocultivos com uma espécie agrícola, o Feijão-Caupi (*Vigna unguiculata* (L) Walp.) e com uma espécie forrageira, o Capim Tanzânia (*Panicum maximum* Jacq), e verificar o efeito dos espaçamentos 3 m × 2 m em monocultivo e 4 m × 2 m, tanto em monocultivos como em consórcios com Capim Tanzânia e Feijão-Caupi, e também a eficácia da aplicação de fontes de nutrientes e um condicionador do solo, o resíduos dos tanques de piscicultura, sedimentos do reservatório de Itaparica, biocarvão e testemunha, cada uma repetida quatro vezes. O experimento está localizado no município de Belém de São Francisco, Pernambuco, foi implantado em março de 2014, na Estação Experimental do Instituto Agrônomo de Pernambuco. O delineamento experimental é o multivariado com medidas repetidas ao longo do tempo. Os plantios foram organizados em dois espaçamentos 4 m × 2 m para as espécies arbóreas, tanto em monocultivo quanto em consórcio com Feijão-Caupi e Capim Tanzânia, e com espaçamento de 3 m × 2 m para as espécies arbóreas em monocultivo. As espécies arbóreas foram alocadas em 256 parcelas, cada uma contendo 28 plantas, com 10 delas ocupam a área útil. As parcelas com espaçamento 3 m × 2 m possuem 14 m × 12 m de dimensões, área de 168 m² por parcela, no espaçamento 4 m × 2 m possuem dimensões de 14 m × 16 m, e área de 224 m² por parcela. Para a realização da análise foram empregues e comparados três métodos estatísticos, o multivariado com medidas repetidas ao longo do tempo, parcelas subdivididas no tempo e séries temporais. O modelo multivariado foi o método estatísticos que mais bem avaliou o sistema agroflorestal. Os espaçamentos 4 m × 2 m consorciados com Capim Tanzânia e Feijão-Caupi, demonstraram resultados promissores, sendo as opções mais favoráveis de espaçamentos. As fontes de nutrientes não apresentaram diferenças estatísticas entre si. Os clones MA 2000 e MA 2001 se destacaram como as espécies com maior crescimento, no entanto, o clone MA 2001 sobressaiu, evidenciando as alturas mais elevadas em praticamente todos os períodos analisados, diferenciando-se estatisticamente de todas as demais espécies. O clone MA 2001 se configura como uma opção altamente promissora para o cultivo na região, apresentando um crescimento acelerado e demonstrando ser adequado para atender às demandas energéticas locais. Os resultados destacam a relevância da escolha de espécies de crescimento acelerado para atender as necessidades energéticas, especialmente em regiões semiáridas, onde a exploração ilegal de madeira de espécies nativas é uma preocupação. Além disto, esta abordagem oferece oportunidades para diversificar as fontes de renda dos agricultores da região semiárida, diminuindo a dependência exclusiva da agricultura convencional, uma vez que a madeira de eucalipto possui valor significativo e é empregada em diversos setores.

Palavras-chave: Sistema Agroflorestal; *Eucalyptus*; Séries Temporais; MANOVA.

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the height growth of forest species, cultivated in an agroforestry system, including two clones of *Eucalyptus* (*Eucalyptus urophylla* × *Eucalyptus tereticornis*), Aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Allemão) and Angico (*Anadenanthera colubrina* var. Cebil), in intercrops or monocultures with an agricultural species, Cowpea (*Vigna unguiculata* (L) Walp.) and a forage species, Tanzânia Grass (*Panicum maximum* Jacq), and verify the effect of the spacings 3 m × 2 m in monoculture and 4 m × 2 m, both in monocultures and in intercrops with Tanzânia Grass and Cowpea, and also the effectiveness of the application of nutrient sources and a soil conditioner, residue from fish farming tanks, sediments from Itaparica reservoir, biochar and control, each repeated four times. The experiment is located in the municipality of Belém de São Francisco, Pernambuco, and was implemented in March 2014, at the Experimental Station of the Agronomic Institute of Pernambuco. The experimental design is multivariate with repeated measures over time. The plantings were organized in two spacings 4 m × 2 m for tree species, both in monoculture and in consortium with Cowpea and Tanzânia Grass, and with spacing of 3 m × 2 m for tree species in monoculture. The tree species were allocated to 256 plots, each containing 28 plants, 10 of which occupy the useful area. Plots with 3 m × 2 m spacing are 14 m × 12 m in size, with an area of 168 m² per plot, in 4 m × 2 m spacing they have dimensions of 14 m × 16 m, and an area of 224 m² per plot. To carry out the analysis, three statistical methods were used and compared: multivariate with repeated measurements over time, split-plot design and time-series analysis. The 4 m × 2 m spacings combined with Tanzânia Grass and Cowpeas demonstrated promising results, being the most favorable spacing options. The nutrient sources did not show statistical differences between them. The MA 2000 and MA 2001 clones stood out as the species with the greatest growth, however, the MA 2001 clone presented the highest heights in practically all periods analyzed, statistically differentiating itself from all other species. The MA 2001 clone appears to be a highly promising option for cultivation in the region, showing accelerated growth and proving to be suitable to meet local energy demands. The results highlight the relevance of choosing fast-growing species to meet energy needs, especially in semi-arid regions, where illegal logging of native species is a concern. Furthermore, this approach offers opportunities to diversify the sources of income for farmers in the semi-arid region, reducing exclusive dependence on conventional agriculture, since eucalyptus wood has significant value and is used in several sectors.

Keywords: Agroforestry System; *Eucalyptus*; Time Series; MANOVA.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esboço do experimento estabelecido na Estação Experimental do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), localizada em Belém de São Francisco, PE.....	47
Figura 2 - Configuração e disposição dos componentes vegetais nos sistemas do experimento implementado na Estação Experimental do Instituto Agrônomo de Pernambuco - IPA, em Belém de São Francisco, PE.....	49
Figura 3 - Plantio dos componentes dos sistemas no experimento implantado na Estação Experimental do Instituto Agrônomo de Pernambuco - IPA, em Belém de São Francisco, PE.	51
Figura 4 - Crescimento das espécies arbóreas em altura média (m) ao longo do tempo, no gráfico os 22 tempos correspondem as 22 medições realizadas.	67
Figura 5 - Crescimento do diâmetro (cm) das espécies arbóreas ao longo do tempo, no gráfico os 22 tempos correspondem as 22 medições realizadas.	68
Figura 6 - Crescimento em altura média (m) nos diferentes consórcios e espaçamentos ao longo do tempo, no gráfico os 22 tempos correspondem as 22 medições realizadas.....	72
Figura 7 - Gráficos individuais do crescimento em altura média (m) das espécies arbóreas nos diferentes consórcios e espaçamentos ao longo do tempo, no gráfico os 22 tempos correspondem as 22 medições realizadas.	73
Figura 8 - Diâmetro em (cm) nos diferentes consórcios e espaçamentos ao longo do tempo, no gráfico os 22 tempos correspondem as 22 medições realizadas.....	73
Figura 9 - Gráficos individuais dos diâmetros em (cm) das espécies para os diferentes consórcios e espaçamentos ao longo do tempo, no gráfico os 22 tempos correspondem as 22 medições realizadas.	74
Figura 10 - Séries temporais do crescimento em altura média (m) das espécies arbóreas ao longo do tempo.	91
Figura 11 - Séries temporais do crescimento em altura média (m) dos espaçamentos ao longo do tempo.	91
Figura 12 - Séries temporais do crescimento em altura média (m) das adubações ao longo do tempo.	93
Figura 13 - Séries temporais do diâmetro médio (cm) das espécies arbóreas ao longo do tempo.	94
Figura 14 - Séries temporais do diâmetro médio (cm) dos espaçamentos ao longo do tempo.	94
Figura 15 - Séries temporais do diâmetro médio (cm) das adubações ao longo do tempo.	95

Figura 16 - Função de autocorrelação (ACF) das séries originais para as espécies arbóreas, espaçamentos e adubações.....	96
Figura 17 - Função de autocorrelação (ACF) e Função de autocorrelação parcial (PACF) das séries diferenciadas para as espécies arbóreas, espaçamentos e adubações.	98
Figura 18 - Gráficos de ACF e PACF dos resíduos das espécies arbóreas, espaçamentos e adubações, referente aos modelos ARIMA.	103
Figura 19 - Ajuste dos modelos ARIMA das séries temporais para as espécies arbóreas, espaçamentos e adubações. A linha em preto representa a séries temporais diferenciadas, a linha tracejada em vermelho indica a série ajustada, e a linha tracejada em verde claro.....	105

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Esquema para análise da variância, esperanças dos quadrados médios e teste F para as hipóteses de interesse do modelo de experimento no delineamento inteiramente casualizado em esquema de parcelas subdivididas no tempo.	37
Tabela 2 - Propriedades físicas do solo na região experimental na Estação do Instituto Agrônômico de Pernambuco (IPA) antes da instalação do experimento, localizada em Belém de São Francisco, PE.	45
Tabela 3 - Propriedades físicas do solo na região experimental na Estação do Instituto Agrônômico de Pernambuco (IPA) antes da instalação do experimento, localizada em Belém de São Francisco, PE.	46
Tabela 4 - Resultado do teste de esfericidade de Mauchly para o crescimento em altura média (m/parcela) das espécies arbóreas submetidas a três tipos de adubação e um grupo de controle, distribuídas em dois espaçamentos distintos ao longo do período temporal.	56
Tabela 5 - Resultado dos testes multivariados para o fator tempo em relação ao crescimento em altura média (m/parcela) das espécies arbóreas.	57
Tabela 6 - Resultado dos testes multivariados para o fator tempo x tratamentos e suas interações em relação ao crescimento em altura média (m) das espécies arbóreas.	57
Tabela 7 - Resultado dos testes multivariados para o fator tratamento e suas interações em relação ao crescimento em altura média (m) das espécies arbóreas.	58
Tabela 8 - Resultado da Análise de Variância Multivariada (MANOVA) referente aos efeitos entre os tratamentos em relação ao crescimento em altura média (m), considerando o tempo, as espécies arbóreas, as adubações e os espaçamentos.	60
Tabela 9 - Resultado da ANOVA referente ao crescimento em altura média (m) ao longo dos anos, considerando as diferentes espécies arbóreas, tipos de adubação e espaçamentos, bem como suas interações.	60
Tabela 10: Desdobramento da ANOVA para interação espécies x espaçamentos, espécies dentro de cada nível de espaçamentos.	61
Tabela 11: Desdobramento da ANOVA para interação espécies x espaçamentos, espaçamentos dentro de cada nível de espécies.	62
Tabela 12 - Resultado da ANOVA referente ao crescimento em altura média (m) ao longo dos tempos, no modelo parcelas subdivididas no tempo, considerando as diferentes espécies arbóreas, espaçamentos, adubações e suas interações.	77

Tabela 13 - Resultado da ANOVA do desdobramento da interação, tempo dentro de cada nível de espaçamento.	79
Tabela 14 - Resultado da ANOVA do desdobramento da interação, espaçamento dentro de cada nível de tempo.	80
Tabela 15 - Resultado da ANOVA do desdobramento da interação de tempo dentro de cada nível das espécies.	81
Tabela 16 - Resultado da ANOVA do desdobramento da interação, espécie dentro de cada nível de tempo.	83
Tabela 17 - Resultado da ANOVA do desdobramento da interação de tempo dentro de cada nível das adubações.	84
Tabela 18 - Resultado da ANOVA do desdobramento da interação das adubações dentro de cada nível do tempo.	85
Tabela 19 - Resultado da ANOVA do desdobramento dos espaçamentos dentro de cada nível das espécies.	88
Tabela 20 - Resultado da ANOVA do desdobramento das espécies dentro de cada nível dos espaçamentos.	89
Tabela 21 - Resultado do teste de Dickey-Fuller, ao nível de 5% de significância, visa identificar se as séries são estacionárias ou não estacionárias para as espécies, adubações e espaçamentos.	97
Tabela 22 - Modelos AR, MA, ARMA e ARIMA e os respectivos critérios de AIC e BIC para as espécies arbóreas.	101
Tabela 23 - Modelos AR, MA, ARMA e ARIMA e os respectivos critérios de AIC e BIC para as adubações.	101
Tabela 24 - Modelos ARIMA e os respectivos critérios de informação de AIC e BIC para os espaçamentos.	102

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	2
2.1 OBJETIVO GERAL	2
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
3 REVISÃO DE LITERATURA	3
3.1 SISTEMAS AGROFLORESTAIS (SAFs)	3
3.2 SISTEMAS AGROFLORESTAIS NO SEMIÁRIDO	5
3.3 SISTEMAS AGROFLORESTAIS COM EUCALIPTO	8
3.4 SISTEMAS AGROFLORESTAIS COM ESPÉCIES NATIVAS	10
3.5 LEGUMINOSAS EM SAFs	13
3.6 GRAMÍNEAS EM SAFs	15
3.7 ADUBAÇÃO ORGÂNICA	16
3.7.1 Biocarvão	17
3.7.2 Resíduos dos tanques de piscicultura	19
3.7.3 Sedimentos do reservatório de Itaparica	22
3.8 MÉTODOS ESTATÍSTICOS	24
3.8.1 Medidas Repetidas no Tempo	24
3.8.2 Delineamento multivariado com medidas repetidas	27
3.8.3 Parcelas Subdivididas	33
3.8.4 Séries Temporais	39
4 MATERIAIS E MÉTODOS	44
4.1 METÓDOS ESTATÍSTICOS UTILIZADOS PARA AVALIAR O CRESCIMENTO EM ALTURA	53
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	56
5.1 RESULTADOS DO MODELO MULTIVARIADO COM MEDIDAS REPETIDAS AO LONGO DO TEMPO	56
5.1.1 Efeito das espécies em crescimento em altura média	66

5.1.2 Efeito dos espaçamentos e consórcios no crescimento em altura média das espécies florestais.....	69
5.2 RESULTADOS DO MODELO POR PARCELAS SUBDIVIDIDAS COM MEDIDAS REPETIDAS NO TEMPO.....	77
4.3 RESULTADOS DAS SÉRIES TEMPORAIS	90
5.4 COMPARAÇÃO DOS MÉTODOS ESTATÍSTICOS	107
6 CONCLUSÃO.....	111
APÊNDICE	112
REFERÊNCIAS	123

1 INTRODUÇÃO

A região Semiárida do Nordeste brasileiro, caracterizada por elevadas temperaturas, escassa precipitação, solos frágeis e baixa fertilidade, enfrenta condições edafoclimáticas desfavoráveis. A adoção de práticas agrícolas predominantemente extrativistas, a expansão da pecuária extensiva e a intensa exploração de lenha e madeira para atender as demandas do mercado e escassez residenciais são fatores que concorrem para a degradação da vegetação. Outra questão ambiental reside no desmatamento, frequentemente conduzido de maneira irregular, sem a implementação de medidas efetivas para a recuperação da vegetação.

Em virtude das frequentes estiagens no Semiárido nordestino, os agricultores têm enfrentado desafios como instabilidade, descapitalização e insegurança em suas atividades agrícolas. Estas adversidades têm sido um fator determinante para o êxodo rural, uma vez que os agricultores são propensos a vender suas terras por valores reduzidos, deslocando-se para áreas urbanas.

Diversas pesquisas têm evidenciado a utilidade dos Sistemas Agroflorestais (SAFs) em regiões que englobam atividades agropecuárias, por resolver parcialmente as questões relacionadas ao desmatamento e degradação de diversos ecossistemas, os SAFs não apenas melhoram a produtividade agrícola, mas também possibilitam aos agricultores alcançarem efetiva sustentabilidade ambiental.

Os SAFs se referem à abrangente utilização e gestão dos recursos naturais. Neste contexto, as árvores e arbustos são cultivados de maneira integrada com cultivos agrícolas, animais e pastagens (ou a junção dos dois), com o objetivo de obter vantagens decorrentes das relações ecológicas e econômicas. A implementação dos SAFs é uma prática de produção que se baseia na conservação da natureza, preservando parte da vegetação original, integrando-a a culturas agrícolas, árvores e arbustos, bem como à criação de animais, seguindo um arranjo espacial e temporal específico.

A implementação de SAFs tem despertado interesse significativo pelo reflorestamento, levando em consideração a escassez natural de madeira e a crescente demanda regional por produtos florestais. Esta abordagem demonstra potencial significativo para contribuição no desenvolvimento agroflorestal da região. A incorporação de diversas espécies em sistemas agroflorestais (SAF) se apresenta como uma solução concreta para os desafios ambientais originados pela prática da agricultura moderna. Esta metodologia considera uma diversidade de elementos, abrangendo perspectivas ambientais, econômicos, culturais e climáticos.

Nos SAFs, tal como ocorre em outras atividades agrícolas e florestais, envolvem riscos quando não são implementados com o devido conhecimento específico e um projeto apropriado. Dada a complexidade e atributos inerentes a esta atividade, torna-se essencial uma avaliação criteriosa, tanto do ponto de vista científico quanto econômico. Entretanto, esta análise é fundamental para definir a abordagem de produção mais eficiente, levando em consideração os aspectos específicos do ambiente e da localidade, com o objetivo de otimizar os retornos financeiros e minimizar dos presumidos prejuízos.

A presente pesquisa objetivou avaliar, na região de Itaparica, localizada no Semiárido pernambucano, o crescimento em altura das espécies florestais, cultivadas em um sistema agroflorestal, incluindo: dois clones de eucalipto (*Eucalyptus urophylla* × *Eucalyptus tereticornis*), Aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Allemão) Angico (*Anadenanthera colubrina* var. Cebil), em consórcios com uma espécie agrícola, o Feijão-Caupi (*Vigna unguiculata* (L) Walp.) e com uma espécie forrageira, o Capim Tanzânia (*Panicum maximum* Jacq) e em monocultivos, bem como verificar o efeito dos espaçamentos 3 m × 2 m em monocultivo e 4 m × 2 m, tanto em monocultivo como em consórcios com Capim Tanzânia e Feijão-Caupi, e também a eficácia da aplicação de fontes de nutrientes e um condicionador do solo, os resíduos dos tanques de piscicultura, sedimentos do reservatório de Itaparica, biocarvão e testemunha (sem adubação).

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar e comparar o desenvolvimento do sistema agroflorestal e monocultivos por meio dos métodos estatísticos multivariado com medidas repetidas, parcelas subdivididas e séries temporais.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar o efeito das fontes de nutrientes e o condicionador de solo no estímulo ao crescimento das espécies florestais.
- Analisar o efeito dos dois tipos de espaçamentos na incitação ao crescimento das espécies florestais.
- Identificar a espécie florestal mais promissora para a região.

- Identificar o método estatístico ideal para análises de experimentos florestais com medidas repetidas ao longo do tempo.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 SISTEMAS AGROFLORESTAIS (SAFs)

O conceito de Sistema agroflorestal (SAF) mais respeitado no mundo é o sugerido pelo ICRAF (International Center for Research in Agroforestry), que contempla as mais diversas e possíveis associações (Righi; Bernardes, 2015). Este conceito define que, Sistema Agroflorestal é a denominação comum para sistemas de utilização da terra e tecnologias, onde é feita a combinação de práticas agrícolas com elementos florestais, ou seja, plantas lenhosas perenes (arbustos, palmeiras, árvores etc.) são intencionalmente utilizadas na mesma unidade de manejo de culturas agrícolas ou animais (Nair, 1984; Santos *et al.*, 2018).

Como indicado por Righi e Bernardes (2015) a definição dos SAFs é que sempre terão duas ou mais espécies, ao menos uma lenhosa perene, que produzem dois ou mais produtos, as séries de utilização do solo são usualmente maiores que um ano. Os SAFs se encontram estabelecidos nas interações ecológicas e econômicas, além de promover a diversidade de espécies. Outra definição para os SAFs foi criada por Atangana *et al.* (2014) e Kumar *et al.* (2017), que pode ser fundamentada na estrutura da vegetação, condições ambientais e adaptação ecológica do sistema, além disto, é considerada uma abordagem sustentável de uso da terra que combina recursos agrícolas e florestais na busca de elaborar um ecossistema harmonioso e produtivo.

Uma definição frequentemente referenciada é a do USDA (United States Department of Agriculture) que abrange temas comuns de outras definições agroflorestais afirmando que, a inclusão planejada de arbustos e árvores em sistemas agrícolas e de produção animal, tem como intuito gerar melhorias ambientais, sociais e econômicas (Elevitch *et al.*, 2018). Os sistemas podem ser associados para qualquer zona agroecológica determinada, como regiões semiáridas e trópicos áridos, planaltos tropicais, trópicos úmidos de baixa altitude, outrossim, o grau de manuseio do sistema e grandeza socioeconômica da produção podem ser empregues como parâmetros para intitular os sistemas como subsistência, intermediários ou comerciais (Nair, 1985).

Conforme Nair (1993), os SAFs podem ser subdivididos em três grupos, Sistema silvipastoril, Sistema agrossilvipastoril e Sistema agrossilvicultural. Um Sistema silvipastoril associa a produção de árvores com a criação de animais, proporcionando a inclusão entre os

elementos, variedades de espécies, interações benéficas e contribuem para uma série de benefícios ambientais e econômicos (Alonso, 2011). O território é utilizado juntamente para produção arbórea e pastagem animal, as árvores proporcionam sombra e proteção aos animais, durante o tempo em que os animais contribuem a moderar o crescimento da vegetação sob as árvores, restringindo a indispensabilidade manutenção manual (Huertas *et al.*, 2021).

O Sistema agrossilvipastoril é uma maneira de englobar o uso da terra que adapta práticas agrícolas como feijão, milho, soja, entre outros, enquanto integra conjuntamente a criação de animais como aves, ovinos, suínos e gado, e também, inclui-se árvores que podem ser madeireiras, frutíferas ou árvores para finalidades específicas (Fungo *et al.*, 2021; Nair, 1985). O Sistema agrossilvicultural é uma forma de combinar o cultivo de árvores com práticas agrícolas na mesma superfície, este sistema traz diversas vantagens, as árvores podem provê sombra, refúgio o vento e regular a temperatura do ambiente, beneficiando as culturas agrícolas, além do mais, as árvores colaboram para o melhoramento do solo, na manutenção da água e ciclagem de nutrientes (Kluthcouski *et al.*, 2015; Kumar *et al.*, 2017).

A utilização de SAFs traz diversas vantagens significativas quando comparado aos sistemas agrícolas convencionais, promovendo a diversificação de espécies, esta diversidade eleva a resistência do sistema, tornando-o mais apto a lidar com condições divergentes como mudanças climáticas, doenças, pragas e alterações nos recursos disponíveis (Burgess; Rosati, 2018; Kay *et al.*, 2019). O arranjo de diferentes elementos em um sistema agroflorestal possibilita o uso mais efetivo dos recursos disponíveis como água, luz solar e nutrientes do solo, as árvores podem contribuir para melhorar a fertilidade do solo, diminuir a erosão e reciclar os nutrientes, estabilizar nitrogênio, estes fatores enriquecem as culturas agrícolas e diminui a demanda de insumos externos (Pantera *et al.*, 2021).

Nos SAFs as árvores executam um papel importante na conservação do solo, preservando-o da erosão provocada pelo vento e pela água, ademais, as raízes conservam a estrutura do solo e ampliam sua habilidade de retenção de água, limitando a perda de nutrientes (Nair; Kang; Kass, 1995; Pantera *et al.*, 2021). Um fator importante dos SAFs, que ajuda a amenizar as mudanças climáticas, é o sequestro de carbono e seu estoque nos solos e biomassa vegetal, além de atenuar as emissões de gases de efeito estufa e aperfeiçoar a resistência dos sistemas agrícolas defronte aos efeitos climáticos (Achmad *et al.*, 2022; Mutuo *et al.*, 2005).

De acordo com Achiso e Masebo (2019), a biodiversidade nos SAFs é, normalmente, maior do que nos sistemas agrícolas tradicionais por causa das árvores afastadas nas práticas agroflorestais, isto permite a criação de habitats mais relevantes que subsidiam uma diversidade maior de fauna. Os benefícios econômicos e sociais que os SAFs podem gerar para os

agricultores são: a possibilidade de diversificar a produção agrícola, uma ampla diversidade de produtos, posteriormente, aumentando a renda das famílias rurais, oferece benefícios ambientais e regionais (Glover *et al.*, 2013).

Além de tudo, os SAFs promovem maior comodidade térmica para os animais e produtores que trabalham no local, baixo custo e sustentáveis, coopera na conservação das bacias hidrográficas, regeneração de áreas danificadas e não necessita a utilização de fertilizantes e agrotóxicos (Oliveira *et al.*, 2018).

3.2 SISTEMAS AGROFLORESTAIS NO SEMIÁRIDO

Na região Nordeste do Brasil, as atividades predominantes de uso da terra são a pecuária extensiva, exploração de madeira e agricultura de sequeiro. A maior parte dessa região apresenta solo de baixa fertilidade, condições climáticas desfavoráveis para grande parte das maneiras de explorações causadas pelos cultivos e baixa infraestrutura (Oliveira *et al.*, 2020).

A agricultura realizada nessas regiões utiliza práticas como desmatamento e queimadas, resultando na degradação de vastas áreas, o uso abundante da vegetação natural resulta na degeneração da comunidade vegetal, alterando a qualidade estrutural do solo, diminuindo o estoque de carbono no ecossistema e elevando as emissões de CO₂ para a atmosfera (Oliveira Filho *et al.*, 2019).

A supressão da vegetação resulta em variações na dinâmica de desenvolvimento do solo, podendo reduzir seu potencial produtivo à perda de matéria orgânica e nutrientes, levando a um cenário de erosão do solo (Martín *et al.*, 2019). A pecuária e a agricultura são atividades que envolvem a utilização do solo, e técnicas inadequadas de manejo são capazes de resultar em um declínio rápido nos nutrientes e estoques de carbono (Armenteras *et al.*, 2017).

De acordo com Oliveira *et al.* (2020), a interferência humana no meio ambiente tem contribuído significativamente para a degradação dos solos em todo o mundo. As atividades agrícolas inadequadas, falta de estratégias e a pecuária extensiva são fatores que agravam essa adversidade, especialmente em áreas ambientalmente frágeis. O desmatamento indiscriminado, períodos prolongados de seca, queimadas, pressão demográfica e crescimento da exploração agrícola resultam na diminuição da fertilidade dos solos na região do Semiárido (Morais; Vasconcelos, 2007).

Esta localidade evidencia sérias problemáticas estruturais no que concerne ao desenvolvimento sustentável dos sistemas de produção agrícola, tanto no âmbito da agricultura convencional como na exploração da vegetação nativa, visando à obtenção de produtos

madeireiros (Ferreira, 2023). O autor destaca que questões desta natureza são observadas no Polo Gesseiro do Araripe, localizado no extremo Oeste de Pernambuco, cuja atividade econômica predominante deriva da produção de gesso, empregando a lenha como fonte energética primordial no processo produtivo. Contudo, segundo Gadelha *et al.* (2015), comumente essa lenha tem origem na vegetação da Caatinga, a qual não apresenta capacidade suficiente para suprir a demanda industrial da região, devido ao baixo incremento médio anual (IMA) das espécies arbóreas da Caatinga.

Conforme Silva *et al.* (2020), a implementação dos SAFs na região do Semiárido está diretamente ligada à necessidade de aproveitar de forma mais eficiente os espaços limitados disponíveis, outrossim, a adesão de agroflorestas como uma técnica pertinente de convivência, com intuito de preservar ou recupera áreas degradadas da Caatinga. Segundo Oliveira *et al.* (2020), para alcançar uma agricultura sustentável é necessário um maior conhecimento. O êxito na adoção de atividades conservacionistas depende da gestão realizada pelos agricultores em suas propriedades, da renda disponível e de exemplos que demonstrem a importância dessas medidas para a preservação da função agrícola dos solos e ecológica.

Os SAFs, de certa forma, assemelham-se a natureza, não dependendo de energia externa, um dos princípios fundamentais da agroflorestal é a autodinâmica de manter as plantas de transferência sempre jovens e produtivas por meio de podas. Este sistema está sendo reconhecido por vários autores como uma alternativa viável para o Semiárido, devido à sua rápida capacidade de recuperar os solos (Santos *et al.*, 2013). Conforme revelam Alves e Alencar (2020), os SAFs são uma escolha altamente praticável e interessante para o pequeno produtor, tornando-se seu melhor aliado, uma vez que as árvores desempenham um papel significativo na vida humana, tanto fornecendo produtos quanto em benefícios indiretos (bem-estar, saúde pública, proteção do solo e dos recursos hídricos).

De acordo com Melo *et al.* (2007) e Mukhlis, Rizaludin e Hidayah (2022), o manejo florestal sustentável pode representar uma escolha viável para pequenos agricultores no Semiárido, ademais, preserva o ecossistema e seus elementos como solo, fauna e flora, a médio e longo prazo. Esta prática oferece a oportunidade de emprego para trabalhadores rurais durante longos períodos de estiagem, assegurando uma fonte de renda para a população rural. Contudo, para alcançar um rendimento econômico satisfatório, o manejo da Caatinga deve considerar não apenas a extração de lenha, mas também produtos não madeireiros, como cascas e fibras, além da prática da meliponicultura ou apicultura (Kill; Lima, 2011).

Com o propósito de compreender a visão dos agricultores familiares acerca dos conhecimentos ecológicos intrínsecos à gestão de SAFs, o pesquisador Gonçalves (2019)

conduziu uma investigação com essa abordagem no município de Bonito, em Pernambuco, concluiu que as percepções convencionais dos agricultores sobre as espécies florestais e suas práticas de uso representam instrumentos relevantes que necessitam ser preservados e valorizados, a fim de enriquecer a intercâmbio de conhecimentos com as comunidades rurais. No trabalho de Angelim *et al.* (2020) foi constatado que os agricultores na região semiárida do Ceará, por meio de seus próprios saberes, implementam sistemas agroflorestais que contribuem para a segurança alimentar e nutricional durante períodos críticos de estiagem na localidade.

Para Salin *et al.* (2012), as peculiaridades sociais, vegetais e econômicas do Semiárido indicam a necessidade de um uso mais diversificado dos recursos da Caatinga, que vai além do manejo florestal madeireiro, incluindo práticas específicas que visem à inclusão da produção florestal e agropecuária.

No estudo conduzido por Silva, Silva e Tavares (2022), que analisou três diferentes clones de eucaliptos em um experimento implantado no município de Araripina, Pernambuco, situado na região Semiárida, o clone *Eucalyptus urophylla* se destacou como o mais vantajoso em produção volumétrica, apresentando IMA de 15,93 m³ há⁻¹, apesar das condições climáticas desfavoráveis que impactam a produtividade. Para os autores, este resultado demonstra que o cultivo de eucaliptos é viável para região semiárida, obtendo rendimentos volumétricos acima da média das espécies nativas.

No trabalho de Santos e Triches (2023), onde foi realizada a comparação da produtividade entre sistemas convencionais e agroflorestais, mostrou que a produção de café, soja, trigo e milho foi superior no SAFs em relação à monocultura (sistemas convencionais), além disto, o agroflorestal demonstrou uma resiliência promissora diante das mudanças climáticas.

O estudo conduzido por Santana (2018) destacou que a ausência de uma assistência técnica eficaz, aliada à carência de políticas públicas, impõe obstáculos à adoção de práticas agrícolas e florestais ecologicamente sustentáveis, como aquelas encontradas em sistemas agroflorestais. O autor destaca que esta constatação é evidente tanto para os agricultores quanto para os gestores públicos, os quais, muitas vezes influenciados pela tradição, demonstram uma falta de consciência ambiental e comprometem os ecossistemas locais por meio de práticas agrícolas convencionais.

Por meio da implantação dos SAFs e os benefícios proporcionados, fica evidente que esta prática viabiliza um modelo de agricultura sustentável em áreas semiáridas, impactando positivamente na qualidade de vida da comunidade local (Alves; Alencar, 2020). De acordo com os trabalhos desenvolvidos Ferreira (2023), Santos (2016) e Moreira (2018), na região

semiárida de Pernambuco, mais precisamente no município de Belém de São Francisco, está em execução um projeto desbravador e revolucionário, o qual vem sendo analisada a viabilidade da implementação de SAFs na região, direcionando para a perspectiva de uma produtividade concebível e economicamente sustentável dos recursos provenientes das florestas e agricultura aos agricultores de pequena escala da região.

Almeida *et al.* (2006), verificaram a viabilidade e aceitação para a implementação de SAFs entre os agricultores das regiões do Agreste e Sertão pernambucano, sugerindo que a adoção desse sistema de cultivo diversificado poderia resultar em um efetivo aumento da renda líquida para os agricultores locais. Ao analisar um SAFs que incorporava espécies florestais nativas da Caatinga em consórcio com o feijão-caupi em Mossoró-RN, Oliveira (2016) constatou, como um dos desfechos, benefícios econômicos na comercialização dos produtos agrícolas consorciados, sem prejudicar o desenvolvimento das espécies arbóreas.

3.3 SISTEMAS AGROFLORESTAIS COM EUCALIPTO

A seleção das espécies florestais para compor um SAFs é orientada pela consideração do uso futuro por parte das comunidades locais, enfocando os produtos gerados por essas espécies no sistema (Miccolis *et al.*, 2019). Na microrregião de Itaparica, as necessidades essenciais relacionadas ao uso das florestas estão primariamente vinculadas à obtenção de lenha para a geração de energia.

A utilização de tecnologias capazes de recompor a competência produtiva das pastagens é fundamental para alcançar a sustentabilidade e crescimento da eficiência da pecuária, com o uso de sistemas silvipastoris, utilizando espécies do gênero *Eucalyptus*, que se destaca pelo rápido crescimento e características silviculturais desejáveis, permitindo a adaptação da cultura a diferentes condições climáticas e de solo (Oliveira *et al.*, 2021).

Segundo Ferreira *et al.* (2019), entre as diversas opções de essências florestais para integrar SAFs, os eucaliptos se destacam como a escolha mais vantajosa, isto se deve à ampla disponibilidade de espécies e uma extensa variedade de híbridos interespecíficos, conferindo-lhes uma notável adaptabilidade às diversas condições edafoclimáticas presentes no Brasil.

O gênero *Eucalyptus*, pertence à família Myrtaceae, abrange aproximadamente 750 espécies, a maioria delas originária da Austrália e da Tasmânia (Vuong *et al.*, 2015). As árvores de eucalipto mais antigas no País pertencem às espécies *Eucalyptus robusta* e *Eucalyptus tereticornis*, as quais foram plantadas por D. Pedro I no Jardim Botânico do Rio de Janeiro em 1825 (Foelkel, 2005).

No Brasil, as espécies mais utilizadas devido às características de suas madeiras incluem o *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus viminalis*, híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus dunni* e *Eucalyptus benthamii* (Santorosa *et al.*, 2014). Algumas destas espécies desempenham um papel significativas como fontes de matéria-prima para indústria madeireira e de celulose, além de fornecerem óleos essenciais de alto valor para a indústria farmacêutica e de perfumaria (Bastish *et al.*, 2008; Figueiredo *et al.*, 2013).

O plantio de essências florestais, no Brasil, teve início há mais de um século, em 1903, quando Navarro de Andrade trouxe mudas de eucalipto com o objetivo de produzir madeira para os dormentes das estradas de ferro (Freitas *et al.*, 2022). Além do mais, a lenha representa a principal fonte de combustível empregada pelas indústrias de gesso, originando um impacto humano significativo nos recursos arbóreos da região Semiárida (Angelotti *et al.*, 2022).

No Semiárido pernambucano, encontra-se o Arranjo Produtivo do Polo Gesseiro do Araripe, conhecido como APL do Gesso, que desempenha um papel crucial no aumento do desmatamento nas áreas circundantes da Caatinga, a razão para isto é que as indústrias que transformam a gipsita em gesso, utilizam a biomassa florestal como fonte de energia, isto permite que o APL do Gesso detenha a responsabilidade de 95% da produção do gesso no Brasil (Silva, 2020). O autor enfatiza a relevância vital da introdução de florestas de crescimento rápido como uma alternativa viável para atenuar a necessidade energética da região semiárida, estes tipos de florestas podem ser estabelecidos em locais onde a vegetação nativa já foi removida, dispensando a necessidade de desmatar novas áreas, além de fomentar o crescimento sustentável na região.

Embora possua a segunda maior extensão de florestas naturais e a oitava maior área de plantações florestais do mundo, o Brasil ainda possui uma contribuição modesta na economia florestal global (Payn *et al.*, 2015). Uma parcela significativa das florestas plantadas no Brasil é constituída pelo gênero *Eucalyptus*, que se adapta a diversas condições climáticas e tipo de solo em todo o país (Fernandes; Júnior; Barreto-Garcia, 2018). O Brasil ostenta a maior extensão de plantações de eucalipto, abrangendo 9,94 milhões de hectares em 2022, registrando um aumento de 0,3% em relação ao ano anterior, que corresponde a 76% da área total plantada no País, consolidando-se como a espécie mais cultivada, alcançando 7,6 milhões de hectares, a produtividade média do eucalipto no Brasil atingiu $32,7 \text{ m}^3 \text{ há}^{-1}$, com um ciclo médio de crescimento estimado em 6,7 anos (IBÁ, 2023).

Segundo Sarto *et al.* (2022), a inclusão do eucalipto nos SAFs pode reduzir o teor de umidade do solo, especialmente nas camadas superficiais, é importante considerar a presença

de árvores de sombra no estabelecimento desse sistema introduzido, a fim de potencializar as vantagens e benefícios de um agroecossistema diversificado.

3.4 SISTEMAS AGROFLORESTAIS COM ESPÉCIES NATIVAS

Existem espécies nativas com potencial adequado para serem utilizadas em SAFs, especialmente como opção de fonte de renda, essas plantas podem produzir frutas, forragem, artesanatos, produtos apícolas, madeira, produtos medicinais, além de contribuírem para recuperação de áreas degradadas, elevando a oferta de alimento e habitat para a avifauna (Mallmann *et al.*, 2018; Pott; Pott, 2003).

Segundo Canosa, Cassarino e Leandrini (2016), a inserção no cultivo e manejo de espécies florestais nativas deve ser acompanhada pelo reconhecimento e estímulo, admitindo o papel dessas espécies nas dinâmicas ecológicas, bem como seu potencial de uso e retorno financeiro, contribuindo para a reprodução social e econômica dos agricultores, garantindo sua sustentabilidade. Entre as espécies nativas com elevado potencial para compor os SAFs, destacam-se aquelas pertencente à família Fabaceae, apresentando grande aptidão econômica como recursos madeireiros, cortiça, fornecimento de alimentos, produção de óleos e resinas, uso como forrageiras, propriedade medicinais e curativas, carvão e lenha, em outras palavras, essa família pode ser explorada de inúmeras formas para geração de renda (Hoffmester *et al.*, 2019).

Padovan, Mayer e Pereira (2022), averiguaram que um aspecto crucial na formação de SAFs é o uso de espécies arbóreas leguminosas (Fabaceae), que desempenham um papel fundamental na fixação biológica de nitrogênio e na disponibilidade desse nutriente no solo. Canosa, Faria e Barbosa (2012), afirmam que as espécies utilizadas nos SAFs, pertencentes à família Fabaceae, têm como objetivo fornecer uma quantidade adequada de nitrogênio no solo para atender às necessidades das plantas cultivadas, tanto para geração de renda quanto para recuperação da área.

As pesquisas conduzidas por Resende *et al.* (2013) comprovam o alto potencial desse grupo de árvores em proporcionar quantidades relevantes de nitrogênio ao sistema anualmente, sendo fundamental para garantir a autossuficiência desses agroecossistemas neste nutriente. De acordo com Cardoso (2020), as leguminosas merecem destaque e consideração especial para os SAFs, devido ao desempenho de maneira notável a função de adubadoras e fornecedoras de lenha, outrossim, serem altamente adequadas para consórcios, oferecendo proteção às plantas

de camadas inferiores contra estresses climáticos, como ventos fortes, exposição direta aos raios solares e geadas.

O Angico (*Anadenanthera colubrina* var. *cebil*), é uma espécie pertencente à família Fabaceae, é uma árvore semicaducifolia, com crescimento moderado a rápido, podendo alcançar até 30 metros de altura e 120 cm de diâmetro à altura do peito (DAP), é uma planta heliófila, ou seja, adapta-se bem a áreas ensolaradas, apresenta uma tolerância moderada a baixas temperaturas (Souza; Bôas; Durigan, 2015). A madeira do Angico possui alta densidade, variando em média de 0,83 g.cm⁻³ e 1,10 g.cm⁻³, além do mais, é renomada por sua durabilidade e resistência ao apodrecimento (Rocha *et al.*, 2000). O Angico, de ocorrência natural no domínio fitogeográfico da Caatinga, também é encontrado em diversas regiões do Brasil, Peru, Bolívia, Paraguai e Argentina (Prado, 2003).

Esta espécie, possui grande relevância econômica quanto ecológica, sendo bastante utilizada na construção civil, naval e rural, na indústria moveleira, forragem, fornecedora de tanino, também é fonte de combustível, como carvão e lenha (Souza; Bôas; Durigan, 2015), sendo amplamente utilizadas, suas cascas, flores, folhas, e até para finalidade medicinal (Rodrigues *et al.*, 2007). Segundo Martins *et al.* 2020, pesquisas sobre o Angico (*Anadenanthera*) revelaram que a espécie é extensamente empregada na medicina para tratar de doenças respiratórias, processos inflamatórios e proporciona a cicatrização.

É bastante recomendada em SAFs e planos de reflorestamentos de áreas danificadas em virtude do seu crescimento rápido, fixação de nitrogênio eficaz e resistência a ventos fortes (Paes *et al.*, 2006). De acordo com Silva *et al.* (2021), um estudo realizado, utilizando Angico, averiguou a condição nutricional do plantio consorciado com pastagem nativa, comprovando um acréscimo nos teores nutricionais em comparação com o campo nativo.

A Aroeira-do-sertão (*Myracrodruon urundeuva* Fr, All) é outra espécie arbórea nativa pertencente à família *Anacardiaceae*, apresentando grande potencial para integrar os SAFs (Salomão *et al.*, 2012). A família *Anacardiaceae* é amplamente conhecida pelo seu valor comercial devido às sementes e frutas comestíveis que produz (Pell, 2004). A notável diversidade desta família desempenha um papel fundamental no provimento de serviços ecossistêmicos, abrangendo alimentos, no entanto, a informação genética disponível para a conservação e aproveitamento dessas espécies é insuficiente (Ryadi *et al.*, 2023).

O valor econômico da família *Anacardiaceae* é promovido pelos mercados globais de manga, pistache e castanha de caju, contudo, seus atributos medicinais também apresentam um grande valor potencial (Mitchel *et al.*, 2022). As árvores frutíferas têm capacidade suportar a instabilidade das chuvas e possuem um hábito de crescimento perene (Ajayi; Kayode, 2020). A

diversificação do sistema agrícola com base em árvores frutíferas oferece retornos expressivos para os produtores rurais e cria oportunidades de valorização e geração de empregos (Dhyani *et al.*, 2013).

A Aroeira-do-sertão, na Caatinga, é uma planta de folhagem caducifólia, adaptada a ambientes ensolarados, considerada secundária tardia e comumente encontrada em terrenos secos e rochosos, o porte da árvore oscila entre 5 a 20 metros de altura, enquanto em solos mais férteis ela pode aproximar-se de 20 a 25 metros de altura (Kiill, 2011). É uma árvore de tronco alto, reto e copa ampla, mostrando um crescimento reputado lento a moderado, sua madeira é popularmente conhecida por sua notável resistência mecânica e durabilidade, além de ser resistente ao apodrecimento e ao ataque de cupins de madeira seca, a sua densidade pode variar entre $1,00 \text{ g cm}^{-3}$ e $1,21 \text{ g cm}^{-3}$ a 15 % de umidade (Silva *et al.*, 2017). É reconhecida como um componente significativo da vegetação arbórea na Caatinga, classificada como vulnerável, encontra-se listada na categoria de espécies ameaçadas de extinção pela União Internacional para a Conservação da Natureza e dos Recursos Naturais, devido à sua exploração completamente desordenada (Mendonça; Lins, 2000).

A Aroeira apresenta múltiplas utilidades, sendo o tronco utilizado na construção civil, resinas e cascas na produção de tanino, remédios e corantes, suas folhas são usadas como forragem para o gado, enquanto as flores são uma fonte de néctar para produção de mel, de modo geral, a planta é de grande relevância, sendo empregada na regeneração de áreas degradadas (Pareyn *et al.*, 2018). Segundo Salomão (2016), as qualidades físicas, biológicas e químicas da madeira lhe conferem resistência à compressão, atrito, flexão e à atuação de microrganismos, erosão, umidade, insetos, fogo, produtos químicos e intempéries climáticas.

A madeira é vastamente usada na confecção de postes, dormentes, esteios, mourões, bem como na produção de energia por meio de lenha e carvão, e também, é utilizada na fabricação de móveis (Kiill, 2011). De acordo com Carlini *et al.* (2010), as raízes da Aroeira-do-sertão são empregadas no tratamento de reumatismo, enquanto as folhas são utilizadas para tratar úlceras, além do mais, substâncias encontradas na entrecasca da árvore possuem propriedades anti-inflamatórias, antialérgicas, adstringentes e cicatrizantes.

Desta forma, a Aroeira e o Angico por suas diversas propriedades são potencialmente indicadas para SAFs no Semiárido nordestino.

3.5 LEGUMINOSAS EM SAFs

O feijoeiro é extensivamente empregado em SAFs, especialmente em estágios ou situações com menor sombreamento, devido à sua capacidade de se adaptar bem entre as fileiras de árvores, aliás, o feijão tem uma enorme demanda e relevância socioeconômica no Brasil, sendo uma das fontes indispensáveis de proteínas e minerais na alimentação da sociedade brasileira (Oliveira *et al.*, 2022).

O Feijão-Caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) é uma cultura originária da África exercendo um papel importante como alimento básico para sociedade nas regiões tropicais e subtropicais ao redor do mundo (Filho *et al.*, 2008). Em especial, nas regiões Norte e Nordeste do Brasil, é extensamente cultivado por pequenos agricultores, contribuindo na geração de renda e fornecendo alimentos para essas comunidades (Santos *et al.*, 2018). Além do mais, o Feijão-Caupi mostra a vantagem de estabelecer uma simbiose com bactérias fixadoras de nitrogênio, contribuindo para a disponibilização desse nutriente no solo (Gualter *et al.*, 2011).

Segundo Filho *et al.* (2011), nos últimos anos, o Feijão-Caupi tem passado por um significativo processo de expansão, isto se deve a sua notável capacidade de adaptação a diversas regiões e sistemas de cultivo, além do baixo custo de produção, essa expansão também é resultado do intenso trabalho de melhoramento genético aplicado a cultura ao longo das últimas décadas. No contexto do desenvolvimento da cultura, uma opção que está ganhando destaque e apresenta um grande potencial, especialmente na agricultura familiar, é a utilização do Feijão-Caupi em SAFs, esta abordagem oferece uma alternativa para diversificação da produção agrícola, proporcionando retornos financeiros promissores (Garcia *et al.*, 2019).

No estudo realizado por Sgarborssa *et al.* (2021), a produção do feijoeiro foi afetada consideravelmente pelo arranjo agroflorestal, a produtividade média adquirida no arranjo mais espaçado (12 m x 3 m) se assemelha à produtividade média no Brasil do feijoeiro integralmente no sol, desta forma, a cultivação do feijão em SAFs vem sendo uma opção favorável para o crescimento sustentável da agricultura.

Drumond *et al.* (2021), avaliaram o consórcio do eucalipto (híbrido de *Eucalyptus brassiana* x *E. urophylla*) com Feijão-Caupi, no Semiárido brasileiro, após 90 dias de cultivo, realizou-se a colheita do Feijão-Caupi, obtendo uma produção de aproximadamente 800 kg por hectare, este resultado da produção do Feijão-Caupi na fase inicial do plantio florestal, contribuiu para a redução dos custos de implantação do empreendimento florestal. Na pesquisa realizada por Santos e Paiva (2002), foi constatado que SAFs compostos por duas espécies de

eucaliptos (*Eucalyptus citriodora* e *Eucalyptus camaldulensis*), e cinco espécies agrícolas, dentre elas o Feijão-Caupi, demonstraram viabilidade econômica para os produtores rurais.

De acordo com o estudo conduzido por Macedo *et al.* (2006), investigou-se o uso de eucalipto em consórcio com culturas agrícolas, como milho, soja e feijão, e inferiram que a utilização das áreas tem uma eficiência maior quanto feita por meio do consórcio em comparação com o monocultivo. Segundo os estudos produzidos por Coelho *et al.* (2007), que averiguaram o consórcio entre *Eucalyptus grandis* e várias leguminosas, não identificaram distinções na altura do eucalipto até os 24 meses de idade.

A pesquisa de Santos *et al.* (2018), constatou que o cultivo consorciado de clones de eucalipto com Feijão-Caupi não afetou negativamente a produtividade do feijão, enquanto os eucaliptos apresentaram crescimento inicial superior em comparação ao monocultivo. Carvalho (2009) afirma que a benéfica interação entre o Feijão-Caupi e os eucaliptos é atribuída a capacidade que o feijoeiro possui em controlar a competição com plantas daninhas nos períodos iniciais do plantio, resultando em maior sustentabilidade na produção florestal.

Na pesquisa realizada por Ferreira (2023), foi avaliada a produtividade ao longo do tempo do monocultivos do Feijão-Caupi e o consorcio com clones de eucaliptos (*Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus tereticornis*), Aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Allemão) e Angico (*Anadenanthera colubrina* var. Cebil), em sistemas agroflorestais na região semiárida de Pernambuco. Para o consorciado do Feijão-Caupi com o clone de eucalipto (*E. urophylla*) o autor observou que a produção do feijão variou de 1040,43 kg.ha⁻¹ (aos 11 meses de plantio) a 95,03 kg.ha⁻¹ (51 meses). A produção do feijão com o clone (*Eucalyptus tereticornis*) apresentou valores na faixa de 986,23 kg.ha⁻¹ (11 meses) a 65,85 kg.ha⁻¹ (51 meses). O declínio na produtividade do feijão ao longo do tempo é atribuído ao sombreamento entre as linhas do plantio, causado pelo rápido crescimento dos clones, em comparação ao monocultivo o consórcio apresentou resultados de produção inferiores

De acordo com o autor, o Feijão-Caupi consorciado com o Angico registrou uma produtividade de 1032,23 kg.ha⁻¹ (11 meses) e de 1017,19 kg.ha⁻¹ (19 meses), a partir dos 23 meses de idade do plantio florestal a produtividade do feijão diminuiu em decorrência do sombreamento das áreas de cultivo. Por outro lado, Feijão-Caupi consorciado com a Aroeira atingiu uma produção com valores oscilando entre 1083,30 kg.ha⁻¹ (11 meses) a 121,17 kg.ha⁻¹ (67 meses), o aumento no tempo de produção foi resultado do crescimento lento das Aroeiras. Da mesma forma que ocorreu no consórcio do feijão com os clones, os consórcios da Aroeira e do Angico também apresentaram uma produção reduzida em relação ao monocultivos, devido ao sombreamento das áreas cultivadas.

Com base nas informações retratadas anteriormente, é evidente que o consócio demonstra uma produtividade satisfatória nos anos iniciais do plantio florestal, superando os monocultivos, mas à medida que tempo avança, o crescimento das árvores ocasiona o sombreamento, levando conseqüentemente a uma diminuição da produtividade do feijão (LEBRAZI; FIKRI-BENBRAHIM, 2022).

3.6 GRAMÍNEAS EM SAFs

Uma das características marcantes dos SAFs é a elevada produção interna de biomassa e a capacidade das diversas espécies explorarem a superfície do solo com suas raízes, otimizando a utilização dos nutrientes acessíveis e reciclando-os por meio de cortes recorrentes e manejo de podas (Souza *et al.*, 2021). As culturas anuais podem se beneficiar dos nutrientes presentes na camada superficial do solo, que foi melhorada por as espécies arbóreas introduzidas no sistema (Cordeiro *et al.*, 2017).

É possível utilizar espécies de diferentes práticas nos SAFs para produzir biomassa, incluindo não apenas espécies arbóreas, mas também herbáceas, forrageiras e arbustivas, cada uma desempenhando sua função específica e requerendo um manejo adequado dentro do sistema (Macedo, 2008). Dentro dos sistemas agrossilviculturais, o capim muitas vezes é considerado um problema, mas nos SAFs ele pode se tornar um aliado valioso, pois fornece grandes quantidades de biomassa nos períodos iniciais da sucessão, desde que seja devidamente manejado (Siddique; Dionísio; Simões-Ramos, 2017).

De acordo com Miccolis *et al.* (2016), recomenda-se o manejo regular do capim nos SAFs, realizando a roçagem regularmente, em geral de três a quatro vezes por ano, a matéria orgânica decorrente dessa roçagem deve ser aglomerada nos canteiros onde se encontram as árvores cultivadas e culturas agrícolas. O gênero *Panicum* é oriundo da África, no Brasil, esses cultivares geralmente demonstram boa produção e alto valor nutritivo, dos quais se ressaltam as diversidades Mombaça e a Tanzânia, entre outros (Alves; Soares Filho, 1996). As plantas do gênero *Panicum* são pertencentes à Poaceae, abrangendo aproximadamente 81 gêneros e mais 1460 espécies (Costa *et al.*, 2019).

A obtenção de alta produção de matéria seca (MS) em áreas de capim Tanzânia não configura grande desafio, contanto que as condições de manejo e fertilidade do solo sejam adequadas, embora os cultivares de *Panicum maximum* possuam diferentes potenciais (Santos; Costa, 2006). No estudo realizado por Cecato *et al.* (2000), mostrou que há uma significativa variação na produção de matéria seca total e de folhas (MSf) entre os diferentes cultivares de

Panicum maximum (KK8, Tobiatã, Centenário, Tanzânia e Mombaça), podendo ser influenciada pela época de crescimento, entre outros diversos fatores.

Nas regiões tropicais o cenário climático pode ser impróprio para evolução ideal das plantas durante a estação seca, mas, por outro lado, são mais favoráveis durante a estação chuvosa (Cecato *et al.*, 2000). Segundo Costa *et al.* (2019), o *Panicum maximum* é amplamente conhecida como principal forrageira no mercado brasileiro, sua adaptação a solos leves, com níveis de fertilidade de médio a alto, a torna altamente indicada para sistemas pecuários mais intensivos, graças à sua elevada produtividade.

Neste sentido, Ribaski e Ribaski (2013) ressaltam que por meio de um planejamento eficaz e decisões corretas, é viável incluir as práticas florestais e pecuárias, resultando em benefícios tanto econômicos quanto ambientais, contudo, a falta de sucesso em algumas propriedades muitas vezes se deve a escolhas inadequadas e manejo incorreto de espécies florestais e forrageiras em SAFs.

Ferreira (2023), avaliou a produtividade do monocultivo e consócio do capim Tanzânia com clones de eucaliptos (*Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus tereticornis*), Aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Allemão) e Angico (*Anadenanthera colubrina* var. Cebil), o monocultivo apresentou uma produtividade maior que o do consócio nas 12 primeira safras, os valores da produção do capim Tanzânia variaram entre 9,59 (t.ha⁻¹) na safra (18 meses de idade) à 4,32 (t.ha⁻¹) na safra (38 meses de idade). Já na produtividade do capim em consócio com as demais espécies florestais, até os 30 meses, indicou que nos primeiros anos de cultivos, a interação das espécies florestais com o desenvolvimento do capim não teve impacto negativo na redução da produtividade da forrageira.

3.7 ADUBAÇÃO ORGÂNICA

A adubação orgânica é uma opção altamente viável para os produtores, trazendo diversos privilégios para a produção, além de melhorar as características físicas do solo, também aprimora as propriedades biológicas, resultando em redução da erosão, aumento na disponibilidade de nutrientes, maior acúmulo de partículas e retenção de água, resultando em menor mudança de temperatura no solo (Santiago; Rosseto, 2009).

Segundo Silva (2012), os adubos orgânicos desempenham um papel fundamental na melhoria da produção agrícola, seu uso contribui significativamente para a formação de uma estrutura do solo mais favorável, esses adubos atuam como agentes cimentantes, elevando a

porosidade e aeração do solo, evitando perdas por escoamento superficial e garantindo uma melhor infiltração de água.

De acordo com Fonseca *et al.* (2016), o emprego de fontes orgânicas de nitrogênio surge como uma opção favorável, com potencial para diminuir a quantidade de adubos químicos nitrogenados necessários para a cultura, isso resulta em menor custo, demonstra eficácia de funcionalidade igual ou superior aos fertilizantes minerais convencionais.

No trabalho de Ke *et al.* (2017), os autores ressaltaram que os adubos orgânicos têm a capacidade de fornecer nutrientes fundamentais para o solo e as plantas, como também enriquecendo o sistema com matéria orgânica, promovendo melhorias nas propriedades químicas, biológicas e físicas do solo, essa adição contribui para elevar o equilíbrio dos agregados do solo, deste modo, os adubos orgânicos contribuem significativamente para a sustentabilidade e produtividade do sistema solo-planta.

3.7.1 Biocarvão

O biocarvão é um material sólido de origem carbonácea obtido por meio da transformação termoquímica da biomassa. O processo de transformação também pode resultar em outros produtos similares, como o carvão e o carvão ativado, os quais também são considerados carbonos pirogênicos (Hagemann *et al.*, 2018). A ação química do biocarvão é avaliada pelas cargas livres em sua superfície, as quais contribuem para a aderência da água ao material, conferindo-lhe um caráter hidrofílico, a distribuição dos poros e a energia livre na superfície também são fatores determinantes para a capacidade do biocarvão em reter água (Batista *et al.*, 2018).

Segundo Panwar, Pawar e Salvi (2019), o biocarvão não apenas restringe a drenagem do nitrogênio nos lençóis freáticos como também modera a acidez do solo, promovendo maior fertilidade, além de contribuir para a restauração do solo incluindo ao elevar o pH e aumentar a versatilidade de nutrientes essenciais, como fósforo, cálcio e potássio, criando um ambiente mais propício para o crescimento das raízes. No trabalho conduzido por Silva, Andrade e Bettioli (2020), foi constatado que o biocarvão demonstrou eficácia no combate a algumas doenças fúngicas, possibilitando a redução do emprego de inseticidas e fungicidas.

A atividade química do biocarvão pode ser modificada pela mineralização decorrente da ação dos microrganismos presentes no solo (Palansooriya *et al.*, 2019). Esta ação microbiana é mais intensa quando há maior flexibilidade de nutrientes no solo, que podem ser oriundos de adubações realizadas, desta forma a presença de biocarvão no solo pode influenciar o ciclo de

nutrientes, afetando a disponibilidade e a retenção de elementos essenciais para as plantas (Wang *et al.*, 2016).

De acordo com Juriga e Simansky (2018), a aplicação de adubos no solo pode aumentar a oxidação das superfícies do biocarvão e, conseqüentemente, elevar sua atividade no ambiente, isso ocorre porque a presença de nutrientes adicionais favorece a atividade microbiana o solo, resultando em interações mais intensas com o biocarvão, além da melhoria da saúde do solo e no aumento da produtividade agrícola.

A adição de biocarvão ao solo resulta em uma disponibilidade maior de nutrientes, devido à capacidade dos poros presentes no biocarvão de absorver água e nutrientes por capilaridade, à medida que o solo seca, o biocarvão libera gradativamente a água e os nutrientes absorvidos, contribuindo para manter um suprimento constante de nutrientes às plantas (Schimmelpfennig; Glaser, 2012). A relação entre as raízes e o biocarvão potencializa a absorção de nutrientes pelas plantas, otimizando a eficácia da adubação (Olmo *et al.*, 2016).

No trabalho conduzido por Santos *et al.* (2019), os pesquisadores afirmam que incorporação do biocarvão como condicionador do solo contribui para o incremento da prestatividade do fósforo (P), isto ocorre em virtude da diminuição da absorção deste elemento pelos óxidos de Fe, tornando-o mais propício para a absorção e utilização pelas plantas na cultura agrícola.

O biocarvão é uma opção promissora como condicionador do solo para culturas agrícolas e florestais, com características que promovem o crescimento das plantas (Trazzi *et al.*, 2018). Sua aplicação na agricultura beneficia a elevação do pH do solo, do teor de carbono orgânico e dos nutrientes Ca, N, P e K trocáveis, enquanto reduz a acidez potencial do solo (Chan *et al.*, 2007).

Na savana colombiana, foi aplicado biocarvão derivado de resíduos de madeira em duas fases, com quantidades de 8 ou 20 toneladas, os pesquisadores Major *et al.* (2010), ao avaliarem os efeitos do biocarvão, concluíram que após 4 anos da aplicação, ocorreu uma redução da acidez trocável, além de um aumento nos níveis de pH, cálcio (Ca) e magnésio (Mg) no solo. Os pesquisadores ressaltam que o impacto de biocarvão é mais acentuado em solos tropicais, nos quais a matéria orgânica é velozmente mineralizada, especialmente em regiões semiáridas, onde a produção de biomassa é restrita devido à marcada degradação dos minerais argilosos, que desempenham papel crucial na capacidade de troca catiônica.

O biocarvão na microrregião de se Itaparica configura como uma alternativa economicamente viável, dada a sua obtenção se dá a baixo custo mediante a maceração do

carvão, sendo prontamente disponível na mencionada região (Ferreira, 2023; Moreira, 2018; Santos, 2016).

3.7.2 Resíduos dos tanques de piscicultura

No final do século anterior, teve início a atividade da piscicultura nas proximidades dos reservatórios do Rio São Francisco, com predominante na produção de tilápias (Forneck *et al.*, 2021). A edificação desses reservatórios ampliou a disponibilidade de água para as comunidades circunvizinhas, culminando na ascensão da indústria da piscicultura como uma opção adicional de sustento econômico na região (Gunkel; Silva; Sobral, 2013).

Os resíduos dos tanques de piscicultura são oriundos do acúmulo da excreção dos peixes e de sobras de ração utilizada, podendo-se encontrar sedimentados, suspensos ou dissolvidos, esses resíduos contribuem para níveis elevados de demanda biológica e química de oxigênio, nitrogênio e fósforo (Oliveira; Moreira; Schneider, 2019).

A piscicultura é uma atividade que gera quantidades consideráveis de fósforo total (14,8 kg/ha), nitrogênio total (40 kg/ha) e uma demanda bioquímica de oxigênio (DBO) de 152 kg por toneladas de tilápias produzidas, este cenário contribui para o processo de eutrofização nas águas dos reservatórios de piscicultura (Gunkel; Sobral, 2013).

As rações empregadas na dieta dos peixes apresentam uma notável abundância de fósforo e nitrogênio, em proporções de 11% (P) e 14,8% (N), respectivamente (Bock *et al.*, 2006). Quanto ao nitrogênio, ele pode se apresentar nas formas inorgânica e orgânica, como amônia, nitrito e nitrato, o fósforo pode se manifestar como ortofosfato e fosfato orgânico (Melo *et al.*, 2022; Moro *et al.*, 2013).

A utilização de resíduos na agricultura representa uma opção economicamente viável, já que contribui para o avanço sustentável ao mesmo tempo em que diminui a dependência de fertilizantes químicos (Campeche; Guilherme, 2019). O uso de resíduos como fonte de adubação, além de promover o desenvolvimento sustentável permite a reutilização de nutrientes vitais (Nascimento *et al.*, 2016; 2018).

Para Cruz, Fayal e Soares (2020), o resíduo sedimentado gerado no ciclo produtivo da piscicultura de peixes, apresenta-se como uma opção para potencializar o rendimento do cultivo, ao mesmo tempo em que contribui para a diminuição dos gastos com fertilizantes tradicionais. Alguns influentes, como os oriundos da piscicultura são diretamente aplicados nos cultivos agrícolas (Ramanathan *et al.*, 2023). Esta abordagem é vantajosa, pois elimina a

demanda por tratamento dessas águas, minimizando o impacto ambiental decorrente do despejo desses efluentes em rios (Júnior *et al.*, 2014).

Segundo Meert *et al.* (2011), ao empregarmos fontes de adubação de cunho sustentável, como os compostos orgânicos, e ao combinar esta prática com a fertirrigação usando efluentes, conseguimos substancialmente diminuir os gastos de produção e os impactos ambientais. De acordo com Pullin (2003), os resíduos gerados, como lodo e efluentes, são empregados na agricultura para aprimorar a produtividade do solo, prevenindo a eutrofização dos recursos hídricos e a contaminação do lençol freático.

Conforme afirmam Rosa *et al.* (2018), o reuso dos resíduos provenientes de tanques de piscicultura na agricultura se mostra como uma opção benéfica, contribuindo para melhorar as propriedades químicas, físicas e econômicas na composição de substratos destinados à produção de mudas, com a contínua expansão da agricultura, a busca por alternativas de substratos que garantam mudas de qualidades e eficiência econômica tem ganhado destaque.

De acordo com Smiderle e Minami (2001), para a produção de mudas, é essencial que o substrato ofereça à planta a capacidade adequada de retenção de água, garantindo o equilíbrio entre a umidade e aeração, além disto, o substrato deve manter sua porosidade quando ocorre um excesso de água, assegurando um suprimento adequado de oxigênio crucial para o processo de produção de mudas e fotossíntese, pois, o substrato exerce uma influência significativa na formação das mudas, desempenhando um papel vital nas fases iniciais do desenvolvimento das plantas.

No estudo conduzido por Silva (2017), foram examinadas as características físicas e químicas dos resíduos gerados pela criação de alevinos na região semiárida de Pernambuco, a análise das relações carbono/nitrogênio e dos teores de macronutrientes (magnésio, potássio, fósforo e nitrogênio) revelou que os resíduos provenientes dos tanques exibem concentrações mais elevadas desses nutrientes, notadamente em relação ao potássio (K) e magnésio (Mg), alcançando de 2,5 a 5 vezes mais K e 2 a 4 vezes mais Mg, em relação com os esterco de origem animal, tais como suíno, bovino e avícola. No que tange à relação carbono/nitrogênio, o pesquisador verificou que o resíduo de matéria orgânica oriundo dos tanques de piscicultura exibe uma notável aptidão de mineralização de nutrientes, proporcionando prestatividade de maneira célebre para as plantas.

No estudo desenvolvido por Silva *et al.* (2013), realizado em uma região próxima ao reservatório de Itaparica, no município de Itacuruba-PE, buscou-se comparar as concentrações de nutrientes entre os resíduos provenientes dos tanques de piscicultura e os esterco de base animal (aves, bovinos e suíno), os resultados indicaram que os resíduos de piscicultura

apresentam teores mais elevados de nutrientes, tais como Mg, K, P e N, em comparação com os demais esterco analisados. Os autores ressaltaram outra característica significativa do resíduo proveniente de tanques de piscicultura, a elevada relação C/N, este indicador denota uma notável capacidade de mineralização do resíduo, acelerando a disponibilidade dos nutrientes para absorção pelas plantas.

Um dos nutrientes mais requisitados pelas plantas em quantidades substanciais é o nitrogênio (N), sendo aquele que mais significativamente contribui para o aumento da biomassa das árvores (Araujo *et al.*, 2020). No solo, a matéria orgânica representa a fundamental fonte de nitrogênio para as plantas, sendo absorvida predominantemente na forma de nitrato (NO_3^-) ou amônio (NH_4^+), esta substância desempenha uma função crucial nos métodos fisiológicos vitais, tais como fotossíntese, respiração e diferenciação celular, ao se integrar como componente da clorofila (Caione *et al.*, 2012).

Conforme destacado por Schumacher *et al.* (2004), o fósforo (P) é considerado um dos macronutrientes com menor demanda quantitativa pelas plantas, apesar disto, desempenha uma função crucial na promoção do crescimento das raízes, sua ausência impede a conclusão do ciclo de vida das plantas, não sendo substituível por nenhum outro elemento. Contudo, é importante observar que as plantas conseguem utilizar não mais do que 10% do fósforo total disponível, devido à adsorção predominante desse elemento nos solos tropicais, ricos em ferro e alumínio.

O potássio é o nutriente que exerce impacto direto na regulação da abertura e conclusão dos estômatos, sendo que sua presença adequada ou deficiente influencia no controle da perda de água por meio da transpiração, além disto, o potássio exerce papel crucial na ativação de enzimas, na síntese de proteínas, na translocação de solutos e no floema e no processo da fotossíntese (Franco, 2014; Petter *et al.*, 2016). Nos solos propícios ao cultivo florestal, observa-se frequentemente a presença acentuada do íon metálico potássio (K^+), embora a concentração por hectare seja substancial, apenas uma fração ínfima deste elemento se encontra efetivamente disponível para as plantas ao longo de seu ciclo de crescimento, provavelmente não ultrapassando 2%, devido à diversidade de fatores incidentes nos solos (Nascimento; Monte; Loureiro, 2008).

De acordo com as observações de Costa (2014), desempenha uma função crucial nas células vegetais, contribuindo para vários métodos metabólicos, tais como a ativação de enzimas relacionadas à respiração, fotossíntese e síntese de ácidos nucléicos, além de constituir parte integral da estrutura da molécula de clorofila. O autor ressalta que a falta deste elemento prejudica o crescimento das plantas, causando clorose nas folhas mais antigas, impactando o

desenvolvimento, aumentando a suscetibilidade a doenças e, eventualmente, levando à morte, especialmente em solos ácidos em pH abaixo de 5,4 e altas concentrações de fertilizantes com cálcio e/ou potássio, comprometendo a disponibilidade do mineral essencial.

Os resíduos de tanque de piscicultura são uma fonte valiosa de nutrientes, contribui para a fertilização de áreas de cultivo de plantas, entretanto, é necessário um processamento adicional antes da sua aplicação no solo (Drózd *et al.*, 2020). Considerando as informações apresentadas, em virtude da riqueza em nutrientes presentes nos resíduos dos tanques de piscicultura, aliada a custos praticamente nulos, emerge a viabilidade de empregá-los de uma maneira sustentável como adubação orgânica, tanto em monoculturas quanto em sistemas agroflorestais.

3.7.3 Sedimentos do reservatório de Itaparica

Um desafio adicional frequentemente confrontado por grandes reservatórios artificiais é a deposição substancial de sedimentos em seus leitos (Santos, 2016). A formação do sedimento é amplamente influenciada pelas características do material de natureza inorgânica e orgânica, que deriva de processos contínuos de intemperismo e erosão atuando sobre minerais e rochas (Gomes *et al.*, 2010).

Segundo Owens *et al.* (2005), os sedimentos são um conjunto de partículas minerais e orgânicas localizadas no leito de lagos, baías, rios, estuários, reservatórios e oceanos, sua relevância está em oferecer substrato para diversos organismos e atuar como depósito de vários contaminantes aquáticos pouco solúveis, desta maneira, desempenham uma função crucial nos processos de absorção, transporte e deposição dessas substâncias.

De acordo com Kalev e Toor (2018), os rios executam um papel fundamental no transporte de sedimentos (resíduos orgânicos), oriundos da erosão de minerais do solo em áreas de leito, assim como da decomposição da matéria orgânica. Para Chabchoubi *et al.* (2020), os sedimentos localizados no leito do reservatório desempenham o papel de absorver nutrientes e substâncias químicas provenientes das áreas agrícolas adjacentes, manifestando-se na forma de partículas em suspensão.

A utilização desses sedimentos para fins agrícolas, desde que a presença de metais pesados neste material esteja em níveis minimizados (Walter; Gunkel; Gamboa, 2012). Os pesquisadores Ockenden *et al.* (2014) investigaram dez zonas úmidas agrícolas no Reino Unido, visando compreender sua capacidade de retenção de sedimentos e nutrientes, constataram concentrações notáveis de nutrientes, como carbono (C), nitrogênio (N) e fósforo (F),

apresentando uma dimensão média de (97:8:1), esta relação C/N, revelou-se adequada para o uso desses sedimentos como adubação na agricultura, considerando que o carbono (C) fornece energia à planta, enquanto o nitrogênio (N) desempenha papel indispensável na evolução vegetal.

Conforme afirmado por Giacomini *et al.* (2003), a relação C/N em feitos orgânicos é crucial para prever a ociosidade de nitrogênio no solo no decorrer da decomposição, pois, quanto menor a relação, mais rápida a decomposição da matéria orgânica, resultando em uma liberação eficaz de nitrogênio para as raízes das plantas.

O manejo da sedimentação do reservatório é essencial para assegurar a utilização sustentável das fontes de água superficiais (Chabchoubi *et al.*, 2020). Segundo Mtibaa *et al.* (2020), os sedimentos do reservatório poderiam ser aplicados como melhorador de solo, oferecendo a possibilidade de reduzir os custos associados à dragagem, diminuir a demanda por fertilizantes químicos convencionais, enriquecendo a fertilidade do solo e promovendo a reciclagem de resíduos por meio do ciclo vegetal.

No estudo conduzido por Braga *et al.* (2019), sedimentos provenientes do rio Banabuiú, no Brasil, foram empregados como corretivo de solo, a pesquisa teve como propósito avaliar a viabilidade da reutilização dos sedimentos como fonte de nutrientes para a agricultura em uma região semiárida do Brasil. O estudo constatou que os sedimentos supriram praticamente toda a demanda de nitrogênio das plantações de milho (*Zea mays* L.), adicionalmente, foi detectado que a utilização dos sedimentos resultou em uma redução de 25 % nos gastos com fertilizantes convencionais.

De acordo com Carvalho *et al.* (2022), a estratégia de recuperação envolvendo a reutilização de sedimentos, isto é, a aplicação de sedimentos enriquecidos com nutrientes provenientes de reservatórios, tem sido considerada uma abordagem para revitalização de solos agrícolas. O autor enfatiza que os solos na região semiárida do Brasil costumam ser superficiais, apresentando reduzidos níveis de matéria orgânica e limitada capacidade de retenção de água.

A prática de reuso de sedimentos tem sido sugerida como uma abordagem alinhada ao conceito de economia circular, tratando os sedimentos como um recurso valioso ao invés de resíduo (Brils *et al.*, 2014). O uso de sedimentos dragados para a substituição de solos degradados devido à erosão foi investigado, e os resultados indicaram que a incorporação de sedimentos teve impactos positivos nas características físicas e químicas do solo, resultando em um aumento na produção total de matéria seca das plantas (Capra *et al.*, 2015).

No estudo realizado por Ferreira (2023), na microrregião de Itaparica, o autor ressalta que o crescimento de fitoplanctons nos locais mais rasos dos reservatórios pode aumentar a

matéria orgânica, a retirada deste material nas regiões mais profundas é impraticável para agricultores de pequena escala. O autor afirma que durante a redução do nível da água nos rios, este material fica visível, facilitando a sua coleta, tornando-se de fácil obtenção e custo acessível.

Com base nos estudos científicos citados, as adubações orgânicas e o condicionador do solo (biocarvão), empregados nas espécies que compõem o experimento como elementos nutritivos, podem demonstrar capacidade de gerar benefícios econômicos e sustentáveis para a população da microrregião de Itaparica, oferecendo uma opção para os agricultores locais em substituição aos fertilizantes convencionais.

3.8 MÉTODOS ESTATÍSTICOS

3.8.1 Medidas Repetidas no Tempo

O conceito de medidas repetidas se refere à realização de observações em um mesmo indivíduo ou unidade experimental em múltiplas ocasiões (Spyrides *et al.*, 2007). A análise de medidas repetidas se refere à investigação de resultados de respostas avaliados na mesma unidade experimental em momentos distintos ou em condições diversas (Singh; Rana; Kumar, 2013). A análise fundamental de medidas repetidas envolve delineamentos experimentais completamente aleatorizados, nos quais os tratamentos são atribuídos às unidades experimentais, e as observações são registradas em múltiplas ocasiões para cada unidade experimental (Crowder; Hand, 2017).

Freitas (2007) ressalta que a literatura apresenta várias estratégias de planejamento com medidas repetidas, incluindo "*split-plot*", "*cross-over*" e planejamentos longitudinais. O "*split-plot*" (parcelas subdivididas) é frequente em ciências agrárias, caracterizado pela alocação de um fator em uma extensa parcela de terra, enquanto os níveis de outro fator são aplicados em subparcelas. Por outro lado, nos delineamentos "*cross-over*" (com intercâmbio), as unidades experimentais são submetidas a sequências de tratamentos.

O autor enfatiza a ocorrência frequente de cenários nos quais são realizadas medições repetidas ao longo do tempo para examinar o comportamento de uma unidade experimental. Estas medidas repetidas no tempo, denominadas planejamentos longitudinais, compreendem a observação de uma ou mais variáveis em uma mesma unidade experimental sob diversas condições de avaliação (intervalos de uma origem, tempo). Além domais, estes planejamentos são caracterizados pela correlação entre as medidas e por variações não-homogêneas nas variâncias ao longo do tempo, devido ao modo sistemático de coleta.

Dados longitudinais, conforme apontado por Costa (2003) e Singer, Rocha e Nobre (2004), apresentam diversas vantagens, incluindo: 1) a capacidade de estudar o comportamento médio da variável resposta em cada tratamento ao longo do tempo; 2) a necessidade de menos unidades experimentais, uma vez que as medidas são realizadas nas mesmas parcelas; 3) a possibilidade de avaliar a dependência da variável resposta em relação às covariáveis; 4) a redução do erro experimental devido ao aumento no número de dados; e 5) a melhoria na precisão das estimativas dos parâmetros.

Os autores destacam que, ao adquirir dados longitudinais de forma sistemática, é antecipado que as observações de uma mesma unidade experimental estejam correlacionadas. Ao contrário de outros tipos de dados nos quais é usual presumir independência dos erros, em dados longitudinais, é fundamental modelar uma estrutura de covariância apropriada para assegurar a validade das inferências sobre as médias.

Um modelo de ANOVA frequentemente utilizado é o modelo de medidas repetidas, em que a variável resposta (tratamento) é monitorada ao longo do tempo, constituindo assim um modelo longitudinal com observações repetidas (Keselman; Algina; Kowalchuk, 2001; Krueger; Tian, 2004). De acordo com Gomes (1990), este modelo está sujeito a quatro pressupostos fundamentais que visam assegurar a adequação do modelo aos dados do investigador, estes pressupostos abrangem a normalidade, homocedasticidade, esfericidade e independência.

Um equívoco significativo a ser evitado consiste na utilização dos dados brutos para testar os pressupostos, uma vez que estes devem ser avaliados com base nos resíduos (Zuur; Ieno; Elphick, 2010). Estatisticamente, um resíduo pode ser descrito como a disparidade entre cada uma das observações experimentais e a média do respectivo tratamento (Wu; Hamada, 2011).

A análise da normalidade dos resíduos em um modelo estatístico sugere se as discrepâncias entre os valores observados e previstos seguem uma distribuição normal, identificada por uma configuração sinuosa, este aspecto reveste-se de significativa importância em diversos testes estatísticos e na estipulação de intervalos de confiança (Schmidt; Finan, 2018).

A esfericidade busca uniformidade nas variações das pontuações de diferença entre os níveis de um fator de medidas repetidas, exigindo que as variâncias sejam iguais para cada conjunto de pontuações de diferença, além de ser uma condição matematicamente menos rigorosa do que a simetria composta, que impõe critérios mais exigentes (Kieffer, Haley, 2002; Singh; Rana; Kumar, 2013). Segundo Xavier e Dias (2001), a análise do parâmetro de

esfericidade é de importância fundamental para a avaliação da interdependência dos dados longitudinais ao longo do tempo, uma esfericidade de 1 denota que os dados são esféricos, apresentando variâncias e covariâncias uniformes na matriz dos dados experimentais, e qualquer desvio deste valor indica ausência de esfericidade.

A simetria composta requer que a variável aleatória apresente correlações uniformes e variâncias iguais em diversas ocasiões (Vieira *et al.*, 2007). Huynh e Feldt (1970) detalham uma condição mais abrangente da matriz Σ , conhecida como Huynh-Feldt (H-F), esta condição estipula que os componentes da matriz de covariâncias sejam apresentados, para um $\lambda > 0$, da seguinte forma:

$$\sigma_{ii} = \sigma_i^2$$

$$\sigma_{ii} = [(\sigma_i^2 + \sigma_j^2)/2] - \lambda$$

ou de forma alternativa,

$$\text{var}(x_i - x_j) = 2\lambda; \text{ para } i \neq j$$

em que λ é a diferença entre média das covariâncias e a média das variâncias. Desta maneira, esta condição é equiparável à simetria composta quando todas as variâncias são uniformes. Observa-se que as matrizes de covariâncias com variâncias idênticas e correlações nulas constituem casos particulares da condição Huynh-Feldt (H-F), sendo importante ressaltar que esta última é menos limitadora em comparação com a condição de simetria composta.

Um desafio relacionado à validade dos testes emerge quando se depara com estruturas de matriz de covariâncias que não seguem as premissas da simetria composta, erros independentes ou da condição Huynh-Feldt (H-F), resultando em testes F imprecisos (Xavier; Dias, 2001). Segundo Meredith e Stehman (1991), a análise de perfis surge como uma abordagem apropriada para dados de medidas repetidas, uma vez que não impõe suposições específicas sobre a estrutura da matriz de covariâncias.

A independência implica que a correlação entre os resíduos seja nula, indicando que uma observação não influencia a outra, pois quando os resíduos são dependentes, sugere-se um viés na coleta dos dados brutos, evidenciando uma interdependência entre as observações (Rocha; Junior, 2018).

De acordo com Nemeç (1996), a análise de medidas repetidas constitui um método avançado de análise de variância, direcionada a investigação das variações ao longo do tempo dentro e fora das unidades experimentais. O autor ressalta que na abordagem univariada, as medidas repetidas são consideradas observações distintas, incluindo o tempo como um fator no modelo ANOVA, em contrapartida, na análise multivariada (MANOVA), as medidas repetidas

são concebidas como elementos de uma única observação, proporcionando vantagens por meio de adoção de pressupostos menos limitativos.

Viera *et al.* (2007) afirma que ao contrário do modelo ANOVA, o modelo MANOVA dispensa a constância da variância das medidas repetidas ou da correlação entre pares de medidas repetidas ao longo do tempo. Entretanto, ambos os modelos demandam homogeneidade nas variâncias e correlações em cada ponto temporal.

Conforme apontado por Nemec (1996), Rocha e Junior (2018), em experimentos que envolvem medidas sucessivas na mesma unidade experimental ao longo de diferentes períodos, recomenda-se o emprego do modelo estatístico multivariado de medidas repetidas, tal escolha possibilita a identificação de potenciais variações entre os grupos (tratamentos e suas interações) ao longo do tempo.

3.8.2 Delineamento multivariado com medidas repetidas

O teste de esfericidade de Mauchly (Mauchly, 1940) verifica a violação ou não das condições de variâncias iguais e correlações nulas, para decidir se a análise estatística mais adequada seria por multivariada de medidas repetidas ou em parcelas subdivididas no tempo. Adicionalmente, o teste visa verificar se a matriz de covariâncias, denotada por Σ , atende à condição Huynh-Feldt (H-F), foi elaborado por Mauchly (1940), este teste fundamenta-se na condição H-F para a matriz de covariâncias das medidas repetidas dos indivíduos, necessários nos $(t-1)$ contrastes ortogonais normalizados.

Para Huynh e Feldt (1970), cada contraste está associado a uma porção única da variabilidade explicada pelo efeito em teste, uma garantia proporcionada pela ortogonalidade dos contrastes, isto sugere que o teste está examinando o máximo de hipóteses possível, cada uma vinculada a uma porção única da variabilidade explicada pelo modelo, o que culmina em uma independência aproximada do teste. Logo, para um conjunto de t períodos, existem múltiplos conjuntos de $(t-1)$ contrastes ortogonais, nos quais um contraste ortogonal é normalizado mediante a divisão pela sua norma euclidiana.

Dessa maneira, se Σ denota a matriz de covariância das medidas repetidas ao longo do tempo, a condição requerida pelo teste Huynh-Feldt (H-F) para as covariâncias dos contrastes é expressa por:

$$C_{(t-1) \times t} \sum_{(t \times t)} C'_{t \times (t-1)} = \lambda I_{(t-1) \times (t-1)}$$

em que C é a matriz de coeficientes dos contrastes ortogonais normalizados, que reflete o total de hipóteses nulas; Σ representa a matriz de covariâncias; λ é um escalar maior que zero; e I é a matriz identidade. Caso essa condição seja atendida, a matriz de covariâncias Σ é considerada esférica.

Conforme Kuehl (1994), a expressão do teste de esfericidade pode ser delineada da seguinte maneira: Considere S_{ij} como o elemento da i -ésima linha e j -ésima coluna da matriz de covariâncias amostral $S_{(txt)}$ para o erro intra-indivíduos, são selecionados $(t-1)$ contrastes ortogonais normalizados nas t medidas repetidas. Tomando a matriz $C_{(t-1) \times t}$, onde as linhas representam contrastes ortogonais normalizados nas t medidas repetidas, a matriz é calculada por $CSC'_{(t-1) \times (t-1)}$.

Assim, a estatística W do teste proposta por Mauchly (1940) para a hipótese nula $H_0: C\Sigma C' = \lambda I$ será $-\gamma \ln W$, com uma distribuição χ^2_f (qui-quadrado com f graus de liberdade) em que, $f = \frac{1}{2}t(t-1) - 1$. A rejeição da hipótese nula ocorrerá a um nível de significância α se $-\gamma \ln W > \chi^2_{\alpha, f}$, em que $\chi^2_{\alpha, f}$, é o valor para o qual acima dele se situam somente $100 \alpha \%$ dos pontos de $-\gamma \ln W$, tornando-se:

$$W = \frac{(t-1)^{t-1} (CSC')}{[\text{tr}(CSC')]^{t-1}}, \quad \gamma = (gb - g - b + 1) - \frac{2t^2 - 3t + 3}{6(t-1)}$$

em que $t =$ o número de tempos (coletas); $b =$ número de repetições, e $g =$ número de tratamentos.

De acordo com Milliken (1984; 1989), a complexidade da análise de medidas repetidas aumenta significativamente quando há mais de um fator em estudo com medidas repetidas. Por exemplo, dois fatores intra-indivíduos, como tempo, dias e a interação tempo \times dias. Nesta situação, seria imprescindível conceber um teste de esfericidade, aplicar um teste F e efetuar ajustes nos números de graus de liberdade associados a cada um desses fatores intra-indivíduos.

Xavier e Dias (2001), ressaltam que na ausência do cumprimento das pressuposições de normalidade, independência e da condição Huynh-Feldt (H-F) para a matriz de covariâncias Σ , uma alternativa viável seria recorrer à análise multivariada, também conhecida como análise de perfis, esta abordagem adota uma hipótese mais abrangente sobre a estrutura da matriz de covariâncias. Para os autores, uma alternativa adicional seria utilizar a análise univariada em um esquema de delineamento de parcelas subdivididas no tempo, com o ajuste correspondente no número de graus de liberdade para o teste F vinculado ao fator da subparcela.

O pesquisador Fernandez (1991) propões as seguintes diretrizes: a) se a condição Huynh-Feldt (H-F) para a matriz de covariâncias for atendida (teste de esfericidade não

significativo), o teste univariado pode ser empregado; b) se a condição H-F para a matriz de covariâncias não for atendida, e o nível de significância do teste de esfericidade estiver entre 0,05 e 0,01, podem ser consideradas a correção para os números de graus de liberdade ou a utilização de testes multivariados; e c) se a condição H-F para a matriz de covariâncias for rejeitada, com um nível de significância inferior a 0,01, somente testes multivariados devem ser adotados.

No modelo MANOVA, não há inclusão do erro da parcela. Para assegurar a completude deste modelo, é imperativo impor algumas restrições, conforme descrito por Montgomery (2001) um conjunto de restrições paramétricas inclui:

$$\sum_{i=1}^g \gamma_i = \sum_{j=1}^t \tau_j = \sum_{i=1}^g (\gamma\tau)_{ij} = \sum_{j=1}^t (\gamma\tau)_{ij} = 0$$

Sob a abordagem multivariada, o vetor de erro aleatório $\varepsilon_{ik} = [\varepsilon_{ik1}, \dots, \varepsilon_{ikt}]$ segue uma distribuição normal multivariada, em que $\varepsilon_{ik} \sim N_t(0, \Sigma)$, e Σ é matriz $t \times t$, com estrutura geral.

MANOVA, o modelo, em sua forma matricial, é expresso como:

$$Y = X\beta + E$$

tomando Y a matriz dos dados observados de t variáveis respostas para as n unidades experimentais de dimensões $(n \times t)$ representada por

$$Y = \begin{bmatrix} y_{111} & y_{112} & \dots & y_{11t} \\ y_{121} & y_{122} & \dots & y_{12t} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{1k1} & y_{1k2} & \dots & y_{1kt} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{g11} & y_{g12} & \dots & y_{g1t} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{gk1} & y_{gk2} & \dots & y_{gkt} \end{bmatrix}$$

a matriz X é a matriz de delineamento conhecida, com dimensões $(gk \times (g + 1))$, referente ao delineamento inteiramente casualizado com g tratamentos e k repetições, esta matriz pode ser decomposta em:

$$X = [X_1 : X_2], \text{ com } X_1 = [1_{gk}], X_2 = \begin{bmatrix} 1_k & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1_k & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 1_k \end{bmatrix}$$

com 1_{gk} e 1_k vetores de elementos iguais a um com dimensões $(gk \times 1)$ e $(k \times 1)$, respectivamente;

β é a matriz dos parâmetros de dimensões $((g + 1) \times t)$, dada por

$$\beta = \begin{bmatrix} \mu_1 & \mu_2 & \cdots & \mu_t \\ \tau_{11} & \tau_{12} & \cdots & \tau_{1t} \\ \tau_{21} & \tau_{22} & \cdots & \tau_{2t} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tau_{g1} & \tau_{g2} & \cdots & \tau_{gt} \end{bmatrix} e$$

E é matriz dos erros experimentais de dimensões $(n \times t)$, e representa por:

$$E = \begin{bmatrix} \epsilon_{111} & \epsilon_{112} & \cdots & \epsilon_{11t} \\ \epsilon_{121} & \epsilon_{122} & \cdots & \epsilon_{12t} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \epsilon_{1k1} & \epsilon_{1k2} & \cdots & \epsilon_{1kt} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \epsilon_{g11} & \epsilon_{g12} & \cdots & \epsilon_{g1t} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \epsilon_{gk1} & \epsilon_{gk2} & \cdots & \epsilon_{gkt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \epsilon'_{11} \\ \epsilon'_{12} \\ \vdots \\ \epsilon'_{1k} \\ \vdots \\ \epsilon'_{g1} \\ \vdots \\ \epsilon'_{gk} \end{bmatrix}$$

O vetor de erro experimental $\epsilon_{ij} = [\epsilon_{ij1} \ \epsilon_{ij2} \ \cdots \ \epsilon_{ijt}]'$ está vinculado à ij -ésima unidade experimental. Portanto, o vetor ϵ_{ij} associado às linhas da matriz E e correspondente à observação y_{ij} é considerado como possuindo distribuição normal t -variada, com vetor de média Φ e matriz de covariância Σ , representada por:

$$\Sigma = \begin{bmatrix} \sigma^2_1 & \sigma_{12} & \cdots & \sigma_{1t} \\ \sigma_{21} & \sigma^2_2 & \cdots & \sigma_{2t} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma_{t1} & \sigma_{t2} & \cdots & \sigma^2_t \end{bmatrix}$$

Estendendo-se a análise, os perfis de respostas y_{ij} seguem distribuições normais t -variadas com média $E[y_{ij}] = X\beta$ e variância $Var[y_{ij}] = \Sigma$. Logo, $y_{ij} \sim N_t(X\beta, \Sigma)$ e a matriz de covariância Σ é não estruturada e tem $t(t + 1)/2$ parâmetros. Adicionalmente, é necessário assumir que todos os grupos (tratamentos) compartilham a mesma matriz de variâncias e covariâncias, representada por Σ .

De acordo com Freitas (2007), em cenários como este, é possível analisar três hipóteses de interesse, representadas por:

- i) H_{01} : Os perfis médios de respostas vinculados aos tratamentos são paralelos, sugerindo a ausência de interação entre os fatores que determinam os tratamentos e os tempos medidos. A validação desta hipótese é crucial, pois sua aceitação influenciará a formulação das demais hipóteses de interesse, a representação na forma matricial é a seguinte:

$$H_{0I}: \begin{bmatrix} \mu_{11} - \mu_{12} \\ \mu_{12} - \mu_{13} \\ \vdots \\ \mu_{1(t-1)} - \mu_{1t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mu_{21} - \mu_{22} \\ \mu_{22} - \mu_{23} \\ \vdots \\ \mu_{2(t-1)} - \mu_{2t} \end{bmatrix} = \dots = \begin{bmatrix} \mu_{g1} - \mu_{g2} \\ \mu_{g2} - \mu_{g3} \\ \vdots \\ \mu_{g(t-1)} - \mu_{gt} \end{bmatrix}$$

ii) H_{02} : Os perfis médios de respostas associados aos tratamentos são idênticos, sugerindo a ausência de efeito desse fator. Em termos dos parâmetros do modelo, essa hipótese pode ser expressa por:

$$H_{0G}: \sum_{k=1}^t \mu_{1k} = \sum_{k=1}^t \mu_{2k} = \dots = \sum_{k=1}^t \mu_{gk}$$

ou, na forma matricial, temos:

$$H_{0G}: \begin{bmatrix} \mu_{11} \\ \mu_{12} \\ \vdots \\ \mu_{1t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mu_{21} \\ \mu_{22} \\ \vdots \\ \mu_{2t} \end{bmatrix} = \dots = \begin{bmatrix} \mu_{g1} \\ \mu_{g2} \\ \vdots \\ \mu_{gt} \end{bmatrix}$$

iii) H_{03} : Os perfis médios de respostas associados aos tratamentos são paralelos ao eixo das abscissas, sugerindo a ausência de efeito do fator tempo. No contexto dos parâmetros do modelo, essa hipótese pode ser expressa por:

$$H_{0T}: \sum_{i=1}^g \mu_{i1} = \sum_{i=1}^g \mu_{i2} = \dots = \sum_{i=1}^g \mu_{it}$$

ou, na forma matricial, temos:

$$H_{0T}: \begin{bmatrix} \mu_{11} \\ \mu_{12} \\ \vdots \\ \mu_{g1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mu_{21} \\ \mu_{22} \\ \vdots \\ \mu_{g2} \end{bmatrix} = \dots = \begin{bmatrix} \mu_{g1} \\ \mu_{g2} \\ \vdots \\ \mu_{2t} \end{bmatrix}$$

Com o objetivo de uniformizar os resultados, é possível expressar qualquer hipótese por meio de uma forma geral de hipótese linear (Andrade; Singer, 1986; Viera *et al.*, 2007):

$$H_0 = CBM = 0$$

em que C é uma matriz de dimensões $((g - 1) \times (g + 1))$ e M é uma matriz de dimensões $((t) \times (t - 1))$, ambas com posto g e t , nesta ordem. A matriz B representa os parâmetros do modelo. A matriz C é empregada para realizar comparações entre funções estimáveis relacionadas aos tratamentos, as quais correspondem às linhas da matriz B . Por outro lado, a matriz M é utilizada para comparações entre os tempos. As formulações específicas para as matrizes C e M , dentro do contexto das hipóteses de interesse, são as seguintes:

$$H_{0I}: C_1((g-1) \times (g+1)) = \begin{bmatrix} 0 & 1 & -1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 1 & 0 & 0 & \dots & -1 \end{bmatrix}$$

e

$$M_1(t \times (t-1)) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ -1 & 1 & \dots & 0 \\ 0 & -1 & \ddots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 1 \\ 0 & 0 & \dots & -1 \end{bmatrix}$$

as hipóteses nulas a serem testadas são $H_{0G}: C_1$ e $M_2 = 1_t$ e $H_{0T}: C_2 = 1'_g$ e M_1 , em que 1_t e $1'_g$ representam vetores de uns com dimensões t e g , na devida ordem.

Para testar a hipótese linear geral, conforme Ferreira (2012), Freitas (2007) e Vieira *et al.* (2007), os testes incorporam as matrizes de soma de quadrados e produtos para tratamento e erro, além do conceito de variância generalizada, estas estatísticas de teste geralmente são derivadas das raízes latentes da matriz HE^{-1} , visto que

$$H = M'[(X'X)^{-1}X'Y]C'[C(X'X)^{-1}C']^{-1}C[(X'X)^{-1}X'Y]M$$

é a matriz de somas de quadrados e produtos referente à hipótese nula e

$$E = M'Y'[I - X(X'X)^{-1}X']^{-1}YM$$

refere-se à matriz de somas de quadrados e produtos associada ao erro.

Para se testar as hipóteses H_{01} , H_{02} e H_{03} , diversas opções são encontradas na literatura para a avaliação das hipóteses. De acordo com (Queiroz, 2021) e Vieira *et al.* (2007), entre outros pesquisadores, as estatísticas de testes multivariados são derivadas dos princípios da união-intersecção de Roy e razão de verossimilhança de Wilks. Instituinto $\theta_i = \lambda_i(1 + \lambda_i)^{-1}$, em que λ_i representa a i -ésima raiz característica de HE^{-1} , as principais estatísticas são expressas por:

1. $\Delta = \prod_{i=1}^s (1 - \theta_i)$: Lambda de Wilks, em que $s = \min(t - 1, g - 1)$, sendo t o número de instantes do tempo e g o número de tratamentos;

2. $P = \sum_{i=1}^s \theta_i$: Traço de Pillai;

3. $T = \sum_{i=1}^s \theta_i (1 - \theta_i^{-1})$: Traço de Lawley-Hotelling;

4. $\theta_s = \max(\theta_i)$: Roy.

Nessas equações λ_i representa a i -ésima raiz latente de HE^{-1} e S é o número das raízes latentes nulas, e as distribuições exatas destas estatísticas, perante a hipótese nula, necessitam exclusivamente dos parâmetros $m_1 = (|(t - 1) - (g - 1)| - 1)/2$ e $m_2 = (n - g - (t - 1) - 1)/2$. Estes testes estatísticos dispensam a condição de H-F, visto que se fundamentam

em uma matriz de covariâncias desprovida de estrutura. Por outro lado, as estimativas da matriz de covariâncias podem ser adquiridas por meio do método dos momentos.

Vieira *et al.* (2007) que os quatros testes multivariados podem gerar distintos níveis descritivos, em termos de poder, a ordem preferencial geral é Traço de Pillai, Lambda de Wilks, Traço de Lawley-Hotelling e a Maior Raiz de Roy. Os pesquisadores afirmam que o teste mais frequentemente utilizado é o Lambda de Wilks. O teste estatístico Traço de Pillai demonstra maior robustez em relação à não normalidade dos dados quando comparado aos demais. (Håvold, 2010).

Se ao testar as hipóteses forem identificadas diferenças significativas entre as interações, será necessário utilizar o teste de comparação de média de Tukey, proposto por (Tukey, 1949) ao nível de 5% de significância (Khattree; Naik, 1999).

3.8.3 Parcelas Subdivididas

O delineamento em parcelas subdivididas constitui uma modalidade de disposição experimental empregada em ensaios agrícolas e em diversas esferas da investigação científica, além do mais, este delineamento se caracteriza como uma fusão de duas estruturas experimentais distintas, a saber, parcelas e subparcelas (Jones; Nachtsheim, 2009). O experimento é fragmentado em parcelas principais e subparcelas, sendo que as primeiras visam avaliar variáveis de difícil manipulação, ao passo que as segundas se dedicam à análise de fatores mais facilmente controláveis (Pereira *et al.*, 2019; Wooding, 1973).

A título exemplificativo acerca do delineamento em parcelas subdivididas, em pesquisas agrícolas, emprega-se a variação de tensões hídricas no solo como parcela e aplicação de doses de silício via foliar como subparcelas, visando atenuar os impactos da deficiência em uma cultura específica (Araújo *et al.*, 2019). O autor reitera que, além de demonstrar um controle notável sobre o erro ambiental, o sistema possibilita a condução de experimentos implementados em delineamentos completamente aleatórios ou em blocos ao acaso, nestes delineamentos, é viável a instauração de estudos com um ou dois fatores, os quais podem ser alocados às parcelas e subparcelas.

A utilização de parcelas subdivididas é aconselhável quando se deseja estudar dois ou mais tratamentos distintos (Silva; Silva, 1982), quando circunstâncias na prática impedem a implementação do experimento em um arranjo fatorial (Custódio; Moraes; Muniz, 2000). O delineamento por parcelas subdivididas permite avaliar eficientemente os efeitos simultâneos

de múltiplos fatores independentes, considerando suas interações, reduzindo a variabilidade experimental e otimizando recursos (Cortes; Simpson; Parker, 2018).

O estudo conduzido por Pereira *et al.* (2016), relata que o erro experimental é identificado por variações aleatórias nas observações de unidades experimentais sujeitas a tratamento idêntico, originando-se de fatores não controláveis resultantes de eventos imprevistos, como quedas de energia, oscilações na temperatura e deficiências nutricionais, intensificação ou escassez de precipitação. Estes fatores representam fontes de variabilidade que devem ser atenuadas durante a realização do experimento, visando à redução do erro experimental (Carpes *et al.*, 2008).

Quando os experimentos possuem medidas repetidas ao longo do tempo, pode-se os considerar como arranjos em parcelas subdivididas, nos quais são analisadas as variações de respostas grupais e individuais nos tempos, o que exige a definição de pelo menos um fator intra-indivíduos, mostrando as variáveis que conterão as medidas repetidas (Steel; Torrie, 1986; Nemeč, 1996). Silva e Silva (2001) afirmam que, em experimentos em parcelas subdivididas no tempo a parcela não se subdivide em subáreas, em vez disto, dados são periodicamente coletados em cada ponto, considerando cada uma dessas observações como uma subparcela, por exemplo, pode-se ter diferentes “amadurecimentos” nas parcelas, retirando-se uma amostra de cada parcela a cada quinzena para definição tecnológica, estas amostras (épocas ou períodos) compõem as subparcelas. Entretanto, neste caso as diferentes medidas ao longo do tempo na mesma unidade experimental são consideradas independentes, o que na realidade raramente ocorre. Este é o principal tipo de erro no uso de parcelas subdivididas.

Em experimentos com parcelas subdivididas, os autores destacam a presença de dois tipos diferentes de resíduos: o resíduo *a*, relacionado às parcelas, e o resíduo *b*, associado às subparcelas dentro de cada parcela. Devido ao menor número de parcelas em relação às subparcelas, os efeitos dos tratamentos secundários, avaliados nas subparcelas, são estabelecidos com maior precisão do que os efeitos dos tratamentos primários, analisados nas parcelas. Normalmente, o coeficiente de variação (C.V) de *b* é inferior ao C.V de *a*. Assim, é aconselhável incluir o conjunto de tratamentos de maior interesse na subparcela, sempre que viável.

De acordo com Huynh e Feldt (1970), a configuração de aleatorização no experimento de parcelas subdivididas resulta no erro experimental nas observações das parcelas em um erro experimental secundário nas subparcelas, no âmbito de medidas temporais, para além das requisições de independência, homocedasticidade e normalidade, é necessário que o erro relacionado à subparcela satisfaça a condição de esfericidade. Os autores reiteram que a matriz

de covariância dos dados acerca do fator secundário (tempo) atenda à condição de uniformidade, exibindo uma estrutura conhecida como dessimetria composta, fundamental para garantir a precisão da distribuição F.

Para investigações envolvendo medidas repetidas ao longo do tempo, no contexto de parcelas subdivididas, Fernandez (1991) adverte que, a aleatorização dos níveis temporais não pode ser realizada em seus intervalos, uma vez que a análise de variância convencional pode perder sua validade. O autor destaca que esta situação ocorre devido à falta de aleatorização, levando os erros associados às unidades experimentais a apresentarem uma matriz de covariâncias com variâncias não homogêneas, isto implica em um aumento na probabilidade de rejeitar a hipótese nula quando esta é verdadeira, inflacionando assim a probabilidade de erro tipo I.

Segundo Vieira *et al.* (2007), no modelo de análise de parcelas subdivididas, assume-se que tanto o erro da parcela, abrangendo o fator de tratamentos ou grupos, quanto o erro da subparcela, onde são destinados os tempos e a interação entre tempos×tratamentos, possuam distribuição normal, sejam independentes e apresentem distribuição idêntica, com variâncias constantes. Estas suposições são análogas às feitas em uma análise convencional, além disto, o erro da parcela é também denominado erro entre indivíduos, enquanto o erro da subparcela é conhecido como intra-indivíduos.

Xavier e Dias (2001) destacam que, em estudos de medidas repetidas no tempo usando um esquema de parcelas subdivididas no tempo, a ausência de casualização nos níveis do fator tempo coloca em questão a validade dos resultados da análise de variância, esta falta de casualização resulta na violação das pressuposições de independência dos erros e homogeneidade dos erros, além disto, há a possibilidade de existir dependência entre as observações mensuradas em uma mesma unidade experimental.

Para Santos, Saviania e Muniz (2013), quando a interação entre o fator das parcelas e o tempo é estatisticamente significativa, torna-se pertinente investigar mais profundamente as combinações desses fatores, elucidando de maneira mais detalhada os seus efeitos. Banzato e Kronka (2006) sustentam que, dado o caráter quantitativo do fator tempo, o desdobramento da interação deve ser realizado por meio da aplicação da técnica de regressão.

A pesquisa realizada por Seleiman *et al.* (2021), investigou o efeito das águas residuais tratadas ao longo dos últimos 15 anos, assim como o efeito dos fertilizantes sintéticos (50% e 100% da dose recomendada de NPK; 150 – 150 – 60 kg N – P₂ O₅ – K₂ O há⁻¹) no crescimento, biomassa, características energéticas, e nos teores de macro e oligoelementos em culturas de milho, sorgo, milheto cultivados em áreas já utilizadas por cultivos e solo virgem,

considerando-as como culturas bioenergéticas eficazes, a condução do experimento adotou o formato de parcelas subdivididas, utilizando um delineamento casualizados em blocos, neste arranjo, os tratamentos de água foram designados às parcelas principais, enquanto os dois tratamentos de adubação foram aleatoriamente distribuídos nas subparcelas.

Os resultados da pesquisa mencionada, conduzida por meio de parcelas subdivididas, possibilitaram aos autores identificar que a utilização de 50% da dose recomendada de NPK com águas tratadas resultou em um desempenho equiparado ao emprego de 100% da dose recomendada em todos os parâmetros avaliados. Os pesquisadores chegaram à conclusão de que é viável utilizar água tratada na irrigação de culturas voltadas para a produção de bioenergia em regiões áridas, sem ocasionar danos às plantas ou ao ambiente. Além disto, observaram que a aplicação de 50% da dose de fertilizante NPK não teve efeitos prejudiciais no crescimento e na produção de energia das culturas, resultando, portanto, em uma contribuição positiva para a preservação ambiental.

No estudo conduzido por Paciullo *et al.* (2008), empregou-se o delineamento experimental casualizados em blocos, em parcelas subdivididas no tempo, com quatro repetições, com propósito de examinar, ao longo das distintas estações do ano, as características morfológicas e estruturais, além da produção de matéria seca da *Brachiaria decumbens* em regiões contíguas a bosques e em áreas consorciadas com *Eucalyptus grandis* e leguminosas arbóreas, considerando diferentes níveis de sombreamento entre 0,18% e 50%.

O uso de parcelas subdivididas possibilitou aos pesquisadores concluir que o sombreamento resultou em um aumento nas taxas de alongamento de folhas e colmos, e que durante o inverno, ocorreu uma redução nas variáveis morfológicas e estruturais do dossel, assim como nas taxas de produção de forragem, independentemente das condições de sombreamento. Já o braquiária, evidenciando sua capacidade de adaptação a variações climáticas sazonais e diferentes níveis de sombreamento, destacando-se como uma opção promissora para a utilização em sistemas silvipastoris.

Na Tabela 1 é apresentado o esquema da análise de variância, bem como as esperanças dos quadrados médios e o teste F de interesse para o caso de um delineamento inteiramente casualizado em esquema de parcelas subdivididas no tempo, conforme Silva e Silva (2002).

Tabela 1 - Esquema para análise da variância, esperanças dos quadrados médios e teste F para as hipóteses de interesse do modelo de experimento no delineamento inteiramente casualizado em esquema de parcelas subdivididas no tempo.

Fonte de variação	Graus de liberdade	Somas de quadrados	Quadrados médios	Teste F
Trat. (a)	I-1	SQT_A	$QMT_A = \frac{SQT_A}{(I-1)}$	$\frac{QMT_A}{QMR_a}$
Resíduo (a)	I(J-1)	SQR_a	$QMR_a = \frac{SQR_a}{I(J-1)}$	
Parcelas	IJ-1	SQ Parcelas		
Tempo	K-1	SQT_B	$QMT_B = \frac{SQT_B}{(K-1)}$	$\frac{QMT_B}{QMR_b}$
Trat.×Tempo	(I-1)(K-1)	$SQT_{(A \times B)}$	$QM_{(A \times B)} = \frac{SQT_{(A \times B)}}{(I-1)(K-1)}$	$\frac{QM_{(A \times B)}}{QMR_b}$
Resíduo (b)	I(J-1)(K-1)	SQT_b	$QMR_b = \frac{SQT_b}{I(J-1)(K-1)}$	
Total	IJK-1	SQ Total		

Fonte: Autoria própria (2023)

As simbologias Trat., SQT, SQR, QMT e QMR, na Tabela, correspondem a tratamento, somas de quadrados dos tratamentos, somas de quadrados do resíduo, quadrados médios dos tratamentos, quadrados médios dos resíduos, respectivamente. Para realizar o cálculo das somas de quadrados, empregam-se as seguintes fórmulas:

$$SQT_A = \frac{1}{JK} \sum_{i=1}^I T^2_i - C, \text{ em que } C = \frac{G^2}{IJK};$$

$$SQ \text{ Resíduo}(a) = SQ \text{ Parcelas} - SQT_A;$$

$$SQ \text{ Parcelas} = \frac{1}{K} = \sum_{i=1, j=1}^{I, J} P^2_{ij} - C;$$

$$SQT_B = \frac{1}{IJ} \sum_{k=1}^K T^2_K - C;$$

$$SQ(A, B) = \frac{1}{j} \sum_{i=1, k=1}^{I, K} P^2_{ik} - C;$$

$$SQ(A \times B) = SQ(A, B) - SQT_A - SQT_B;$$

$$SQ \text{ Total} = \frac{1}{IJK} \sum_{i=1, j=1, k=1}^{I, J, K} P^2_{ijk} - C$$

$$SQ \text{ Resíduo}(b) = SQ \text{ Total} - SQ \text{ Parcelas} - SQT_B - SQ(A \times B).$$

Os coeficientes de variação são determinados por meio das seguintes fórmulas:

$$CV(a) = \frac{100\sqrt{QMR_a}}{\hat{m}}, \quad CV(b) = \frac{100\sqrt{QMR_b}}{\hat{m}}, \text{ em que, } \hat{m} = \frac{G}{IJK}, \text{ os valores dos coeficientes de}$$

variação são dados em porcentagens.

A variável de crescimento em questão, altura (H) será submetida à análise de variância. Caso os efeitos dos tratamentos revelem diferença significativa pelo teste F, a 5% de significância, torna-se necessário realizar o teste de comparações de médias por meio do teste de Tukey, com um nível de significância de 5%.

De acordo com Ferreira (2012), geralmente, é comum adotar um nível de significância mínimo de 5% para testar as hipóteses de nulidades, se o valor do teste F for inferior ou igual a 5%, rejeita-se H_0 , indicando que pelo menos os efeitos de dois níveis são estatisticamente diferentes. A análise dos resultados geralmente começa pelas interações duplas, com desdobramentos em caso de rejeição da hipótese nula, por outro lado, em situações em que a hipótese nula é aceita, o próximo passo é estudar os efeitos principais.

Segundo Xavier e Dias (2001), uma condição suficiente para a validade do teste F na análise de variância em nível de subparcela, para os fatores tempos e interação tempos×tratamentos, é a presença de uma forma conhecida como simetria composta na matriz de covariâncias, esta simetria composta se manifesta quando a matriz de covariância Σ pode ser representada da seguinte maneira:

$$\Sigma = \begin{bmatrix} (\sigma^2 + \sigma^2_1) & \sigma^2_1 & \sigma^2_1 & \sigma^2_1 \\ \sigma^2_1 & (\sigma^2 + \sigma^2_1) & \sigma^2_1 & \sigma^2_1 \\ \sigma^2_1 & \sigma^2_1 & (\sigma^2 + \sigma^2_1) & \sigma^2_1 \\ \sigma^2_1 & \sigma^2_1 & \sigma^2_1 & (\sigma^2 + \sigma^2_1) \end{bmatrix}_{t \times t}$$

em que: σ^2 representa a variância da subparcela (intra-indivíduos), σ^2_1 representa a variância da parcela (entre indivíduos), a variável t representa o número de níveis do fator tempo, enquanto $j = (1, \dots, t)$.

Os autores afirmam que o estado de simetria composta acarreta igual correlação e variância para a variável aleatória em distintas ocasiões. Segundo Santos, Savian e Muniz (2013), a condição Huynh-Feldt, indispensável e satisfatória para validar a análise de variância de parcelas subdivididas no tempo, requer que as variâncias da diferença entre pares de erros sejam idênticas, expressas por $\sigma_{jj'} = \frac{\sigma^2_j + \sigma^2_{j'}}{2} - \lambda$, e $\sigma_{jj} = \sigma^2_j$, em que λ é uma constante positiva.

Apesar de ser frequentemente usado em pesquisas agrícolas e florestais, este arranjo experimental quando considera o tempo como tratamento geralmente viola o princípio de independência entre as observações, uma vez que uma medida posterior depende diretamente da medida anterior na mesma unidade experimental (Freitas *et al.*, 2008).

3.8.4 Séries Temporais

Uma série temporal é caracterizada como uma série de observações de interesse coletadas ao longo do tempo, organizadas de forma cronológica (Adhikari; Agrawal, 2013; Sorjamaa *et al.*, 2007). Sob a perspectiva estatística, uma série temporal de dados históricos pode ser interpretada como uma sucessão de variáveis aleatórias, tornando-se um processo estocástico discreto com o passar do tempo (Sergio, 2017). O autor destaca que cada observação pode ser concebida como pontos em um gráfico bidimensional, em que o eixo vertical representa as medições dos dados, enquanto o eixo horizontal indica os momentos discretos no tempo em que essas medições foram realizadas.

A análise de séries temporais desempenha um papel crucial na obtenção de previsões precisas, sendo uma área continuamente alvo de substanciais investimentos em pesquisa, dada a relevância de estimativas precisas para orientar decisões futuras (Zhang, 2007). Segundo Pasquotto (2010), registros de séries temporais são prevalentes em diversas áreas, sendo de particular relevância na Administração e Economia, onde a coleta de dados ocorre em intervalos regulares de tempo, além disso, a gama de exemplos é extensa, abrangendo taxas demográficas, índices econômicos ou vendas de produtos, cuja divulgação pode ocorrer anualmente, mensalmente ou em intervalos mais frequentes.

Conforme Cowpertwait e Metcalfe (2009), atributos essenciais de séries temporais englobam variações de tendências e sazonalidade, além disso, a tendência representa elementos de longo prazo, ao passo que a sazonalidade captura padrões regulares ao longo do tempo. Ao analisar séries temporais, a presença ou ausência de estacionariedade é uma estimativa determinante, por outro lado, uma série estacionária é caracterizada pelo comportamento de seus pontos flutuando em torno de uma média ao longo do tempo, diferentemente de uma série não-estacionária.

Outras ferramentas de relevância para uma compreensão mais aprofundada de séries temporais são a Função de Autocorrelação (ACF) e a Função de Autocorrelação Parcial (PACF). Ao analisar a ACF, é possível obter insights sobre a estrutura temporal de uma série, sendo que picos ou declínios significativos podem indicar ciclos sazonais ou tendências (Silva; Lima; Camargo, 2021).

Os autores afirmam que, deste modo, a Função de Autocorrelação (ACF) contribui para a escolha de modelos adequados. Adicionalmente, a ACF pode ser empregada no diagnóstico de estacionariedade ao verificar se as autocorrelações diminuem rapidamente em direção a zero. O coeficiente de correlação, com amplitude de -1 a +1, atinge o valor zero quando não há

relação entre as variáveis, além de ajudar a identificar a ordem da Média Móvel (MA). A Função de Autocorrelação (ACF) desempenha, deste modo, um papel fundamental no diagnóstico e refinamento do ajuste do modelo, constituindo-se como um componente essencial no processo de análise de séries temporais. A ACF comumente definida como:

$$ACF(k) = \frac{Cov(Y_t, Y_{t-k})}{Var(Y_t)}$$

em que Y_t é a observação no tempo t , Y_{t-k} denota a observação no instante $t - k$, $Cov(Y_t, Y_{t-k})$ refere-se a covariância entre Y_t e Y_{t-k} , $Var(Y_t)$ representa a variância de Y_t , e k corresponde ao lag (intervalo de tempo) para o qual a autocorrelação está sendo calculada. Esta fórmula proporciona a autocorrelação normalizada entre a observação no tempo t e a observação no tempo $t - k$.

A Função de Autocorrelação Parcial (PACF) exerce uma função significativa ao contribuir para a identificação da componente autorregressiva (AR), modelagem de sazonalidade, seleção de modelos, diagnóstico de resíduos, verificação de estacionariedade, e aprimoramento da habilidade do modelo em realizar previsões precisas (Sato, 2013). O autor enfatiza que, durante a identificação do número de termos autorregressivos (AR), a presença de um corte acentuado na Função de Autocorrelação Parcial (PACF) ou uma autocorrelação positiva de lag 1 pode indicar que a série está possivelmente sub-diferenciada. Neste contexto, a consideração da inclusão de um termo AR no modelo torna-se pertinente. A PACF é definida da seguinte maneira:

Para $k = 1$, a PACF corresponde a simples autocorrelação entre as observações nos lags 1 e t , representada por $\phi_1 = Corr(Y_t, Y_{t-1})$. Já para $k > 1$, a PACF (ϕ_k) é derivada por meio de uma regressão linear dos valores no lag t em relação aos valores nos lags 1 até $k - 1$, eliminando a influência dos lags intermediários.

$$\phi_1 = Corr(Y_t, \hat{Y}_t, Y_{t-1} - \hat{Y}_{t-k})$$

em que \hat{Y}_t denota a projeção de Y_t com base nos lags 1 até $k - 1$, \hat{Y}_{t-k} representa a projeção de Y_{t-k} utilizando os lags 1 até $k - 1$, e $Corr$ indica a correlação. Esta fórmula expressa a correlação parcial entre as observações nos lags t e $t - k$, controlando os efeitos dos lags intermediários até $k - 1$.

Antes do ajuste dos modelos de séries temporais, o ideal é verificar se as séries temporais possuem indícios de tendencia crescente ou decrescente e se apresentam sazonalidade, também foi aplicado o teste de Dickey-Fuller ou ADF. Este teste é empregado para aferir a existência de raiz unitária em uma série temporal, em termos mais precisos, uma série temporal com raiz

unitária é considerada não estacionária, indicando que suas propriedades estatísticas, tais como média e variância, não permanecem constantes ao longo do tempo (Dickey; Fuller, 1981).

O teste de Dickey-Fuller implica nas seguintes hipóteses: a hipótese nula H_0 a série temporal possui raiz unitária e é não estacionária, a hipótese alternativa H_1 : a série temporal não possui raiz unitária e é estacionária. Se o valor do teste não for significativo ($p < 0,05$), decidimos acatar a hipótese nula que sugere a presença de uma raiz unitária, isto indica, conseqüentemente, a não estacionariedade da série temporal, sugerindo a presença de tendências.

De acordo com Sorjamaa *et al.* (2007) uma série temporal pode ser expressa da seguinte maneira:

$$Z(t) = (z_1, z_2, \dots, z_n)$$

em que, z_t representa a observação no instante t , n o número de observações coletadas e $Z(t)$ a função que retrata a série temporal em termos de t . Para estimar os valores de z_{n+1} de uma série $Z(t) = (z_1, z_2, \dots, z_n)$ podem ser dispostos os valores $z_n, z_{n-1}, z_{n-2}, \dots, z_{n-m+1}$, em que m representa o número de valores prévios da série $Z(t)$ empregados para efetuar a estimativa de z_{n+1} . Deste modo, o valor futuro z_{n+1} de uma série temporal pode ser definido utilizando a seguinte expressão:

$$z_{n+1} = f_1(z_n, z_{n-1}, z_{n-2}, \dots, z_{n-m+1})$$

O método tem origem com a construção de um modelo que detenha relações intrínsecas entre as inúmeras ocorrências, no período de tempo conhecido, desta forma o modelo é utilizado para estimar observações que ultrapassam o intervalo (Pasquotto, 2010). A literatura apresenta diversas abordagens para construir modelos de previsão, sendo as estratégias mais tradicionais derivadas da estatística, são os métodos lineares ou não-lineares (Angelo; Fouto; Luppe, 2011; Sergio, 2017), para esta dissertação os métodos utilizados serão os lineares, que incluem os seguintes modelos:

Modelos Autorregressivos – AR(p), o modelo AR(p) relaciona os valores futuros com as observações passadas, sugerindo que a variável de interesse possa ser derivada de seus próprios valores defasados. O modelo é dado pela seguinte expressão:

$$y_t = \varphi_1 y_{t-1} + \varphi_2 y_{t-2} + \dots + \varphi_p y_{t-p} + \varepsilon_t$$

em que y_t corresponde à observação da série temporal no tempo t , φ_1 corresponde ao parâmetro do modelo AR de ordem p , ε_t corresponde o resíduo, ou seja, a parte que não pode ser explicada pelo modelo, isto é, efeito de variáveis que não foram incluídas no modelo.

Modelos de média móvel – $MA(q)$, é uma média dos valores mais recentes dos erros aleatórios, sugerindo que a previsão pode ser alcançada por meio de um arranjo linear dos erros dos valores passados. O modelo é expresso por:

$$y_t = \varepsilon_t - \vartheta_1 \varepsilon_{t-1} - \vartheta_2 \varepsilon_{t-2} - \dots - \vartheta_q \varepsilon_{t-q}$$

em que ϑ_q corresponde ao parâmetro do modelo MA de ordem q , ε_t representa os choques, isto é, as diferenças entre os valores reais e os previstos das séries em cada instante t .

Modelos de Autorregressivos de Médias Móveis – ARMA, é a combinação entre o modelo de média móvel e o autorregressivo. O modelo ARMA, semelhante ao MA, é estacionário, o que implica que as distribuições finito-dimensionais continuam inalteradas sob translações no tempo. É representado pela seguinte expressão:

$$y_t = \varphi_1 y_{t-1} + \varphi_2 y_{t-2} + \dots + \varphi_p y_{t-p} + \varepsilon_t - \vartheta_1 \varepsilon_{t-1} - \vartheta_2 \varepsilon_{t-2} - \dots - \vartheta_q \varepsilon_{t-q}$$

No entanto, várias séries temporais reais não exibem estacionariedade devido a efeitos de tendência ou sazonalidade, neste cenário, o modelo autorregressivo integrado de Médias Móveis (ARIMA) surge como uma globalização do modelo ARMA, sendo apto de incorporar termos que representem comportamento não estacionário.

Modelos Autorregressivos Integrado de Médias Móveis – ARIMA, neste modelo, o termo "integrado" denota a introdução da distinção entre os valores atuais e os valores passados, esta diferença há a possibilidade de ser efetuada em múltiplas ocasiões. Além disto, após passar por d diferenças y_t se torna estacionária, e a série z_t que se origina destas diferenciações for um modelo ARMA(p, q), logo, y_t é caracterizado por um modelo ARIMA(p, d, q), expresso por:

$$y_t = \varphi_1 z_{t-1} + \varphi_2 z_{t-2} + \dots + \varphi_p z_{t-p} + \varepsilon_t - \vartheta_1 \varepsilon_{t-1} - \vartheta_2 \varepsilon_{t-2} - \dots - \vartheta_q \varepsilon_{t-q}$$

$$z_t = \Delta^d y_t$$

Sérgio (2017) destaca que na anotação ARIMA (p, d, q), em que p representa o número de termos autorregressivos (AR), d indica o número de distinções e q equivale ao número de termos de médias móveis (MA), a condição ARIMA($p, 0, q$) origina em ARMA(p, q), além disto, AR(p) é provável ser adquirido utilizando ARIMA($p, 0, 0$), a notação ARIMA($0, 0, q$) denota o modelo MA(q). O autor destaca que os modelos AR, MA, ARMA e ARIMA apresentam várias conversões na literatura, sendo algumas delas debatidas no trabalho de Box *et al.* (2015), renomados pesquisadores que propagaram o emprego destes modelos.

Uma abordagem comumente usada para selecionar o melhor modelo de previsão da classe ARIMA é por meio do critério de informação de Akaike (AIC). O AIC proposto por

Akaike (1974), tem como objetivo equilibrar a adequação do modelo e sua complexidade. A estatística associada ao teste AIC é representada por:

$$AIC(p, q) = \ln(\hat{\sigma}^2) + n \frac{2}{N},$$

em que $n = p + q$, N denota o tamanho da amostra. Na seleção do modelo, opta-se por aqueles que apresentam os valores mais baixos de AIC, uma vez que são considerados os mais apropriados tanto em termos de ajuste quanto de complexidade.

O BIC também foi proposto por Akaike (1978), é uma extensão do AIC, o BIC utiliza uma penalidade logarítmica mais forte, o que significa que penaliza modelos mais complexos de forma mais significativa, levando em consideração não apenas o ajuste dos dados, mas também a complexidade do modelo. A estatística do teste BIC é representada por:

$$BIC(p, q) = \ln(\hat{\sigma}^2) + n \frac{\ln N}{N},$$

em que $n = p + q$, N representa o tamanho da amostra, opta-se pelo modelo com o menor BIC frequentemente conduzirá a um compromisso entre a adaptação aos dados e a simplicidade do modelo.

Os modelos lineares abordados são extensivamente empregados na predição de séries temporais. No estudo conduzido por Santos (2014), o modelo ARIMA foi empregado para prever o uso de CPU, disco e memória, visando sua aplicação em um sistema de provisionamento. Valenzuela *et al.* (2008) empregaram o modelo ARMA em uma abordagem que combinou técnicas inteligentes com redes neurais artificiais (RNAs) em sistemas fuzzy e algoritmos evolutivos. Mehdizadeh (2020) utilizou os modelos AR, MA e ARMA em sua pesquisa para modelar a precipitação mensal em duas estações, a relevância da precipitação reside em seu papel fundamental no ciclo hidrológico, sendo essencial para a estimativa de cheias, gestão de bacias hidrográficas, monitoramento de secas, entre outras aplicações.

Antunes e Cardoso (2015) empreenderam uma investigação sobre a análise de séries temporais em estudos epidemiológicos, com intuito de retratar atributos investigativos e regularizar recomendações metodológicas relacionadas à análise de séries temporais, um domínio da epidemiologia que viabiliza a antecipação de circunstâncias futuras na classificação de doenças na população, bem como a identificação das condições capazes de alterar essa distribuição, independentemente de ser para um desfecho positivo ou negativo.

Amâncio e Nascimento (2012) realizaram uma análise ecológica de séries temporais com o intuito de avaliar o risco de hospitalização por asma em crianças após exposição a poluidores do ar em um município da região Sudeste no Brasil. Picoli *et al.* (2018) utilizaram a análise de séries temporais de observação da terra em sua pesquisa, visando monitorar a

agricultura brasileira, com o propósito de desenvolver políticas públicas que conciliem produção agrícola e preservação ambiental para controlar o desmatamento. Bacchi e Hoffmann (2020) utilizaram modelos de séries temporais para prever preços carne de frango e bovina.

Diante disto, torna-se evidente que a aplicação de séries temporais na previsão proporciona insights valiosos para diversas aplicações, estabelecendo uma base sólida para a tomada de decisões informadas e estratégias eficazes (Cerqueira; Torgo; Mozetič, 2020).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi implantado, em março de 2014, na Estação Experimental do Instituto de Pesquisa Agronômica de Pernambuco (IPA), localizado na latitude 08°45'14" Sul e longitude 38°57'57" Oeste, com altitude de 305 metros, no município de Belém de São Francisco - PE, na Microrregião de Itaparica, região Semiárida de Pernambucano, o município se limita, ao Norte com Salgueiro, ao Sul com estado da Bahia, ao Leste com Itacuruba e Carnaubeira da Penha e a Oeste com Cabrobó (IBGE, 2010).

O clima dominante em Belém de São Francisco é denominado como de estepe com pouca pluviosidade durante o ano. Classificação climática BSh' de Köppen e Geiger, o clima regional é o semiárido quente e seco (Marques; Gunkel; Sobral, 2019). O município de Belém de São Francisco apresenta temperatura média anual entorno de 24,7 °C (Menezes *et al.*, 2007). As chuvas na região, normalmente, iniciam-se em novembro e finaliza em abril (Solos, 2006). A vegetação de Belém de São Francisco é constituída principalmente por Savana Estépica, ou Caatinga do Sertão árido nordestino (IBGE, 2012).

O experimento foi conduzido com base na metodologia Diagnóstico e Desenho (D&D) do World Agroforestry Centre (ICRAF) (Ferreira, 2023). Sucintamente envolve fases como pré-diagnóstico, diagnóstico, desenho de soluções agroflorestais, avaliações, redesenho da tecnologia, planejamento, implementação e disponibilização do modelo como unidade de referência (Almeida *et al.* 2012; Frank; Lunz e Amaral, 2000). O pré-diagnóstico do experimento, iniciado por volta de 2013 a 2014, abordou questões ambientais e socioeconômicas em Itaparica-PE, resultante de discussões entre diversas entidades, incluindo pesquisadores de instituições como UFRPE, IPA, UFPE, IFPE e Technische Universität Berlin, a metodologia D&D foi implementada em um módulo experimental em uma área previamente usada para monocultivos agrícolas e atualmente abandonada.

O experimento foi composto por quatro cultivos arbóreos: Angico (*Anadenanthera colubrina* var. *cebil* Grisebe), Aroeira-do-sertão (*Myracrodruon urundeuva* Allemão), e dois clones de eucalipto que foram adquiridos por polinização controlada de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus tereticornis*, as mudas dos clones de eucalipto foram provenientes do viveiro florestal da empresa Suzano, situado em Urbano Santos – MA, já as mudas de Angico e Aroeira foram adquiridas no Viveiro Florestal da Companhia Hidroelétrica do São Francisco- CHESF, localizado em Piranhas - AL.

No contexto das culturas agrícolas, foram analisadas as necessidades do pequeno produtor local, considerando o expressivo interesse da região na comercialização de seus produtos. Dentre as opções de culturas agrícolas de subsistência que poderiam ser incorporadas inicialmente ao sistema Agroflorestal (SAF). Foram escolhidas uma espécie forrageira, Capim Tanzânia (*Panicum maximum* Jacq) devido a sua tolerância a seca, e uma cultura agrícola, o Feijão-Caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). As sementes de Feijão-Caupi foram adquiridas no Instituto Agrônomo de Pernambuco – IPA, em Recife, PE, enquanto as sementes de Capim Tanzânia foram obtidas na empresa Nutricampo, também em Recife, PE.

Durante a etapa de diagnóstico do Diagnóstico e Desenho (D&D), foi conduzida uma análise química e física do solo no local destinado à implementação do experimento, abrangendo três profundidades do solo (0-30 cm, 30-60 cm e 60-90 cm). Os resultados dessa análise foram apresentados por Santos (2016) nas tabelas 2 e 3.

Tabela 2 - Propriedades físicas do solo na região experimental na Estação do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA) antes da instalação do experimento, localizada em Belém de São Francisco, PE.

Profundidade (cm)	Densidade (g/cm ³)		Granulometria (%)				Argila Natural	Grau de Flocculação	Classe textural
	Dap	Dp	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila			
00-30	1,57	2,61	2,78	58,83	26,13	12,26	4,78	62,26	FA
30-60	1,58	2,61	2,96	57,3	25,61	14,13	6,00	60,57	FA
60-90	1,59	2,61	2,96	58,96	23,13	14,96	6,43	57,96	FA

Em que: Dap= densidade aparente; Dr= densidade partículas; FA= Franco arenoso.

Fonte: Santos, (2016)

Tabela 3 - Propriedades físicas do solo na região experimental na Estação do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA) antes da instalação do experimento, localizada em Belém de São Francisco, PE.

Profundidade (cm)	P	pH	Ca	Mg	Na	K	Al	H	S	CTC	V	m
	mg.dm ⁻³	H ₂ O	cmolc.dm ⁻³								%	
00-30	51	5,82	4,04	0,95	0,09	0,49	0,06	1,51	5,6	7,1	75,4	1,5
30-60	37,73	6,04	4,31	0,94	0,11	0,23	0,05	0,94	4,8	5,7	75,5	0,8
60-90	37,64	6,29	4,78	1,1	0,2	0,19	0,01	0,76	5,4	6,2	79,5	0,3

Em que: P = fósforo; pH= potencial de hidrogênio; Ca = cálcio; Mg = magnésio; Na = sódio; K = potássio; Al = alumínio; H = hidrogênio; SB = soma de bases; CTC = capacidade de troca catiônica; V= saturação por bases;m= saturação por alumínio.

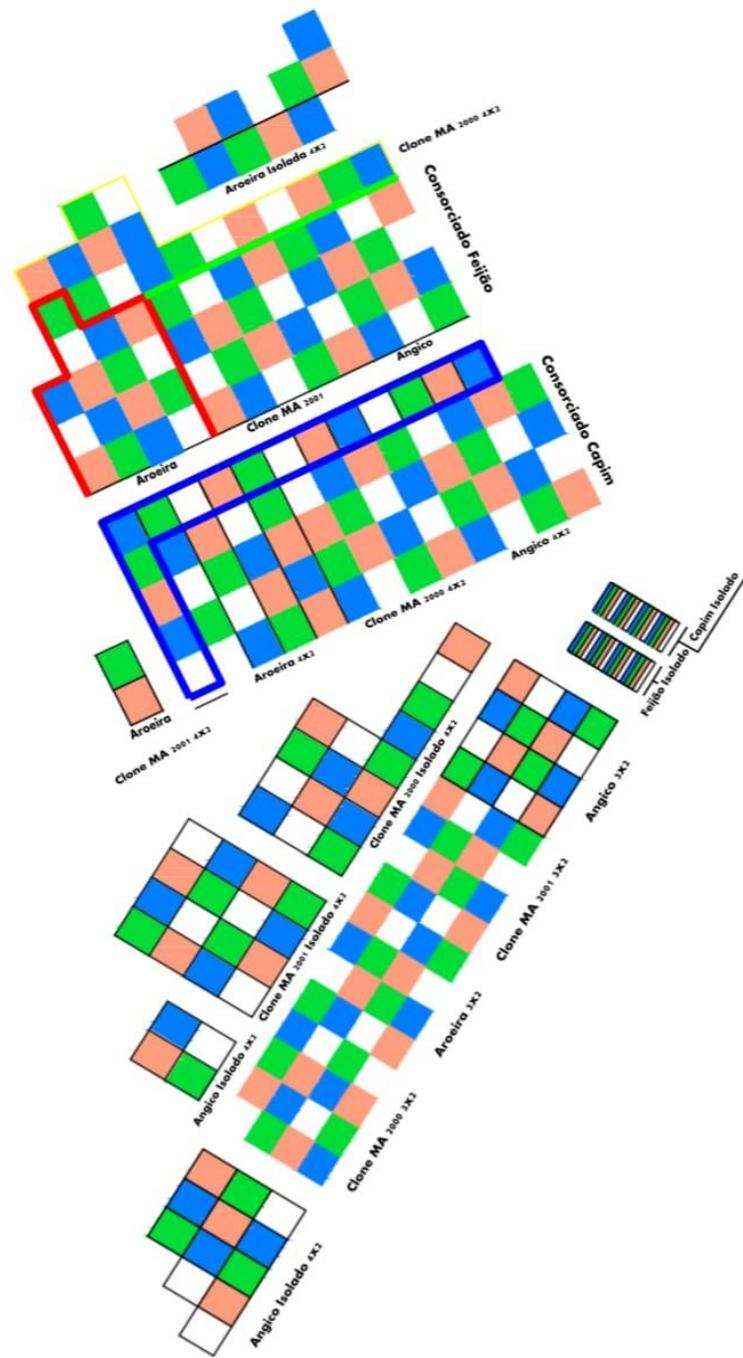
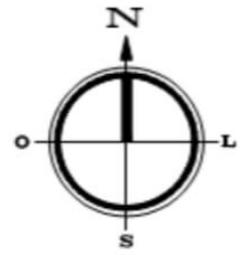
Fonte: Santos, (2016)

De acordo com Santos (2016), a análise do solo no diagnóstico do D&D antes do experimento não revelou impedimentos significativos para as espécies no SAFs, contudo, destacou-se a alta concentração de fósforo, associada ao histórico agrícola da área, explorada com monocultivos sem práticas adequadas e adubada continuamente com fosfato natural.

Segundo Ferreira (2023), na etapa inicial do diagnóstico e desenho (D&D), foram estabelecidas as práticas de adubação para as espécies florestais e agrícolas no experimento, optou-se por adubos orgânicos, como resíduos dos tanques de piscicultura e sedimentos do reservatório de Itaparica, devido a sua riqueza em nutrientes, adicionalmente, propôs-se o uso de biocarvão como fertilizante e fixador de nutrientes, uma alternativa economicamente viável em comparação aos fertilizantes industriais.

Concluída a fase de diagnóstico do D&D, o experimento foi efetivamente implantado na área (Figura 1):

Figura 1 - Esboço do experimento estabelecido na Estação Experimental do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), localizada em Belém de São Francisco, PE.



LEGENDAS

-  Sedimentos de lago
-  Biocarbvão
-  Sedimento de tanques de piscicultura
-  Testemunha

Fonte: Santos (2016)

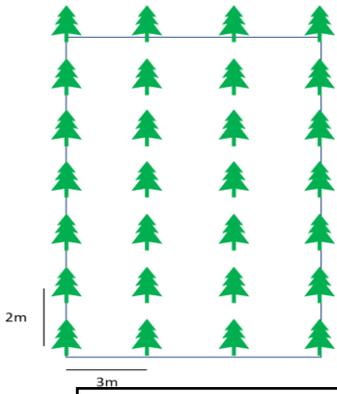
Dado o diagnóstico indicando escassez de chuvas e a proximidade do projeto ao leito rio São Francisco, optou-se por irrigação, em que se adotou o sistema por aspersão fixa, com aspersores a cada 18 metros em todos os talhões.

O arranjo dos SAFs foi determinado da seguinte forma (Ferreira, 2023): O delineamento experimental foi o multivariado com medidas repetidas ao longo do tempo com quatro repetições, os plantios foram organizados em dois espaçamentos $4\text{ m} \times 2\text{ m}$ para as espécies arbóreas, tanto em monocultivo quanto em consórcio com Feijão-Caupi e Capim Tanzânia, e com espaçamento de $3\text{ m} \times 2\text{ m}$ para as espécies arbóreas em plantios monocultivos. As espécies arbóreas foram alocadas em 256 parcelas, cada uma contendo 28 plantas, sendo que 10 delas ocupam a área útil. As parcelas com espaçamento $3\text{ m} \times 2\text{ m}$ possuem $14\text{ m} \times 12\text{ m}$ de dimensões cada parcela, área de 168 m^2 por parcela, no espaçamento $4\text{ m} \times 2\text{ m}$ possuem dimensões de $14\text{ m} \times 16\text{ m}$ cada parcela, e área de 224 m^2 por parcela. Foram aplicados quatro tratamentos distintos (adubações orgânicas e testemunha), cada um repetido quatro vezes.

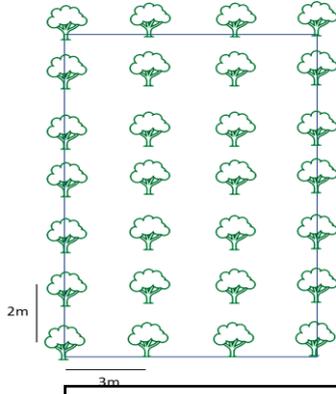
No procedimento de elaboração do solo na área, foi empregue formicida para controlar a presença de formigas, esta prática foi repetida ao longo de todo o desenvolvimento do experimento, visando identificar e mitigar possíveis infestações que poderiam impactar o crescimento das plantas e sua produtividade. No plantio das culturas agrícolas, para o Feijão-Caupi consorciado e monocultivo, foram definidas covas com distâncias de $0,5\text{ m}$ entre plantas e $0,66\text{ m}$ entre fileiras, mantendo uma distância mínima de $1,0\text{ m}$ das linhas centrais das culturas florestais. Três sementes foram postas por cova, finalizando a parcela de $4\text{ m} \times 8\text{ m}$ (32 m^2). Para o plantio do Capim Tanzânia consorciado e monocultivo, o espaçamento entre as plantas e as linhas foi de $0,5\text{ m}$, totalizando uma parcela de $14\text{ m} \times 16\text{ m}$ (224 m^2), conforme está ilustre na figura 2.

Figura 2 - Configuração e disposição dos componentes vegetais nos sistemas do experimento implementado na Estação Experimental do Instituto Agrônomo de Pernambuco - IPA, em Belém de São Francisco, PE.

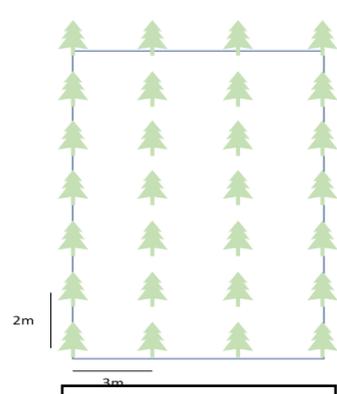
Clone Ma2000 monocultivo



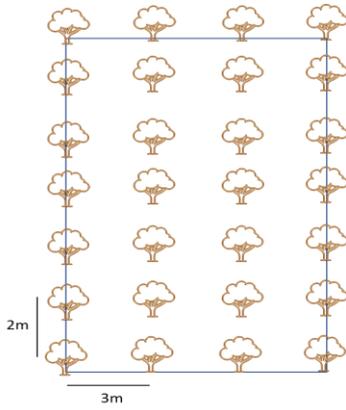
Aroeira monocultivo 3mx2m



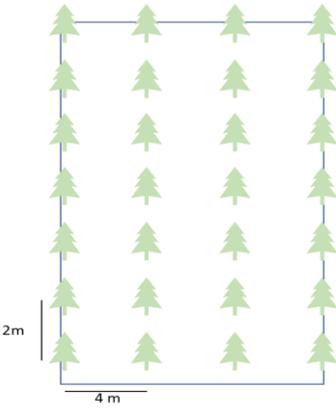
Clone Ma2001 monocultivo



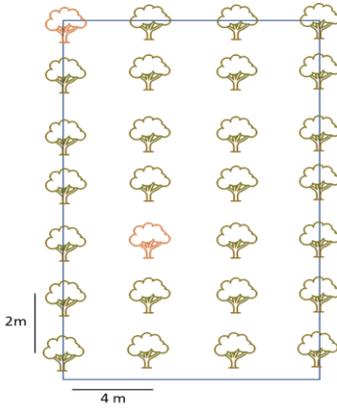
Angico monocultivo 3mx2m



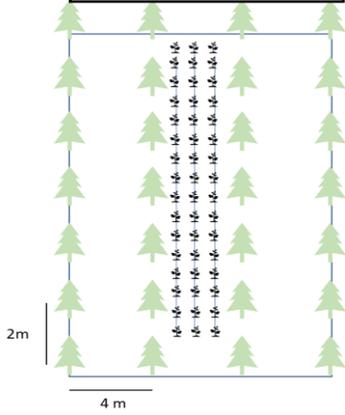
Clone Ma2001 Monocultivo



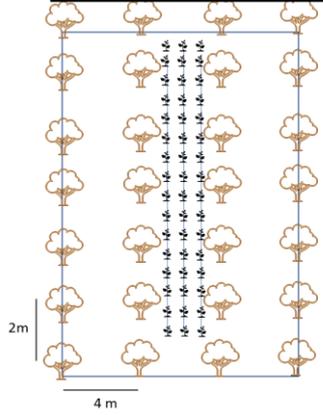
Angico monocultivo 4mx2m



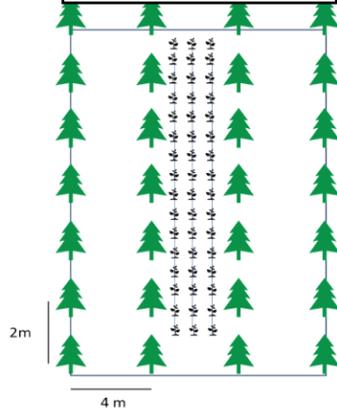
Clone Ma2001 SAF Feijão Caupi 4mx2m

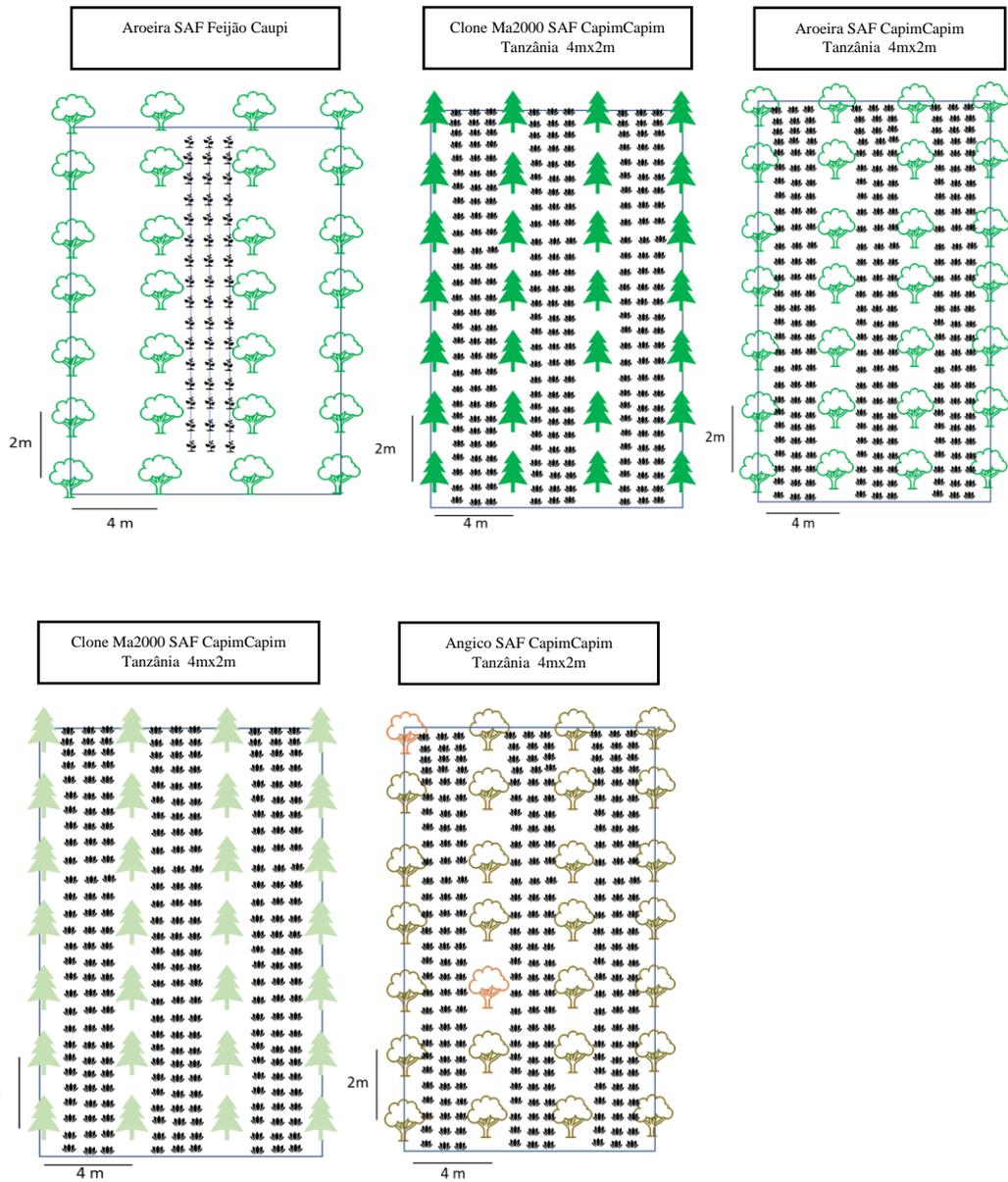


Angico SAF Feijão Caupi



Clone Ma2000 SAF Feijão Caupi 4mx2m





Fonte: Ferreira (2023)

Figura 3 - Plantio dos componentes dos sistemas no experimento implantado na Estação Experimental do Instituto Agrônomo de Pernambuco - IPA, em Belém de São Francisco, PE.



Fonte: Autor (2023)

A primeira adubação foi realizada durante o plantio, com a distribuição de quantidades específicas de fontes de nutrientes por cova, sendo 0,5 kg para as culturas arbóreas e 0,1 kg para a cultura agrícola (Feijão-Caupi) e forrageira (Capim Tanzânia), este processo foi efetuado novamente após 1 ano e 4 meses.

Os plantios foram definidos em dois espaçamentos: 4 m x 2 m para as espécies arbóreas em consorciações e isoladas, 3 m x 2 m para as espécies arbóreas em cultivos isolados, combinados com duas fontes de nutrientes: resíduos dos tanques de piscicultura e sedimentos do reservatório, biocarvão como condicionador do solo e o controle (sem adubação ou condicionador do solo). Para comparar a produtividade das culturas agrícolas nos SAFs e monocultivos, as colheitas foram realizadas em ciclos específicos: o Feijão-Caupi foi colhido a

cada 3 meses, com períodos de 30 dias de pousio entre as safras, enquanto o Capim Tanzânia teve ciclos de corte a cada 60 dias.

O manejo nas árvores dos SAFs envolveu podas de controle nos primeiros anos, seguindo o planejamento do D&D. Entre a sétima e oitava safra nos SAFs consorciados com o Feijão-Caupi, todas as árvores das espécies arbóreas foram podadas até 5 metros, visando facilitar a entrada de luz solar no sistema. Uma maneira de controlar as plantas indesejáveis nos consórcios, ao longo da fase de produção, foi realização capina manual a cada quinze dias, deixando-se os resíduos resultantes no solo para inclusão e benefício do sistema. Para o manejo do controle de pragas, empregou-se o inseticida KLORPAN 480 EC por meio de pulverização manual. Em cada safra do Feijão-Caupi, a administração do inseticida ocorreu 25 dias após a emergência da cultura, sendo repetida a cada 15 dias.

De acordo com Ferreira (2023), a análise realizada aos 102 meses de plantio revelou a taxa de mortalidade e sobrevivência das espécies arbóreas ao longo do tempo. A espécie nativa do Angico demonstrou uma maior representatividade, apresentando uma taxa de sobrevivência significativa de 86,83%, com apenas 13,17% de mortalidade, considerando o total de árvores plantadas na área experimental. O clone MA 2001 registrou a mais elevada taxa de mortalidade, totalizando 40,79%.

Quando examinados os distintos arranjos de cultivo e espaçamento no experimento, observou-se que o sistema agroflorestal com o Capim Tanzânia e o sistema de monocultivo com espaçamento de 3 m × 2 m alcançaram as mais altas taxas de sobrevivência, variando entre 85,10% e 85,77%. O sistema agroflorestal, quando consorciado com o feijão Caupi, também exibiu uma taxa de sobrevivência notável, atingindo 73,44%. No entanto, no sistema de monocultivo com espaçamento de 4 m × 2 m, a taxa de mortalidade ultrapassou os 42%, abrangendo todas as quatro espécies florestais associadas a essa modalidade de cultivo e espaçamento.

No sistema de monocultivo com espaçamento de 3 m × 2 m, todas as quatro espécies mantiveram uma taxa de sobrevivência superior a 71%. O Angico, em particular, revelou-se a espécie mais bem adaptada a essa modalidade de cultivo e espaçamento ao longo do tempo, exibindo apenas uma taxa de mortalidade de 6,03%. No monocultivo, especificamente no espaçamento de 4 m × 2 m, observou-se a mais alta taxa de mortalidade entre as espécies arbóreas de todo o experimento. O clone MA 2001 foi o que registrou o maior número de indivíduos mortos, com uma taxa de mortalidade superior a 81%.

Essa ocorrência pode ser explicada pela formação de manchas de solo com altos níveis de salinidade ao longo do tempo na área cultivada, esta salinização prejudicou o

desenvolvimento das espécies arbóreas, especialmente o clone MA 2001, que estava predominantemente concentrado nessas áreas afetadas (Moreira, 2018; Santos, 2016).

Para monitorar o desenvolvimento das árvores, foram realizadas medições de altura a cada três meses nos primeiros 18 meses e, posteriormente, a cada seis meses, ao todo foram 22 medições ao longo do tempo. As medidas das circunferências a altura do peito (CAP) das árvores, a 1,30 m do solo, foram mensuradas para estimar o volume, com inclusão mínima de 6 cm de CAP para todas as essências florestais. Para a coleta dos dados dendrométricos foram utilizados o Clinômetro Eletrônico Haglöf (CE II) e régua topográfica metálica para alturas, trena, além de fita métrica de 1,50 m para mensurar as circunferências e pranchetas com as fichas que serão preenchidas com os dados das alturas e circunferências.

4.1 METÓDOS ESTATÍSTICOS UTILIZADOS PARA AVALIAR O CRESCIMENTO EM ALTURA

O experimento envolve diversos tratamentos que impactam diretamente no crescimento das árvores e na produtividade das culturas agrícolas, incluindo diversas espécies florestais, métodos de cultivo e tipos de adubações.

Primeiramente, foi empregado o teste de normalidade de Shapiro-Wilk, conforme proposto por (Shapiro; Wilk, 1965), com o intuito de examinar se os resíduos em um modelo estatístico sugerem que as discrepâncias entre os valores observados e previstos seguem uma distribuição normal. De acordo com o resultado do teste de Shapiro-Wilk os dados seguem uma distribuição normal.

Para a homocedasticidade, utilizou-se o teste de Bartlett, conforme proposto por (Bartlett, 1937), que pressupõe que os resíduos apresentem variâncias uniformes entre os diferentes níveis experimentais, e a não homocedasticidade, por sua vez, repercute na análise de variância (ANOVA) e incide sobre os cálculos dos mínimos quadrados (Gaddis, 1998). A homocedasticidade denota a uniformidade das variâncias e constitui um pressuposto crucial para a condução do teste estatístico em questão (Rodrigues; Lima; Barbosa, 2017).

Os dados foram submetidos ao teste de esfericidade de Mauchly (Mauchly, 1940), a um nível de significância de 5%, com o propósito de investigar a possível violação das condições de homogeneidade de variância e independência das correlações, a fim de determinar se a análise estatística apropriada seria multivariada com medidas repetidas ou de parcelas subdivididas ao longo do tempo.

O desfecho do teste de Mauchly para a variável altura, aos 114 meses de idade, evidenciou significância estatística em relação à variável tempo. Desta forma, rejeitamos a hipótese de nulidade que propõe a esfericidade. Em termos mais específicos, verificamos que a matriz de covariância do erro experimental não satisfaz a condição estabelecida por Huynh-Felt. Esta constatação, conseqüentemente, sustenta a adequada aplicação da análise multivariada de medidas repetidas ao longo do tempo (Nimon; Williams, 2009).

O primeiro método estatístico aplicado foi o multivariado com medidas repetidas ao longo do tempo, foi empregue o modelo estatístico (Nemec, 1996; Neter; Wasserman; Kutner, 1990):

$$Y_{ijk} = \mu + \gamma_i + \tau_j + (\gamma\tau)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

em que: Y_{ijk} = Altura das árvores no i -ésimo tratamento, no j -ésimo tempo e na k -ésima repetição; μ = média geral; γ_i = efeito no i -ésimo tratamento; τ_j = efeito do j -ésimo tempo; $(\gamma\tau)_{ij}$ = efeito da interação entre o i -ésimo tratamento no j -ésimo tempo; ε_{ijk} = erro da interação entre o i -ésimo tratamento no j -ésimo tempo e na k -ésima repetição.

As hipóteses a serem testadas ao nível de 5 % de significância são: H_{01} = não existem diferenças significativas entre os tratamentos (hipótese de perfis coincidentes); H_{02} = não existem diferenças significativas entre os tempos (perfis horizontais); H_{03} = não existe interação tempo \times tratamentos (perfis paralelos); Para se testar as hipóteses H_{01} , H_{02} e H_{03} , foram utilizados os testes de Lambda de Wilks, Traço de Pillai, Traço de Hotelling-Lawley e Maior Raiz de Roy.

Caso a análise de hipóteses revele diferenças significativas nos fatores isolados e entre as interações, será imprescindível empregar o teste de comparação múltipla de médias de Tukey, adotando um nível de significância de 5%.

Conforme o modelo multivariado, a variável resposta Y_{ijk} é diretamente afetada pelos efeitos dos tratamentos, desta forma, a variável resposta foi analisada, levando em consideração as concebíveis significâncias dos efeitos isolados dos tratamentos e suas interações:

Tempo;

Tempo \times Espécies;

Tempo \times Adubações; Tempo \times Espaçamentos;

Tempo \times Espécies \times Adubações;

Tempo \times Espécies \times Espaçamentos;

Tempo \times Adubações \times Espaçamentos;

Tempo \times Espécies \times Espaçamentos \times Adubações.

Em que, **Tempo**: as medições ao longo do tempo, sendo **T(1)** = 0; **T(2)** = 3 meses; **T(3)** = 6 meses; **T(4)** = 9 meses; **T(5)** = 12 meses; **T(6)** = 15 meses; **T(7)** = 18 meses; **T(8)** = 24 meses; **T(9)** = 30 meses; **T(10)** = 36 meses; **T(11)** = 42 meses; **T(12)** = 48 meses; **T(13)** = 54 meses; **T(14)** = 60 meses; **T(15)** = 66 meses; **T(16)** = 72 meses; **T(17)** = 78 meses; **T(18)** = 84 meses, **T(19)** = 90 meses, **T(20)** = 96 meses; **T(21)** = 102 meses; **T(22)** = 114 meses.

Espécies: Clone MA 2000; Clone MA 2001; Angico e Aroeira

Adubações: resíduos dos tanques de piscicultura; sedimentos do reservatório de Itaparica; biocarvão e testemunha (controle)

Espaçamentos: 3 m × 2 m isolado, também chamado de monocultivo; 4 m × 2 m isolado, também chamado de monocultivo; 4 m × 2 m consorciado com Capim Tanzânia; 4 m × 2 m consorciado com Feijão-Caupi.

O segundo método utilizado foi por parcelas subdivididas no tempo, abordando a análise de medidas repetidas, no seguinte modelo (Silva; Silva, 1982):

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \varepsilon'_{ij} + \delta_k + \tau\delta_{ik} + \varepsilon_{ijk}$$

em que, Y_{ijk} = Altura das espécies arbóreas do i -ésimo tratamento primário, j -ésimo tratamento secundário no k -ésimo tempo; μ = média geral; τ_i = efeito do i -ésimo tratamento; δ_k = efeito do k -ésimo tempo; $\tau\delta_{ik}$ = efeito da interação do i -ésimo tratamento com o k -ésimo tempo; ε'_{ij} = erro aleatório a nível de parcela; ε_{ijk} = erro aleatório a nível de subparcela.

Na presente dissertação, o emprego deste modelo implica que as parcelas subdivididas se correlacionam aos sistemas de cultivo (tratamentos), enquanto as subparcelas representam o tempo de observação.

As hipóteses utilizadas foram as seguintes: i) Efeito dos tratamentos, sejam eles, espécies, espaçamentos ou adubações: $H_0: \tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_i = 0$, H_1 : pelo menos um $\tau_i \neq 0$; ii) Efeito do tempo: $H_0: \delta_1 = \delta_2 = \dots = \delta_k = 0$, H_1 : pelo menos um $\delta_k \neq 0$; iii) Efeito da interação tratamento×tempo: $H_0: \tau\delta_{11} = \tau\delta_{12} = \dots = \tau\delta_{ik} = 0$, H_1 : pelo menos um $\tau\delta_{ik} \neq 0$. Se as análises das interações ou tratamentos indicarem diferenças significativas pelo teste F, a 5% de significância, será imprescindível conduzir o teste de Tukey para comparação de médias, mantendo um nível de significância de 5%. A variável resposta Y_{ijk} é diretamente afetada pelos efeitos dos tratamentos, assim como no modelo multivariado, em parcelas subdivididas a formação das interações entre os fatores seguem a mesma lógica.

O terceiro método estatístico corresponde as séries temporais, em que $Z(t)$ a função que retrata a série temporal em termos de t , ou seja, as séries temporais foram derivadas das quatro espécies arbóreas, os espaçamentos isolados e com consorciados, bem como das diferentes fontes de adubação. As séries temporais passaram pelo teste de Dickey-Fuller para verificar a estacionaridade. Em seguida, foram analisados os gráficos de ACF (Função de Autocorrelação) e PACF (Função de Autocorrelação Parcial) de cada série temporal. Para a identificação das ordens autorregressiva (AR) e de média móvel (MA). Posteriormente, foi realizada a aplicação dos modelos AR, MA, ARMA e ARIMA. Para a seleção do melhor modelo, foram considerados os critérios de informação AIC (Critério de Informação de Akaike) e BIC (Critério de Informação Bayesiano).

As análises estatísticas do modelo multivariado e das séries temporais foram conduzidas utilizando o software RStudio, enquanto a análise do modelo de parcelas subdivididas foi executada no software Sisvar.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 RESULTADOS DO MODELO MULTIVARIADO COM MEDIDAS REPETIDAS AO LONGO DO TEMPO

Os resultados das Tabelas 4 e 5 abordam os testes multivariados que investigam o efeito do tempo e suas interações na variável altura das espécies arbóreas no experimento.

Tabela 4 - Resultado do teste de esfericidade de Mauchly para o crescimento em altura média (m/parcela) das espécies arbóreas submetidas a três tipos de adubação e um grupo de controle, distribuídas em dois espaçamentos distintos ao longo do período temporal.

Efeito entre tratamentos	W de Mauchly	Aprox. Qui-quadrado	G.L.	Valor de P
Tempo	1,8398E ⁻³¹	15627,362	230	2,2E ⁻¹⁶

Em que: G.L. = Graus de liberdades.

Fonte: Autoria própria (2023)

O resultado da Tabela 4, refere-se ao teste de esfericidade de Mauchly, indica que as variâncias das diferenças entre todas as combinações não são iguais ao longo do tempo. Isto sugere que existe uma violação da homogeneidade das variâncias entre os diferentes momentos de tempo.

Tabela 5 - Resultado dos testes multivariados para o fator tempo em relação ao crescimento em altura média (m/parcela) das espécies arbóreas.

Efeito	Estatística	Valor	F	Valor de P
Tempo	Rastreio de Pillai	0,868	898,073	**
	Lambda de Wilks	0,132	898,073	**
	Rastreio de Hotelling	6,550	898,073	**
	Maior raiz de Roy	6,550	898,073	**

Em que: os asteriscos indicam os níveis de significância nos quais a hipótese nula foi rejeitada, sendo que (*) representa 5% de significância e (**) representa 1% de significância.

Fonte: A autoria própria (2023)

A hipótese nula H_{02} foi rejeitada em todos os testes, indicando a influência significativa ($p < 0,05$) do tempo em relação ao crescimento em altura média (m) das árvores, conforme os resultados apresentados na Tabela 5.

Tabela 6 - Resultado dos testes multivariados para o fator tempo x tratamentos e suas interações em relação ao crescimento em altura média (m) das espécies arbóreas.

Efeito	Estatística	Valor	F	Sig.
Tempo x Espécies	Rastreio de Pillai	2,022	14,865	**
	Lambda de Wilks	0,006	32,555	**
	Rastreio de Hotelling	39,946	93,631	**
	Maior raiz de Roy	37,733	271,320	**
Tempo x Adubações	Rastreio de Pillai	1,042	3,828	**
	Lambda de Wilks	0,206	4,945	**
	Rastreio de Hotelling	2,751	6,448	**
	Maior raiz de Roy	3,328	16,738	**
Tempo x Espaçamentos	Rastreio de Pillai	2,296	23,455	**
	Lambda de Wilks	0,011	24,998	**
	Rastreio de Hotelling	11,363	26,633	**
	Maior raiz de Roy	6,244	44,899	**
	Rastreio de Pillai	1,86	1,246	**

Tempo x Espécies x Adubações	Lambda de Wilks	0,225	1,308	**
	Rastreio de Hotelling	1,770	1,379	**
	Maior raiz de Roy	0,752	5,620	**
Tempo x Espécies x Espaçamentos	Rastreio de Pillai	3,874	6,976	**
	Lambda de Wilks	0,002	9,289	**
	Rastreio de Hotelling	13,540	11,868	**
	Maior raiz de Roy	5,360	39,819	**
Tempo x Adubações x Espaçamentos	Rastreio de Pillai	1,406	1,384	**
	Lambda de Wilks	0,201	1,415	**
	Rastreio de Hotelling	1,853	1,443	**
	Maior raiz de Roy	0,564	4,214	**
Tempo x Espécies x Adubações x Espaçamentos	Rastreio de Pillai	2,863	1,112	**
	Lambda de Wilks	0,029	1,216	**
	Rastreio de Hotelling	4,658	1,359	**
	Maior raiz de Roy	1,683	11,851	**

Em que: Sig. = Significância; os asteriscos indicam os níveis de significância quais a hipótese nula foi rejeitada, sendo que (*) representa 5% de significância (**) representa 1% de significância.

Fonte: Autoria própria (2023)

Ao analisar as hipóteses nulas H_{03} referente à interação entre tempo e tratamentos ao longo dos 114 meses, todas foram rejeitadas devido às interações, sugerindo que pelo menos uma interação entre o tempo e os tratamentos é estatisticamente significativa ($p < 0,05$).

Os resultados dos testes multivariados presentes na Tabela 6, que examinam o efeito do tratamento e suas interações em relação ao crescimento em altura média das espécies arbóreas, revelam que todos os efeitos e interações são estatisticamente significantes a um nível de 5% de significância em todas as análises realizadas.

Tabela 7 - Resultado dos testes multivariados para o fator tratamento e suas interações em relação ao crescimento em altura média (m) das espécies arbóreas.

Efeito		Valor	F	Sig.
Espécies	Rastreio de Pillai	2,317	23,132	**
	Lambda de Wilks	0,002	51,996	**
	Rastreio de Hotelling	60,953	135,452	**
	Maior raiz de Roy	55,266	376,813	**
Adubações	Rastreio de Pillai	1,047	3,657	**
	Lambda de Wilks	0,203	4,738	**
	Rastreio de Hotelling	2,791	6,202	**
	Maior raiz de Roy	2,366	16,130	**
Espaçamentos	Rastreio de Pillai	2,374	25,869	**
	Lambda de Wilks	0,005	32,033	**
	Rastreio de Hotelling	18,699	41,554	**
	Maior raiz de Roy	13,467	91,818	**
Espécies x Adubações	Rastreio de Pillai	1,347	1,248	**
	Lambda de Wilks	0,210	1,302	**
	Rastreio de Hotelling	1,847	1,364	**
	Maior raiz de Roy	0,752	5,331	**
Espécies x Espaçamentos	Rastreio de Pillai	4,317	8,258	**
	Lambda de Wilks	0,001	11,078	**
	Rastreio de Hotelling	17,311	14,384	**
	Maior raiz de Roy	7,016	49,432	**
Adubações x Espaçamentos	Rastreio de Pillai	1,438	1,348	**
	Lambda de Wilks	0,193	1,380	**
	Rastreio de Hotelling	1,908	1,409	**
	Maior raiz de Roy	0,592	4,199	**
Espécies x adubações x Espaçamentos	Rastreio de Pillai	2,926	1,080	**
	Lambda de Wilks	0,027	1,179	**
	Rastreio de Hotelling	4,757	1,316	**
	Maior raiz de Roy	1,695	11,939	**

Em que: Sig. = Significância; os asteriscos indicam os níveis de significância quais a hipótese nula foi rejeitada, sendo que (*) representa 5% de significância (**) representa 1% de significância.

A partir dos resultados obtidos a hipótese nula (H_{01}) foi rejeitada, demonstrando que os tratamentos relacionados a adubações, espécies, espaçamentos e suas interações desempenham um papel significativo no incremento médio das alturas nas árvores do experimento.

A Análise de Variância Multivariada (MANOVA) foi conduzida para examinar os efeitos dos tratamentos em relação ao tempo (Tabela 8).

Tabela 8 - Resultado da Análise de Variância Multivariada (MANOVA) referente aos efeitos entre os tratamentos em relação ao crescimento em altura média (m), considerando o tempo, as espécies arbóreas, as adubações e os espaçamentos.

Fonte de variação	GL	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	Sig.
Tempo	21	52344,552	2492,598	4642,008	**
Tempo x Espécies	63	12639,039	200,620	373,617	**
Tempo x Adubações	63	63,470	1,007	1,876	*
Tempo x Espaçamentos	63	1059,491	16,817	31,319	**
Tempo x Espécies x Adubações	189	104,771	5,554	1,632	*
Tempo x Espécies x Espaçamentos	189	1306,849	7,779	14,487	**
Tempo x Adubações x Espaçamentos	189	57,834	3,306	5,570	*
Tempo x Espécies x Adubações x Espaçamentos	504	223,494	4,443	6,826	*
Resíduo	3549	1905,690	4,239		

Em que: G.L. = Graus de liberdade; Sig. = Significância; n.s. = não significativo; os asteriscos indicam os níveis de significância quais a hipótese nula foi rejeitada, sendo que (*) representa 5% de significância (**) representa 1% de significância.

Fonte: Autoria própria (2023)

Com base nos resultados apresentados na Tabela 8, confirma-se a significância dos efeitos temporais associados aos seus respectivos tratamentos e interações. Estas constatações sustentam as inferências previamente obtidas nos testes multivariados pertinentes, destacando a influência direta do fator tempo no crescimento em altura média das árvores. Torna-se essencial avaliar de forma detalhada os efeitos entre os tratamentos por meio de análise univariada ao longo do tempo.

O delineamento multivariado de medidas repetidas foi empregado para avaliar os efeitos entre os tratamentos (Tabela 9).

Tabela 9 - Resultado da ANOVA referente ao crescimento em altura média (m) ao longo dos anos, considerando as diferentes espécies arbóreas, tipos de adubação e espaçamentos, bem como suas interações.

Fonte de variação	G.L.	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	Sig.
Espécies	3	48220,98815	16073,66272	1517,8237	**

Espaçamentos	3	2030,17698	676,72566	63,9027	**
Adubações	3	81,52411	27,1747	2,5661	0,0528 ^{n.s.}
Espécies x Espaçamentos	9	2769,88034	307,76448	29,062	**
Espécies x Adubações	9	140,96644	15,66294	1,479	0,1494 ^{n.s.}
Adubações x Espaçamentos	9	34,51818	3,83535	0,3622	0,9531 ^{n.s.}
Espécies x Adubações x Espaçamentos	27	140,75925	5,21331	0,4923	0,9871 ^{n.s.}
Resíduo	4730	50090,42008	10,58994		
Total	4793	103509,23354			

Em que: G.L. = Graus de liberdade; Sig. = Significância; n.s. = não significativo; os asteriscos indicam os níveis de significância quais a hipótese nula foi rejeitada, sendo que (*) representa 5% de significância (**) representa 1% de significância.

Fonte: Autoria própria (2023)

De acordo com os resultados da análise da variância, apresentados na Tabela 9, para o efeito das adubações e interações entre espécies×adubações, adubações×espaçamentos e espécies×adubações×espaçamentos, a hipótese nula foi aceita, pois, uma vez que não se observou efeito significativo dos adubos nas alturas médias ao longo do tempo. Por outro lado, os fatores espécies, espaçamentos e a interação espécies×espaçamentos, tornou-se evidente que as espécies manifestaram diferenças estatisticamente significativas em suas predisposições de crescimento, ao longo dos 114 meses.

Os espaçamentos exerceram uma intervenção significativa no crescimento médio em altura das quatro espécies arbóreas. A análise da interação entre espécies×espaçamentos revelou que as espécies arbóreas apresentaram crescimento médio em alturas diferentes entre si, corroborando a influência do espaçamento no desenvolvimento das espécies analisadas. Bennin, Wionzek e Watzlawinck (2014) afirmam que o crescimento médio em altura aumenta conforme o espaçamento diminui, contudo, destacam que essas interferências estão condicionadas as idades, as propriedades de cada espécie, podendo se expressar de forma favorável ou desfavorável diante do incremento ou redução do espaçamento.

Na Tabela 10, encontra-se a análise de variância referente ao desdobramento das espécies em cada nível dos espaçamentos, evidenciando significância estatística para todos ($p < 0,05$).

Tabela 10: Desdobramento da ANOVA para interação espécies×espaçamentos, espécies dentro de cada nível de espaçamentos.

	G.L.	S.Q	Q.M.	F	Sig.
Espécie: 3m×2m isolado	3	12577,811	4192,60382	395,9044	**

Espécie: 4m×2m isolado	3	8512,439	2837,47954	267,941	**
Espécie: 4m×2m consorciado com Capim Tanzânia	3	16506,938	5502,31268	519,5792	**
Espécie: 4m×2m consorciado com Feijão-Caupi	3	12961,171	4320,39042	407,9712	**
Resíduo	4730	50090,420	10,58994		

Em que: G.L. = Graus de liberdade; Sig. = Significância; os asteriscos indicam os níveis de significância quais a hipótese nula foi rejeitada, sendo que (*) representa 5% de significância (**) representa 1% de significância.
Fonte: Autoria própria (2023)

Subsequentemente, realizou-se o teste de Tukey (Apêndice 1), cujo resultado indicou que a espécie MA 2001 se destacou estatisticamente das demais, apresentando o maior valor em altura média em todos os espaçamentos. Em seguida, a espécie MA 2000 obteve o segundo maior valor em altura média.

Na Tabela 11, é apresentado a análise de variância do desdobramento dos espaçamentos dentro de cada nível das espécies, e todos foram estatisticamente significativos ($p < 0,05$).

Tabela 11: Desdobramento da ANOVA para interação espécies×espaçamentos, espaçamentos dentro de cada nível de espécies.

	G.L.	S.Q	Q.M.	F	Sig.
Esp.: Angico	3	685,5712	228,52372	21,5793	**
Esp.: Aroeira	3	185,8284	61,94279	5,8492	**
Esp.: MA 2000	3	943,0118	314,33727	29,6826	**
Esp.: MA 2001	3	2983,3408	994,44692	93,9049	**
Resíduo	4730	50090,4201	10,58994		

Em que: Esp.= Espaçamentos; G.L. = Graus de liberdade; Sig. = Significância; os asteriscos indicam os níveis de significância quais a hipótese nula foi rejeitada, sendo que (*) representa 5% de significância (**) representa 1% de significância.

Fonte: Autoria própria (2023)

Posteriormente foi realizado o teste de Tukey (Apêndice 2), o resultado do teste informou que para a espécie Angico, observou-se que o espaçamento de 4 m × 2 m, quando consorciado com Capim Tanzânia, resultou na maior altura média, equiparando-se ao espaçamento de 4 m × 2 m consorciado com Feijão-Caupi e se diferenciando significativamente dos demais. Além disto, o espaçamento de 4 m × 2 m consorciado com Feijão-Caupi se assemelha ao espaçamento isolado de 3 m × 2 m, distinguindo-se apenas do espaçamento isolado de 4 m × 2 m.

No caso da Aroeira, o espaçamento isolado de 3 m × 2 m resultou na maior altura média, assemelhando-se ao espaçamento de 4 m × 2 m consorciado com Feijão-Caupi e se diferenciando significativamente dos demais. O espaçamento de 4 m × 2 m consorciado com Feijão-Caupi é similar tanto ao espaçamento isolado de 4 m × 2 m quanto ao consorciado com

Capim Tanzânia, enquanto o espaçamento isolado de 4 m × 2 m assemelhasse ao espaçamento de 4 m × 2 m consorciado com Capim Tanzânia.

No clone MA 2000, o espaçamento de 4 m × 2 m consorciado com Capim Tanzânia manifestou a maior altura média, destacando-se estatisticamente dos demais. Enquanto isto, o espaçamento de 4 m × 2 m consorciado com Feijão-Caupi se assemelha ao espaçamento isolado de 4 m × 2 m, diferenciando-se apenas do espaçamento isolado de 3 m × 2 m. No clone MA 2001, o espaçamento isolado de 3 m × 2 m resultou na maior altura média, sendo comparável aos espaçamentos de 4 m × 2 m consorciados com Capim Tanzânia e Feijão-Caupi, estes três espaçamentos se diferenciam significativamente do espaçamento de 4 m × 2 m isolado.

No estudo conduzido por Nascimento *et al.* (2011), foram examinadas as alturas de diversas espécies florestais, incluindo *Anadenanthera macrocarpa* Benth. Brenan (Angico vermelho) e *Schinus terebinthifolius* Raddi (Aroeira pimenteira), em diferentes espaçamentos, sendo um deles o espaçamento de 3 m × 2 m. A avaliação foi realizada aos 22 meses de idade, revelando que o Angico vermelho alcançou uma altura média de 2,8 m, enquanto a Aroeira atingiu uma altura média de 2,7 m. Em uma comparação com os resultados das medições do Angico e da Aroeira, que servem de base para a presente dissertação, no tempo T8 (24 meses), verificou-se alturas médias de 3,08 m e 1,62 m, respectivamente, estas médias englobam os quatro tipos de espaçamentos no T8. É possível constatar que, apesar da idade mais avançada, a Aroeira analisada neste estudo manifestou uma estatura inferior àquela reportada no estudo de Nascimento *et al.* (2011). Tal disparidade suscita duas hipóteses plausíveis: em primeiro lugar, os fatores climáticos adversos característicos da região semiárida de Pernambuco, marcada por escassa pluviosidade; em segundo lugar, a interferência do consórcio durante a fase inicial do plantio, que poderia ter impactado negativamente no desenvolvimento da Aroeira.

Magalhães *et al.* (2006) conduziram uma avaliação em três espécies de eucaliptos aos 9,4 anos de idade, nomeadamente *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus pellita* e *Eucalyptus camaldulensis*, em quatro diferentes espaçamentos (3 m x 2 m, 6 m x 2 m, 6 m x 3 m, 6 m x 4 m). As alturas médias destas espécies foram registradas como 16,9 m (*E. urophylla*), 15,8 m (*E. pellita*) e 18,63 m (*E. camaldulensis*). Os autores destacaram que a altura das espécies pode ser mais influenciada pelo material genético do que pelo tipo de espaçamento. Na presente pesquisa, o clone MA 2001, na medição T22(114 meses = 9,5 anos), demonstrou uma altura média de 17,25 m, ultrapassando a média do *Eucalyptus urophylla* identificada no estudo de Magalhães *et al.* (2006), subsequentemente, o clone MA 2000 registrou uma estatura de 14,9

m, valor inferior à média do *Eucalyptus pellita* registrado na mesma pesquisa. Vale ressaltar que estes valores englobam os quatro tipos de espaçamentos. Considerando apenas o espaçamento 3 m x 2 m, na medição T22, o MA 2001 apresentou 11,57 m, enquanto o MA 200 apresentou 7,87 m, valores inferiores aos encontrados na pesquisa de mencionada.

Diversos autores destacam a influência dos espaçamentos na determinação do diâmetro das árvores, ressaltando que a seleção adequada desses espaçamentos está intrinsecamente ligada ao planejamento da produção do plantio. Quando o objetivo é obter árvores com diâmetro e volume individual superiores, recomenda-se adotar espaçamentos mais amplos e períodos de rotação mais extensos, em contrapartida, a priorização de espaçamentos mais estreitos entre as plantas é recomendada para sistemas de curta rotação voltados para propósitos energéticos (Watzlawick; Benin, 2020). O autor também sustenta que esse conceito almeja alcançar uma elevada produção volumétrica por unidade de área, em um período reduzido, visando à geração eficiente de biomassa.

No estudo de Castro *et al.* (2018) avaliou clones de eucaliptos aos 9 anos de idade, no estado do Rio Grande do Sul, os clones foram plantados no espaçamento 3,5 m × 2,6 m, aos 9 anos a altura média foi de 19,51 m. Os autores ressaltam que na região onde foi plantado os eucaliptos as condições climáticas são favoráveis, a fertilidade do solo é de média a alta. O clone MA 2001, na medição T22, exibiu uma altura média inferior ao registrado por Castro *et al.* (2018), é importante ressaltar que a região semiárida de Pernambuco não possui condições climáticas tão favoráveis quanto o Rio Grande do Sul, além de apresentar baixa fertilidade do solo.

Conforme diversos autores, o rápido crescimento em altura dos eucaliptos, especialmente durante as fases iniciais de seu desenvolvimento, constitui uma vantagem concorrente em associação a vegetação natural, esta característica reduz a demanda de roçada ou capina, o que resulta em uma redução nos custos associados à manutenção das plantações. (Deng *et al.*, 2020; Maia *et al.* 2023; Nair; Kumar; Nair, 2021; Santos *et al.*, 2018). Além disso, a redução da demanda de roçada ou capina promovida pelo rápido crescimento dos eucaliptos pode contribuir para a conservação do solo e da biodiversidade local, permitindo que a vegetação nativa coexista de forma mais harmoniosa com as plantações comerciais.

Isto pode ajudar a preservar ecossistemas naturais e habitats de fauna, promovendo uma agricultura mais sustentável e resiliente a longo prazo, assim, o benefício do rápido crescimento em altura dos eucaliptos vai além da simples economia de custos para o produtor rural, impactando positivamente tanto a viabilidade econômica quanto a sustentabilidade ambiental

de suas operações agrícolas. Deste modo o eucalipto se torna uma opção viável para os agricultores do semiárido pernambucano.

Neste contexto, destaca-se o clone MA 2001, que dentre as quatro espécies avaliadas, evidenciou o mais expressivo crescimento em altura média (Apêndice 5). Isto enfatiza as contemplações de diversos pesquisadores acerca das espécies do gênero *Eucalyptus*, as quais têm sido extensivamente utilizadas em sistemas agroflorestais (Grecio, 2020), devido às suas características aprimoradas resultantes de planejamentos de melhoramento genético, pela escolha de clones com crescimento acelerado, configurações da copa que maximiza a eficiência na utilização do espaço, propícia para consórcio com espécies herbáceas, e notável aptidão de adequação aos diversos cenários edafoclimáticos presentes nos distintos biomas brasileiros, ou ainda, pela resposta positiva à implementação de práticas de culturas variáveis (Edvan, 2018; Gonçalves *et al.*, 2017). Deste modo, resultando em uma elevada produção de madeira apropriada para diversos usos, proporcionando assim uma renda substancial para os agricultores. (Moreira; Simioni; Buschinelli, 2021).

A altura da Aroeira pode variar dependendo da região em que é plantada, varia de acordo com fatores como clima, solo e disponibilidade de água. Por exemplo, no estudo conduzido por Leles *et al.* (2011), foi realizado uma avaliação do crescimento de espécies arbóreas, incluindo a Aroeira (*Myracrodruon urundeuva*), no município de Seropédica – RJ, em diferentes espaçamentos, sendo um deles o espaçamento 3 m × 2 m, aos 48 meses de idade, os resultados indicaram que a Aroeira atingiu uma altura média de 3,8 m. Isto mostra como fatores específicos, como espaçamento e condições locais, podem influenciar o crescimento das árvores de Aroeira.

Contudo, no âmbito da presente pesquisa, aos 48 meses de idade (T12), a altura média da Aroeira alcançou 2,31 m, um valor inferior ao documentado por Leles *et al.* (2011). É importante ressaltar que essa média engloba os dois sistemas agroflorestais consorciados (4 m × 2 m com Capim Tanzânia e 4 m × 2 m com Feijão-Caupi), bem como os dois espaçamentos (3 m × 2 m e 4 m × 2 m isolados) empregados no experimento. Este resultado que abrangeu diferentes sistemas agroflorestais e espaçamentos, indicando a influência dessas variáveis no crescimento da Aroeira. Além disso, outro estudo conduzido por Pupin *et al.* (2017) em um experimento no município de Selvíria - MS, que envolveu Aroeiras com 9 anos de idade, e estas apresentaram uma altura média de 6,83 m. Em contraste, na presente pesquisa, na medição T22 (114 meses = 9,5 anos), as aroeiras alcançaram uma altura média de 4,84 m. Estas diferenças ressaltam a importância do ambiente local, com regiões mais úmidas e férteis propiciando maior

altura para as Aroeiras, enquanto áreas mais áridas ou com solos menos nutritivos podem resultar em estaturas reduzidas.

Barros *et al.* (2010) analisaram um experimento situado na região do Araripe, no estado de Pernambuco, no qual foram plantadas diversas espécies, incluindo o angico (*Anadenanthera colubrina* var. *cebil*), aos 6,5 anos de idade, com um espaçamento de 3 m × 2 m, neste experimento, o Angico atingiu uma altura média de 7,98 m. Em contraste, o Angico investigado na presente pesquisa, na medição T17 (78 meses = 6,5 anos), alcançou uma altura média de 5,93 m, valor inferior ao observado no Araripe.

No estudo conduzido por Souza, Vilas Bôas e Durigan (2015), foi realizado uma avaliação em um experimento localizado na região de Paraguaçu Paulista, SP, onde o Angico (*Anadenanthera colubrina* var. *cebil*) foi uma das espécies utilizadas em consórcio, empregando o espaçamento de 3 m × 2 m, as árvores plantadas atingiram 15 anos de idade, e a maior altura média registrada para o Angico nesse experimento foi de 5,40 m. Contrastando com este estudo, na presente pesquisa, na medição T22, o Angico alcançou uma altura média de 5,53 m no espaçamento de 4 m × 2 m consorciado com Capim Tanzânia, enquanto no espaçamento de 3 m × 2 m isolado, a média foi de 4,74 m.

5.1.1 Efeito das espécies em crescimento em altura média

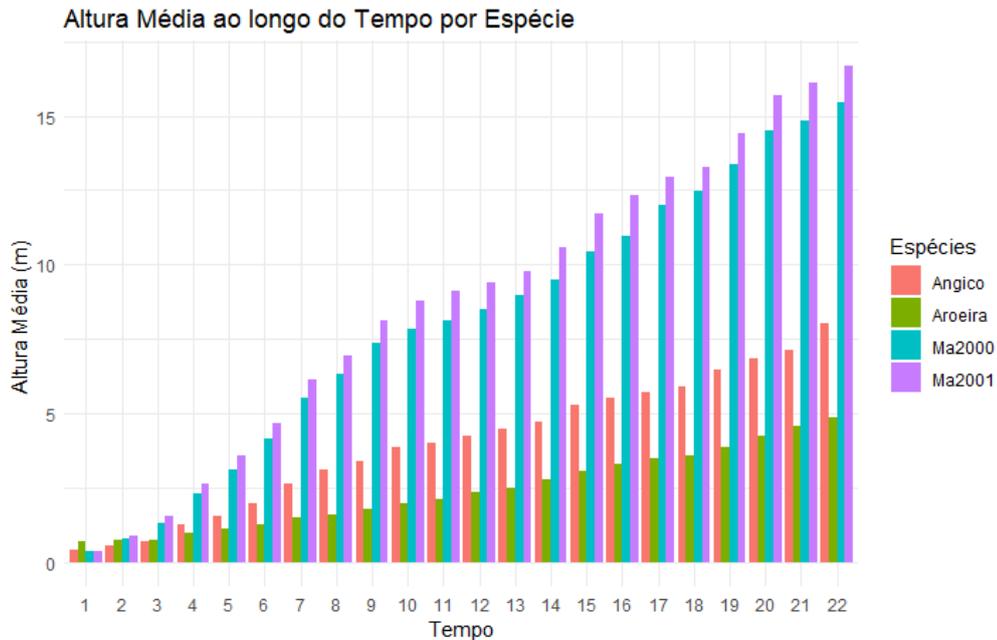
Para avaliar o efeito isolado das espécies e espaçamentos no crescimento em altura média ao longo do tempo, procedeu-se a comparação das médias pelo teste de Tukey (Apêndice 3). Na idade T1 (0), a Aroeira se destacou estatisticamente em altura em relação às outras espécies, enquanto o Angico se diferenciou dos clones de eucalipto MA 2000 e MA 2001. Essa disparidade pode ser atribuída ao fato de que a primeira medição de altura ocorreu após o plantio das mudas em campo, sendo as mudas de Aroeira de dimensões superiores às de Angico e aos clones de eucalipto.

Na segunda medição, T2 (3 meses) após o plantio, o clone MA 2001 registrou a maior altura média, aumentando de 0,35 m para 0,94 m, assemelhando-se estatisticamente ao clone MA 2000, que variou de 0,36 m para 0,81 m. Ambos se diferenciaram das demais espécies. Na terceira medição, T3 (6 meses), o clone MA 2001 manteve a maior altura média se assemelhando ao clone MA 2000, distinguindo-se das demais espécies. O clone MA 2000 apresentou a segunda maior altura média, assemelhando-se estatisticamente as outras espécies, enquanto o Angico e a Aroeira demonstraram alturas médias semelhantes entre si.

Na quarta e quinta medição, T4 (9 meses) e T5 (12 meses), os clones exibiram alturas médias semelhantes entre si, diferindo das outras espécies. Em contrapartida, o Angico e a Aroeira apresentaram alturas médias semelhantes entre si. A partir do T6 (15 meses), o clone MA 2001 evidenciou alturas médias progressivamente superiores em relação às demais espécies, diferenciando-se significativamente delas. O clone MA 2000 seguiu em segundo lugar, enquanto o Angico e a Aroeira ocuparam as posições subsequentes.

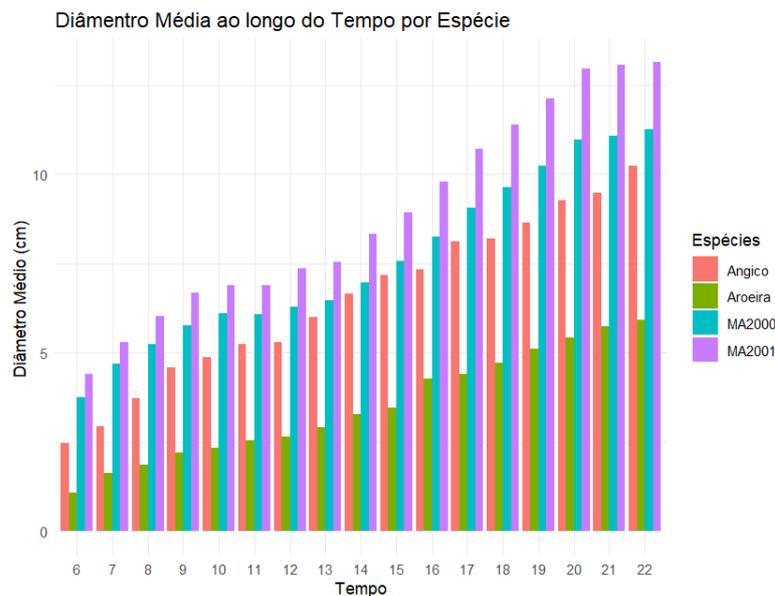
Na vigésima segunda medição, T22 (114 meses), o clone MA 2001 alcançou a maior altura média, atingindo 17,25 m, seguido pelo clone MA 2000, que atingiu 14,9 m. O Angico registrou 8,27 m, enquanto a Aroeira atingiu 4,84 m.

Figura 4 - Crescimento das espécies arbóreas em altura média (m) ao longo do tempo, no gráfico os 22 tempos correspondem as 22 medições realizadas.



Fonte: Autoria própria (2023)

Figura 5 - Crescimento do diâmetro (cm) das espécies arbóreas ao longo do tempo, no gráfico os 22 tempos correspondem as 22 medições realizadas.



Fonte: Autoria própria (2023)

No estudo conduzido por Scheis (2019), foram investigadas várias espécies do gênero *Eucalyptus*, com ênfase no *Eucalyptus urophylla*, em diferentes estágios de crescimento (24, 36, 48, 60, 72 e 108 meses), resultando em alturas médias respectivas de 6,9 m, 10,3 m, 12,2 m, 12,3 m, 19,67 m e 23,26 m. Nossa pesquisa analisou o clone MA 2001 nas mesmas faixas etárias, revelando alturas médias de 7,13 m em T8 (24 meses), 9,05 m em T10 (36 meses), 9,64 m em T12 (48 meses), 11,02 m em T14 (60 meses), 12,70 m em T16 (72 meses) e 17,25 m em T22 (114 meses). Ao comparar estes resultados com os de Scheis (2019), notamos que apenas a altura média aos 24 meses do clone MA 2001 foi superior, enquanto nas demais idades as alturas foram inferiores. Esta análise evidencia a variação no desempenho de crescimento entre diferentes espécies e clones de *Eucalyptus*, ressaltando a complexidade da influência de fatores genéticos e ambientais nesse processo.

Na pesquisa conduzida por Daronco (2013), várias espécies nativas foram examinadas, incluindo o Angico (*Anadenanthera colubrina* var. *cebil*), em um plantio de 10 anos de idade com espaçamento de 3 m × 2 m, revelando uma altura média de 7,3 m para essa espécie. No entanto, em nossa investigação, o Angico no mesmo espaçamento e na medição T22 (114 meses = 9,5 anos) apresentou uma altura média de 4,74 m. Esta comparação evidencia uma discrepância significativa entre os resultados, sugerindo possíveis variações genéticas e condições ambientais que podem influenciar no crescimento do Angico.

No estudo realizado por Canuto *et al.* (2016), a Aroeira (*Myracrodruon urundeuva*) de 10 anos de idade foi submetida a diferentes modalidades de plantio, incluindo Sistemas Agroflorestais (SAFs) com culturas anuais e SAFs com eucaliptos. Nos SAFs com culturas anuais, a Aroeira alcançou sua melhor média de altura, atingindo 8,82 m, enquanto nos SAFs consorciados com eucaliptos, a média foi de 5,99 m. Por outro lado, em nossa pesquisa, na medição T22, a Aroeira consorciada com Capim Tanzânia registrou uma altura média de 2,19 m, enquanto a consorciada com Feijão-Caupi atingiu uma média de 2,89 m. Estes valores estão consideravelmente abaixo das alturas observadas por Canuto *et al.* (2016). Esta diferença significativa pode ser atribuída à regionalidade das Aroeiras estudadas, as Aroeiras estudadas por Canuto *et al.* (2016) estão plantadas em condições mais favoráveis, como clima e solo fértil, enquanto as Aroeiras em nosso estudo estão sujeitas a condições opostas, resultando em um menor desempenho de crescimento.

5.1.2 Efeito dos espaçamentos e consórcios no crescimento em altura média das espécies florestais

A análise dos resultados do teste Tukey do fator espaçamento ao longo do tempo revela padrões interessantes no crescimento das plantas em diferentes arranjos de plantio. Destaca-se que, nas medições T3 (6 meses), T4 (9 meses), T5 (12 meses) e T6 (15 meses), o espaçamento isolado de 3 m × 2 m, diferenciou-se significativamente ($p < 0,05$) dos demais espaçamentos, demonstrando consistentemente as maiores alturas médias durante esse período inicial de crescimento. Esta diferença sugere que o espaçamento mais estreito permitiu um melhor desenvolvimento das plantas, possivelmente devido à competição reduzida por recursos como luz solar, água e nutrientes (Kuai *et al.*, 2015).

Por outro lado, na medição T2 (3 meses), observou-se uma média semelhante entre o espaçamento 3 m × 2 m isolado e o espaçamento 4 m × 2 m isolado. Esta equivalência inicial pode ser atribuída à fase inicial de estabelecimento das plantas, na qual as diferenças no espaçamento podem não ter um impacto imediato significativo no crescimento.

Além disso, os espaçamentos 4 m × 2 m isolado, 4 m × 2 m consorciado com Capim Tanzânia e 4 m × 2 m consorciado com Feijão-Caupi exibiram médias semelhantes entre si em várias medições. Esta similaridade sugere que, apesar das variações nos sistemas de cultivo, o espaçamento de 4 m × 2 m, consorciado ou não, resultou em um desempenho de crescimento comparável ao longo do tempo.

Esses resultados ressaltam a importância do manejo do espaçamento na produtividade das plantas, destacando a necessidade de considerar não apenas o arranjo espacial inicial, mas também como ele influencia o crescimento ao longo do tempo. Entender esses padrões pode oferecer perspectivas preciosas para aprimorar as técnicas de plantio e aumentar a produtividade nos sistemas agroflorestais (Righi; Bernardes, 2018).

Os resultados apontam uma tendência interessante no desempenho de crescimento das plantas ao longo do tempo, em diferentes arranjos de espaçamento e consórcio. Nota-se que, a partir da medição T9 (30 meses) até a T21 (102 meses), com exceção da medição T10 (36 meses), o espaçamento de 4 m × 2 m consorciado com Capim Tanzânia consistentemente apresentou a maior altura média entre os diferentes espaçamentos. Esse padrão sugere que a associação com o Capim Tanzânia pode ter um efeito positivo no crescimento das plantas de forma sustentada ao longo do tempo.

Nas medições T9 e T10 (36 meses), os espaçamentos 4 m × 2 m consorciado com Capim Tanzânia, 4 m × 2 m consorciado com Feijão-Caupi e 3 m × 2 m isolado exibiram médias semelhantes entre si, diferenciando-se significativamente do espaçamento 4 m × 2 m isolado. Isto sugere que, nesse estágio de crescimento, a associação com culturas como Capim Tanzânia ou Feijão-Caupi pode compensar parcialmente as diferenças no espaçamento.

Em relação às medições T11 (42 meses) e T12 (48 meses), observa-se que os arranjos de plantio com espaçamento de 4 m × 2 m em associação com Capim Tanzânia e 4 m × 2 m em associação com Feijão-Caupi manifestam similaridade significativa entre si. E se diferem, contudo, dos espaçamentos isolados de 3 m × 2 m e 4 m × 2 m, que exibiram médias semelhantes entre si. Indicando que, em fases avançadas de desenvolvimento, a influência do tipo de consórcio pode se tornar mais significativa do que as variações no espaçamento.

Durante o intervalo entre as medições T13 (54 meses) e T20 (96 meses), todos os espaçamentos demonstraram uma clara diferenciação entre si, com o espaçamento de 4 m × 2 m associado ao Capim Tanzânia continuando a exibir a altura média mais elevada. Isto sugere que, ao longo desses períodos intermediários de crescimento, o arranjo espacial e a associação com o Capim Tanzânia desempenharam um papel crucial na determinação do crescimento das plantas.

Entretanto, nas análises realizadas nas medições T21 (102 meses) e T22 (114 meses), observou-se que as alturas médias dos espaçamentos de 4 m × 2 m, tanto em associação com Capim Tanzânia quanto com Feijão-Caupi, exibiram médias comparáveis entre si. Podendo indicar que, em estágios mais avançados de desenvolvimento, outros fatores além do tipo de consórcio podem começar a influenciar mais significativamente o crescimento das plantas,

como a disponibilidade de nutrientes no solo ou a competição por luz solar (Andrade; Assis; Ferreira, 2015).

Em contrapartida, essas médias diferiram dos espaçamentos isolados de 3 m × 2 m e 4 m × 2 m, que revelaram diferenças significativas entre si. Isto ressalta a importância do espaçamento inicial na determinação do crescimento das plantas e como as decisões de manejo no estágio inicial podem ter um impacto duradouro no desempenho ao longo do tempo.

Na última medição, T22, o espaçamento de 4 m × 2 m consorciado com Feijão-Caupi registrou a maior altura média, atingindo 11,67 m, seguido de perto pelo espaçamento de 4 m × 2 m consorciado com Capim Tanzânia, com 11,53 m. Em seguida, o espaçamento de 3 m × 2 m isolado alcançou 10,56 m, enquanto o 4 m × 2 m isolado registrou 9,86 m.

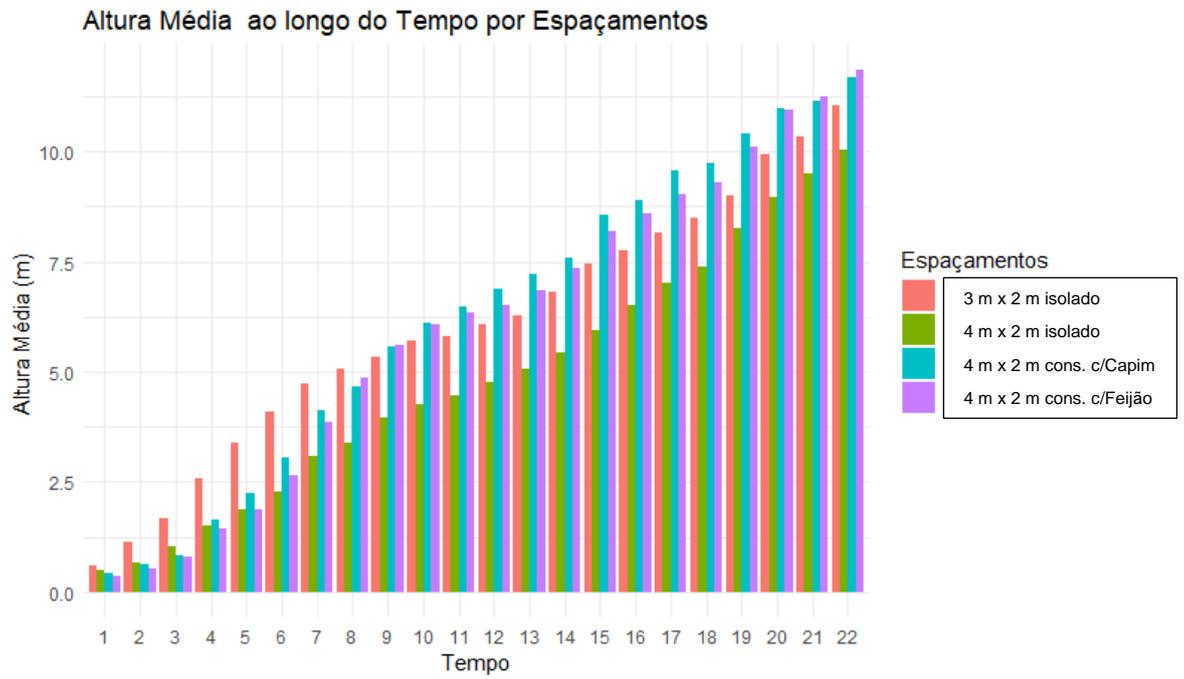
Ao longo de todas as medições, torna-se evidente que o espaçamento de 4 m × 2 m consorciado com Capim Tanzânia foi consistentemente um dos melhores em termos de altura média das plantas. Esta constância sugere que o Capim Tanzânia pode ter desempenhado um papel significativo em promover o crescimento das plantas nesse arranjo de espaçamento.

Além disto, o espaçamento de 4 m × 2 m consorciado com Feijão-Caupi também demonstrou um desempenho notável, ficando em segundo lugar na última medição. Este resultado indica que o Feijão-Caupi pode ser uma opção viável para o consórcio, contribuindo para o crescimento das plantas em espaçamentos mais amplos.

O espaçamento de 3 m × 2 m isolado também apresentou resultados competitivos, embora ligeiramente inferiores aos dos espaçamentos consorciados. Indicando que, mesmo sem a presença de uma cultura consorciada, um espaçamento mais estreito pode ser eficaz para promover o crescimento das plantas.

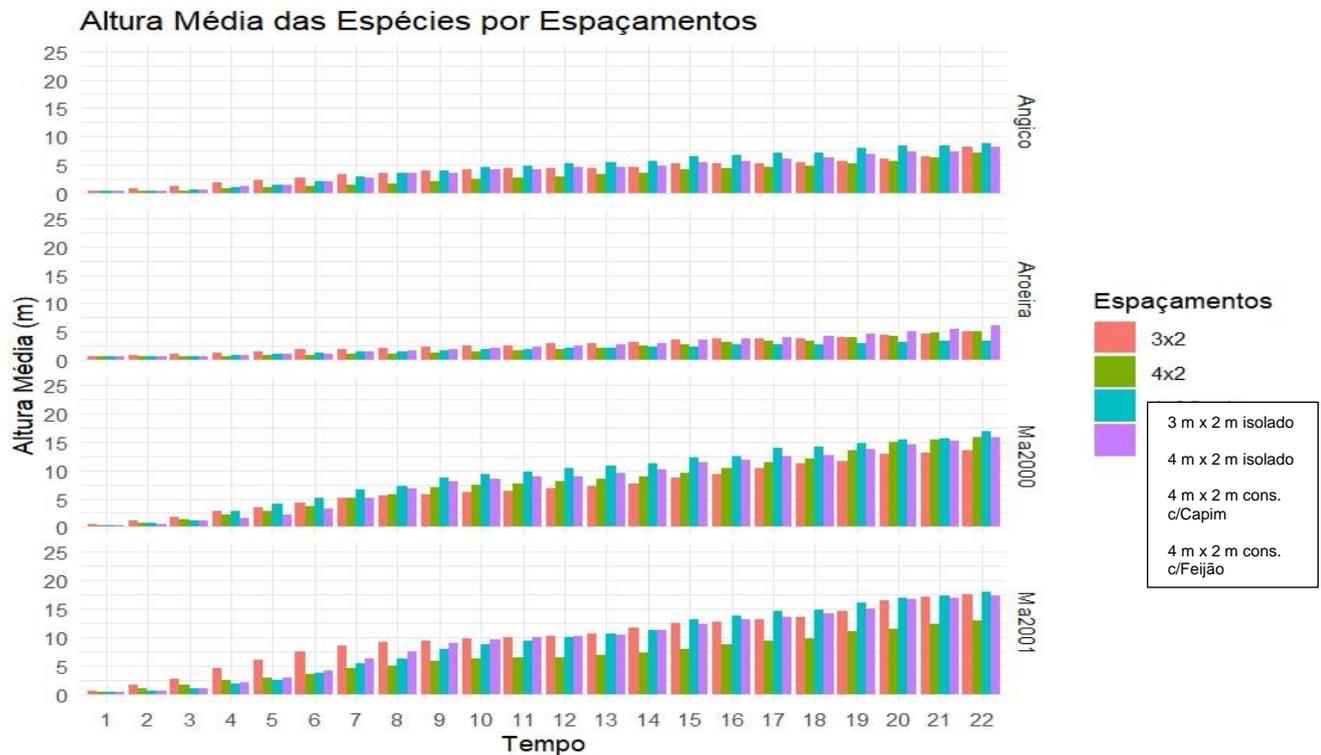
Entretanto, ao longo do tempo, os espaçamentos de 4 m × 2 m consorciados com Capim Tanzânia e Feijão-Caupi demonstraram consistentemente os melhores resultados em termos de crescimento em altura média, destacando a importância do consórcio de culturas na maximização do crescimento das plantas em sistemas agroflorestais, indicando que a escolha adequada do consórcio pode ser crucial para otimizar a produção ao longo do tempo. Esta constatação reforça a ideia de que a diversificação dos sistemas de cultivo não apenas promove o crescimento das plantas, mas também oferece proteção às culturas, além disto, ressalta a capacidade dos agricultores de se adaptarem às variações nos parâmetros climáticos, destacando a importância dessa modalidade agrícola para manter os níveis de produção diante de cenários futuros sujeitos a mudanças (Burgess; Cano; Parkes, 2022).

Figura 6 - Crescimento em altura média (m) nos diferentes consórcios e espaçamentos ao longo do tempo, no gráfico os 22 tempos correspondem as 22 medições realizadas.



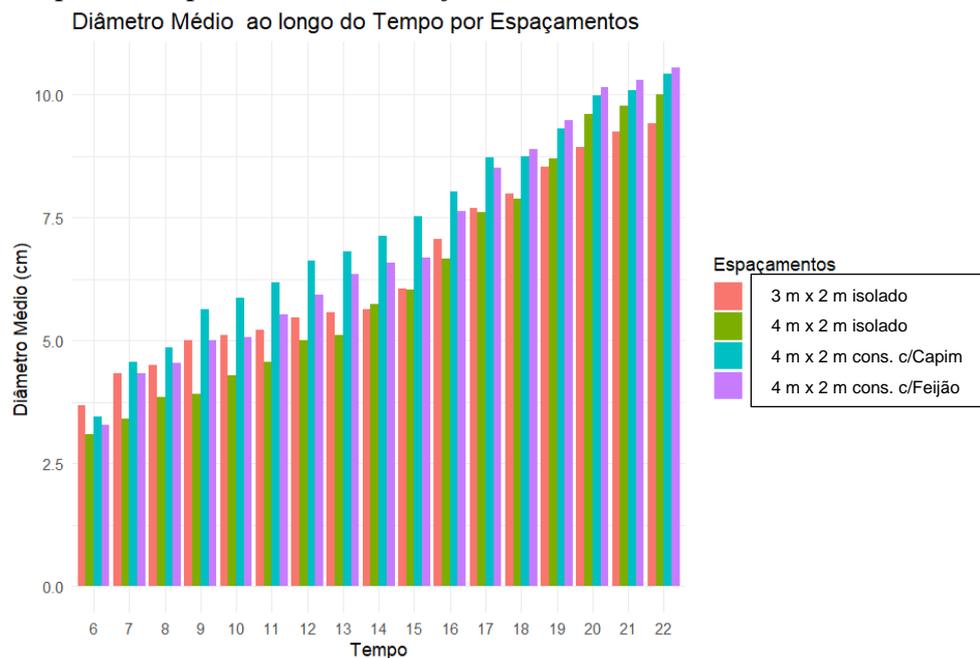
Fonte: Autoria própria (2023)

Figura 7 - Gráficos individuais do crescimento em altura média (m) das espécies arbóreas nos diferentes consórcios e espaçamentos ao longo do tempo, no gráfico os 22 tempos correspondem as 22 medições realizadas.



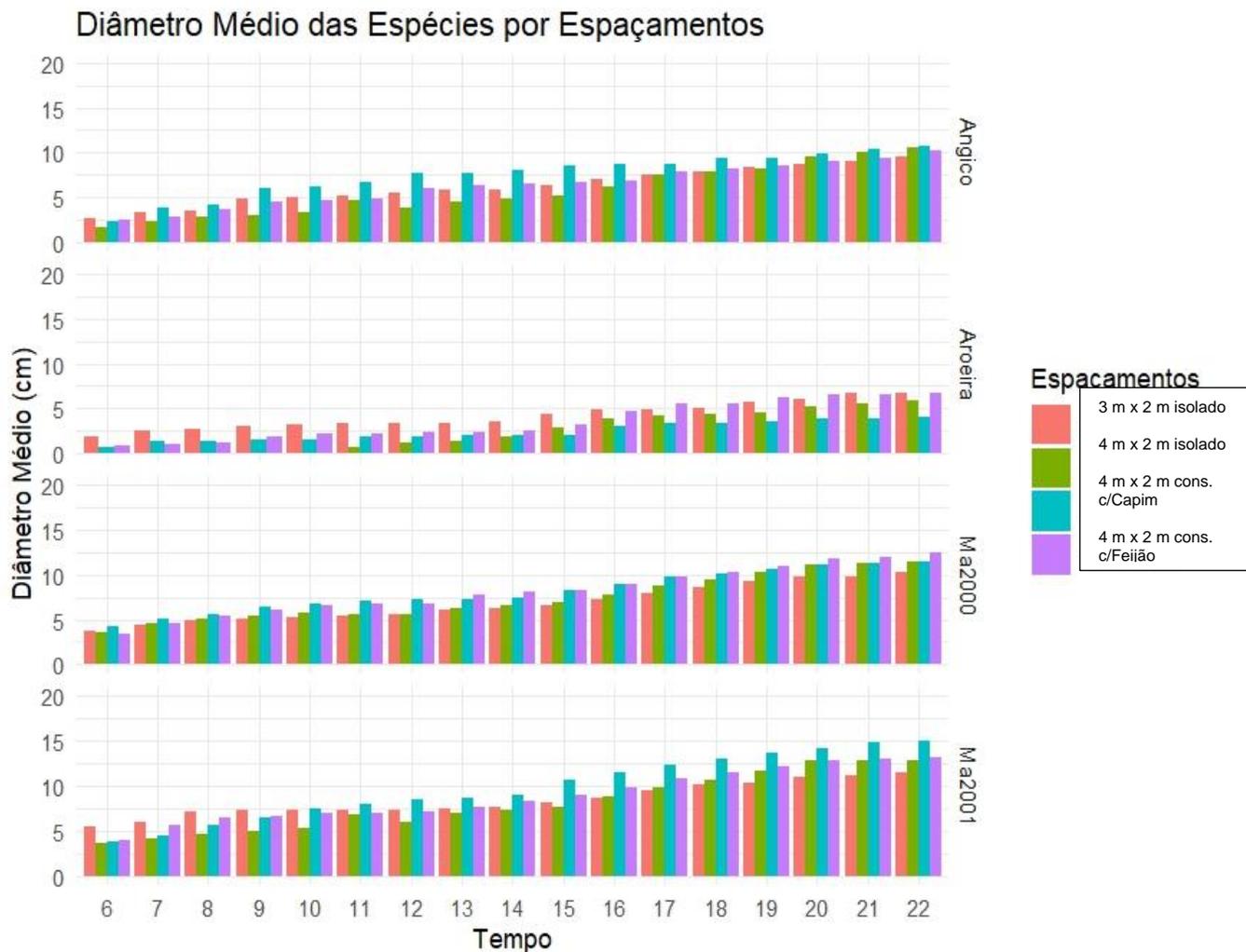
Fonte: Autoria própria (2023)

Figura 8 - Diâmetro em (cm) nos diferentes consórcios e espaçamentos ao longo do tempo, no gráfico os 22 tempos correspondem as 22 medições realizadas.



Fonte: Autoria própria (2023)

Figura 9 - Gráficos individuais dos diâmetros em (cm) das espécies para os diferentes consórcios e espaçamentos ao longo do tempo, no gráfico os 22 tempos correspondem as 22 medições realizadas.



Fonte: Autoria própria (2023)

Ao examinar a Figura 8, notou-se que os espaçamentos de 4 m × 2 m consorciados apresentaram diâmetros maiores em comparação com o espaçamento de 3 m × 2 m isolado. Por outro lado, o espaçamento de 4 m × 2 m isolado demonstrou diâmetros superiores aos do espaçamento de 3 m × 2 m isolado nos momentos T9, T10, T19 até T22. Este padrão evidencia a influência do espaçamento no desenvolvimento arbóreo, abrangendo aspectos como o diâmetro, como destacado pela pesquisa conduzida por Sereghetti *et al.* (2015). A pesquisa indicou que espaçamentos menores tendem a resultar em diâmetros reduzidos, ao passo que espaçamentos mais amplos estão correlacionados a diâmetros maiores, exercendo uma influência direta sobre a viabilidade dos agrupamentos florestais.

No entanto, em relação ao crescimento em altura, a competição por água e nutrientes entre as espécies arbóreas e a forrageira, antecipava-se um menor crescimento médio em altura no espaçamento de 4 m x 2 m consorciado com Capim Tanzânia, no entanto, os resultados superaram essa premissa. Neste contexto, durante períodos de menor disponibilidade hídrica no solo, observa-se uma restrição mais pronunciada ao crescimento quando as plantas estão mais densamente distribuídas (Bréda *et al.*, 2006).

Esta constatação é consistente com a pesquisa conduzida por Gonçalves *et al.* (2017), que revelou que os exemplares de *Eucalyptus grandis* cultivados em espaçamentos mais amplos exibiram condições hídricas superiores, enquanto o consórcio, nessas circunstâncias, não acarretou prejuízo às espécies arbóreas. Os autores sustentam que essa ocorrência decorre da habilidade dos sistemas radiculares das plantas consorciadas em percorrer distintos horizontes do solo. Nesta presente pesquisa, essa ocorrência pode ter se manifestado no consórcio envolvendo o capim. É importante ressaltar que as plantas foram irrigadas durante a fase inicial do plantio, mitigando assim a disputa por água, o que pode não ter sido um fator relevante nesta investigação.

Por outro lado, os sistemas consorciados, ao se desenvolverem em espaçamentos mais estreitos, usufruem de condições mais propícias, resultantes da interação sinérgica entre as espécies envolvidas, logo, a criação de extratos vegetativos mais baixos não apenas beneficia o crescimento das plantas consorciadas, otimizando a utilização de recursos hídricos e nutricionais, mas também contribui para a manutenção de um microclima favorável ao desenvolvimento saudável das espécies. (Almeida, 2010; Fortes; Fortes Neto, 2020).

Em contrapartida, os espaçamentos mais amplos desta pesquisa, nomeadamente, 4 m x 2 m em consórcio com Capim Tanzânia e 4 m x 2 m em consórcio com Feijão-Caupi, apresentaram as mais elevadas médias em altura das espécies. Segundo Muller *et al.* (2015), a ampliação dos espaçamentos entre as espécies culmina em uma maior produção, sobretudo para espécies vegetais como o Feijão-Caupi, ocasionando um aumento significativo na produção por planta. Esta condição decorre do aumento da área disponível para a absorção de luz nos espaçamentos maiores, o que viabiliza uma configuração de copa mais apropriada e lucrativa.

Martins *et al.* (2020) realizaram a avaliação do consórcio entre o Angico-vermelho (*Parapiptadenia rígida* Benth), uma espécie arbórea nativa, e pastagem, considerando dois tipos de espaçamentos: 2 m x 4 m e 2 m x 2 m. Conforme os resultados obtidos em sua pesquisa, o espaçamento maior possibilitou um crescimento inicial mais robusto para o Angico-vermelho. Esta ocorrência encontra justificção na relação linear que predomina entre o aumento da área útil por planta e o crescimento em diâmetro nas fases iniciais do desenvolvimento das espécies

florestais (Norberg, 1988; Zeller; Prestzsch, 2019). É o que tem ocorrido nos espaçamentos mais amplos desta pesquisa, 4 m × 2 m em consórcio com Capim Tanzânia e 4 m × 2 m em consórcio com Feijão-Caupi, tanto as alturas como os diâmetros das espécies tem sido superiores nestes espaçamentos em comparação com o espaçamento 3 m × 2 m isolado.

Além disto, configura-se imprescindível empregar espaçamentos mais extensos, visando proporcionar um maior diâmetro, especialmente ao se considerar o elemento arbóreo do sistema para propósitos de serraria e madeireiras (Monteiro *et al.*, 2016; Varella *et al.* 2016). Deste modo, espaçamentos maiores proporcionam condições mais favoráveis para o desenvolvimento das plantas, permitindo uma melhor distribuição de recursos como luz, água e nutrientes, portanto, é crucial considerar cuidadosamente o estamento adequado para maximizar o crescimento e a produtividade das espécies envolvidas.

No estudo realizado por Campos (2015), foram analisadas diversas espécies nativas presentes em SAFs em Presidente Epitácio - SP, incluindo o Angico e a Aroeira, que atingiram alturas médias de 7,5 m e 4,1 m, respectivamente, no espaçamento 3 m × 2 m, aos 6 anos de idade. Em contrapartida, o Angico e a Aroeira investigados nesta pesquisa alcançaram médias similares às encontradas por Campos (2015), na medição T16 (72 meses = 6 anos), apresentaram alturas médias de 7,27 m e 4,14 m, respectivamente. Importante destacar que esta média abrange os dois espaçamentos com consórcios agroflorestais e os dois espaçamentos isolados. É relevante destacar que as espécies examinadas no estudo conduzido por Campos (2015) se encontram submetidas a condições ambientais mais propícias, o que se reflete em um crescimento superior em comparação com as espécies investigadas no presente estudo, mesmo com condições menos favoráveis os resultados desta pesquisa são próximos aos encontrados por Campos (2015).

Um experimento realizado em Itatinga – SP, com *Eucalyptus grandis* consorciados com espécies nativas, incluindo o Angico e a Aroeira, utilizando o espaçamento de 3 m × 2 m, foi objeto de avaliação por Santos (2022). O estudo concluiu que o sombreamento induzido pelos eucaliptos tem potencial de diminuir a mortalidade em plantios que englobam árvores nativas, mas é necessário entendimento sobre as faixas limitantes, em outras palavras o tamanho do espaçamento adotado, visto que um sombreamento excessivo pode ser tão prejudicial quanto níveis elevados de irradiância. Ademais, a Aroeira e o Angico demonstraram uma notável capacidade de sobrevivência em diversas condições, sendo altamente indicadas para a implementação em plantios florestais de finalidades diversas. De maneira similar, no plantio objeto da presente pesquisa, a presença de sombreamento proporcionado pelos eucaliptos não

resultou em um aumento na taxa de mortalidade. Além disso, as espécies nativas presentes, Aroeira e Angico, demonstraram uma notável capacidade de adaptação ao sistema agroflorestal.

5.2 RESULTADOS DO MODELO POR PARCELAS SUBDIVIDIDAS COM MEDIDAS REPETIDAS NO TEMPO

No que concerne aos pressupostos relativos aos erros das parcelas subdivididas com medidas repetidas, os pressupostos nem sempre são atendidos, principalmente, se os dados forem correlacionados pode indicar uma falta de independência, sendo um dos aspectos da violação do pressuposto de esfericidade (Vieira, 2021). O autor ainda afirma que observações correlacionadas, como as encontradas em experimentos com medidas repetidas, frequentemente resultam em uma inflação dos testes estatísticos, mas não significa automaticamente que o pressuposto de esfericidade será violado.

Em alguns casos, especialmente quando as diferenças entre as condições são pequenas em comparação com a variabilidade dentro das condições, o pressuposto de esfericidade pode ser satisfeito. Quando este pressuposto é violado, pode levar a inferências incorretas nos testes estatísticos aplicados em estudos de medida repetidas. Isto pode resultar em uma taxa aumentada de erros do Tipo I (rejeição incorreta da hipótese nula) ou Tipo II (falha em rejeitar a hipótese nula quando é falsa), comprometendo a validade dos resultados estatísticos e das conclusões do estudo (Haverkamp; Beauducel, 2017).

Sabe-se que de acordo com resultado do teste de Mauchly o modelo por parcelas subdivididas não é o adequado para avaliar este estudo, mas o método foi empregue com o intuito de ser comparado aos demais métodos utilizados, especialmente com o modelo multivariado, visando verificar a possível similaridade nos resultados, mesmo apresentando violação no pressuposto. Os dados em altura média (m) das espécies arbóreas, provenientes das 22 medições ao longo do tempo, foram submetidos a análise da variância (Tabela 12).

Tabela 12 - Resultado da ANOVA referente ao crescimento em altura média (m) ao longo dos tempos, no modelo parcelas subdivididas no tempo, considerando as diferentes espécies arbóreas, espaçamentos, adubações e suas interações.

Fonte de variação	G.L.	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	Sig.
Espécies	3	45273,32	15091,10	464,721	**
Resíduo (a)	12	389,68	32,47		
Espaçamentos	3	1947,56	649,18	41,142	**

Espaçamentos x Espécies	9	2295,68	255,08	16,165	**
Resíduo (b)	36	568,05	15,78		
Adubações	3	81,75	27,25	2,993	**
Adubações x Espécies	9	121,42	13,49	1,482	0,1638 ^{n.s.}
Adubações x Espaçamentos	9	32,65	3,63	0,398	0,9334 ^{n.s.}
Adubações x Espécies x Espaçamentos	27	130,22	13,49	0,510	0,9784 ^{n.s.}
Resíduo (c)	144	983,41	9,10		
Tempo	21	44923,50	2139,21	3260,234	**
Tempo x Espécies	63	11032,09	175,11	266,877	**
Tempo x Espaçamentos	63	1125,29	17,86	27,222	**
Tempo x Adubações	63	70,38	1,12	1,703	**
Tempo x Espécies x Adubações	189	70,12	0,37	0,386	1,00 ^{n.s.}
Tempo x Adubações x Espaçamentos	189	52,188	0,27	0,203	1,00 ^{n.s.}
Tempo x Espécies x Espaçamentos	189	1083	175,11	0,635	1,00 ^{n.s.}
Tempo x Espécies x Espaçamentos x Adubações	564	191	0,37	0,565	1,00 ^{n.s.}
Resíduo (d)	3577	3846	0,66		
Total	4980	111794,78			

Em que: G.L. = Graus de liberdade; Sig. = Significância; n.s. = não significativo; os asteriscos indicam os níveis de significância quais a hipótese nula foi rejeitada, sendo que (*) representa 5% de significância (**) representa 1% de significância.

Fonte: Autoria própria (2023)

Dada a significância das interações duplas e efeitos principais ($p < 0,05$), torna-se imperativo proceder ao desdobramento dos graus de liberdade.

Tabela 13 - Resultado da ANOVA do desdobramento da interação, tempo dentro de cada nível de espaçamento.

Fonte de variação	G.L.	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	Sig.
Tempo : 3 m x 2 m	21	8258,61	393,27	599,352	**
Tempo : 4 m x 2 m	21	8819,19	419,96	640,035	**
Tempo : 4 m x 2 m consorciado com Capim Tanzânia	21	15019,94	715,23	1090,043	**
Tempo : 4 m x 2 m consorciado com Feijão- Caupi	21	13951,05	664,33	1012,470	**
Resíduo (d)	3577	2879,85	0,65		

Em que: G.L. = Graus de liberdade; Sig. = Significância; n.s. = não significativo; os asteriscos indicam os níveis de significância quais a hipótese nula foi rejeitada, sendo que (*) representa 5% de significância (**) representa 1% de significância.

Fonte: Autoria própria (2023)

Diante da relevância do desdobramento temporal em cada nível dos espaçamentos, procedeu-se à execução do teste de Tukey (Apêndice 5). Conforme os resultados do teste, os períodos T22 (114 meses) e T21 (102 meses) exibem alturas médias semelhantes entre si, além de se destacarem as maiores médias, além domais, o período T21 também se assemelha ao T20 (96 meses), tudo isto considerando no nível do espaçamento de 3 m × 2 m isolado. No espaçamento isolado de 4 m × 2 m, os períodos T22 e T21 apresentaram as maiores alturas médias, sendo os resultados indicativos de semelhança entre si.

No espaçamento de 4 m × 2 m, em consórcio com Capim Tanzânia, os períodos T22, T21 e T20 revelam as alturas médias mais destacadas e são significativamente semelhantes entre si, além disto, a altura média do período T20 é semelhante à do T19 (90 meses). No espaçamento de 4 m × 2 m, em consórcio com Feijão-Caupi, os períodos T22 e T21 demonstram alturas médias semelhantes entre si, destacando-se como os de maiores médias. Adicionalmente, observa-se que o período T21 também apresenta semelhança com o T20. Evidentemente, considerando o crescimento em altura média, é natural esperar que o último período de medição apresente a maior média em altura.

Tabela 14 - Resultado da ANOVA do desdobramento da interação, espaçamento dentro de cada nível de tempo.

Fonte de variação	G.L.	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	Sig.
Espaçamentos : Tempo 1	3	0,8442	0,2814	0,429	0,7282 ^{n.s.}
Espaçamentos : Tempo 2	3	141,3765	47,1255	71,821	**
Espaçamentos : Tempo 3	3	188,6321	62,8773	95,827	**
Espaçamentos : Tempo 4	3	162,2419	54,0806	82,421	**
Espaçamentos : Tempo 5	3	184,8222	61,6074	93,421	**
Espaçamentos : Tempo 6	3	216,4022	72,1340	109,935	**
Espaçamentos : Tempo 7	3	303,1259	101,0419	153,991	**
Espaçamentos : Tempo 8	3	241,0676	80,3558	122,456	**
Espaçamentos : Tempo 9	3	232,5280	77,5093	118,127	**
Espaçamentos : Tempo 10	3	213,4575	71,1525	108,439	**
Espaçamentos : Tempo 11	3	177,7830	59,2610	90,316	**
Espaçamentos : Tempo 12	3	7,3423	2,4474	3,730	**
Espaçamentos : Tempo 13	3	180,9690	60,3230	91,934	**
Espaçamentos : Tempo 14	3	110,1802	36,7267	55,973	**
Espaçamentos : Tempo 15	3	98,6725	32,8908	50,127	**
Espaçamentos : Tempo 16	3	22,1333	7,3777	11,244	**
Espaçamentos : Tempo 17	3	37,8033	12,6011	19,205	**
Espaçamentos : Tempo 18	3	90,1042	30,0347	45,774	**
Espaçamentos : Tempo 19	3	125,7028	41,9009	63,858	**
Espaçamentos : Tempo 20	3	114,1421	38,0473	57,985	**
Espaçamentos : Tempo 21	3	112,5316	37,5105	57,167	**
Espaçamentos : Tempo 22	3	110,9935	36,9978	56,386	**
Resíduo (d)	3577	2879,8585			

Em que: G.L. = Graus de liberdade; Sig. = Significância; n.s. = não significativo; os asteriscos indicam os níveis de significância quais a hipótese nula foi rejeitada, sendo que (*) representa 5% de significância (**) representa 1% de significância.

Fonte: Autoria própria (2023)

Considerando a diferença estatisticamente significativa no desdobramento dos espaçamentos em cada nível temporal, efetuou-se a realização do teste de Tukey (Apêndice 6). De acordo com os resultados do teste de Tukey, conforme descritos no Apêndice 6, o espaçamento isolado de 3 m × 2 m revelou as alturas médias mais destacadas, em relação aos demais espaçamentos, durante os períodos de T1 até T8 (24 meses). A partir do período T9 (30 meses) até o T20 (96 meses), o espaçamento de 4 m × 2 m consorciado com Capim Tanzânia, evidenciou as alturas médias mais significativas entre os diferentes espaçamentos. Notavelmente, diferenciou-se de maneira estatisticamente significativa ($p < 0,05$) dos demais espaçamentos nos períodos do T13 (54 meses) até o T20 (96 meses). Nos períodos T21 (102 meses) e T22 (114 meses), os espaçamentos de 4 m × 2 m, consorciados com Capim Tanzânia e Feijão-Caupi, exibiram médias semelhantes entre si, estas médias se distinguiram significativamente dos espaçamentos isolados de 3 m × 2 m e de 4 m × 2 m, os quais demonstraram diferenças significativas entre si.

Segundo Hartley (2002), o espaçamento é crucial para influenciar de maneira favorável o crescimento e a qualidade da madeira, fornecendo o espaço adequado para otimizar o desenvolvimento das espécies arbóreas. Os quatro tipos de espaçamento analisados neste estudo, tanto os consorciados quanto os isolados, possibilitaram a identificação do espaçamento mais apropriado para a região semiárida na qual o plantio foi implantado, levando em consideração, ademais, as distintas espécies envolvidas.

Oliveira *et al.* (2021) destacam que certos espaçamentos são capazes de induzir variabilidade genotípica como estresse ambiental, pois as plantas podem competir por recursos (água, nutrientes, luz solar) ou condições climáticas adversas, a pressão seletiva sobre as plantas pode variar, resultando em diferentes taxas de sobrevivências para diferentes genótipos, e também resultando em perdas nos aspectos como crescimento em altura, desenvolvimento do diâmetro e volume no decorrer dos anos. Esses aspectos são de suma importância a serem contemplados, particularmente considerando que o estudo em questão se dedica à análise de quatro espécies florestais, notadamente os clones de eucalipto, os quais demonstram uma taxa de crescimento substancialmente superior àquela das espécies nativas. Conseqüentemente, o espaçamento entre tais espécies pode exercer uma influência significativa sobre o desenvolvimento das mesmas, uma vez que o sombreamento provocado pelos eucaliptos pode impactar o crescimento das espécies nativas, dependendo do espaçamento adotado.

Tabela 15 - Resultado da ANOVA do desdobramento da interação de tempo dentro de cada nível das espécies.

Fonte de variação	G.L.	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	Sig.
Tempo : Angico	21	5729,1114	272,8148	415,779	**
Tempo : Aroeira	21	1719,8782	85,3275	130,042	**
Tempo : MA 2000	21	21152,3664	1007,2555	1535,091	**
Tempo : MA 2001	21	27282,2384	1299,1542	1979,954	**
Resíduo (d)	3577	2879,8585	0,6561		

Em que: G.L. = Graus de liberdade; Sig. = Significância; n.s. = não significativo; os asteriscos indicam os níveis de significância quais a hipótese nula foi rejeitada, sendo que (*) representa 5% de significância (**) representa 1% de significância.

Fonte: Aatoria própria (2023)

Diante da discrepância estatisticamente significativa no desdobramento do tempo em cada nível das espécies, procedeu-se à execução do teste de Tukey (Apêndice 7). Segundo os resultados do teste de Tukey, o período T22 exibiu a média mais elevada entre os períodos na espécie Angico, esta média foi semelhante as dos períodos T21 e T20, destacando-se significativamente em comparação com os demais períodos. O período T22, na espécie Aroeira, registrou a maior altura média, apresentando semelhança significativa apenas com os períodos T21, T20 e T19, e se diferenciou dos demais tempos. Para os clones MA 2000 e MA 2001, o período T22 apresentou a altura média mais elevada, demonstrando semelhança com os períodos T21 e T20, ao passo que se diferenciou significativamente dos demais períodos. Conforme esperado, o período T22 revelou a mais elevada altura média em todos os níveis das espécies.

Tabela 16 - Resultado da ANOVA do desdobramento da interação, espécie dentro de cada nível de tempo.

Fonte de variação	G.L.	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	Sig.
Espécies : Tempo 1	3	2,9237	1,212793	0,3947	0,757 ^{n.s.}
Espécies : Tempo 2	3	2,766	0,922	0,3001	0,825 ^{n.s.}
Espécies : Tempo 3	3	23,5322	7,844098	2,553	0,06 ^{n.s.}
Espécies : Tempo 4	3	100,8617	33,620588	10,944	**
Espécies : Tempo 5	3	188,0293	62,676450	20,4026	**
Espécies : Tempo 6	3	551,04519	183,68173	59,7925	**
Espécies : Tempo 7	3	978,67657	326,22552	106,1938	**
Espécies : Tempo 8	3	1279,564102	426,521367	138,8424	**
Espécies : Tempo 9	3	1767,644548	589,214849	191,8025	**
Espécies : Tempo 10	3	2021,693661	673,897887	219,3691	**
Espécies : Tempo 11	3	1942,0807	647,36024	210,7305	**
Espécies : Tempo 12	3	2155,3591	718,453053	233,8728	**
Espécies : Tempo 13	3	2718,5647	906,18826	294,9849	**
Espécies : Tempo 14	3	2261,002582	753,667527	245,3359	**
Espécies : Tempo 15	3	3142,142005	1047,380668	340,9462	**
Espécies : Tempo 16	3	3462,8391	1154,2797	375,7443	**
Espécies : Tempo 17	3	4181,35309	1393,78436	453,7085	**
Espécies : Tempo 18	3	4728,06062	1576,0202	513,03058	**
Espécies : Tempo 19	3	5444,246795	1814,748932	590,742125	**
Espécies : Tempo 20	3	6170,622165	2056,874055	669,5593	**
Espécies : Tempo 21	3	6483,834184	2161,27806	703,54525	**
Espécies : Tempo 22	3	5301,820054	1767,27335	575,2877	**
Resíduo (d)	3577	10222,20495	3,07198		

Em que: G.L. = Graus de liberdade; Sig. = Significância; n.s. = não significativo; os asteriscos indicam os níveis de significância quais a hipótese nula foi rejeitada, sendo que (*) representa 5% de significância (**) representa 1% de significância.

Fonte: Autoria própria (2023)

Conforme evidenciado pelos resultados da análise de variância, constata-se uma diferença significativa na variação das espécies dentro de cada nível temporal. Diante deste

contexto, faz-se imprescindível a aplicação do teste de comparação de médias de Tukey (Apêndice 8). Conforme indicado pelos resultados do teste de Tukey, os clones MA 2000 e MA 2001 foram as espécies arbóreas que registraram as alturas médias mais elevadas no período de T2 até T22. Do período T6 (15 meses) até o T22, o clone MA 2001 demonstrou uma altura média superior a todas as outras espécies, diferenciando-se significativamente entre as demais espécies. Neste intervalo de tempo, as demais espécies, diferenciaram-se significativamente entre si.

No estudo realizado por Gonsaga (2017), foram avaliados cinco clones de eucaliptos provenientes da miscigenação entre *Eucalyptus grandis* × *Eucalyptus urophylla*, abrangendo diferentes faixas etárias, desde pouco mais de dois anos até seis anos. O autor concluiu que os clones de eucaliptos manifestaram comportamentos diversos ao longo do tempo, em relação aos aspectos como crescimento em altura, produtividade de madeira, acumulação e competência na aplicabilidade de nutrientes. Na presente pesquisa, os clones de eucalipto MA 2000 e MA 2001 exibiram comportamentos divergentes ao longo do tempo, ainda que tenham sido expostos às mesmas condições ambientais e climáticas, notavelmente, o clone MA 2001 demonstrou um desenvolvimento superior em altura e diâmetro em comparação ao clone MA 2000, tal constatação sugere que, mesmo pertencendo ao mesmo gênero, *Eucalyptus*, diferentes resultados podem ser observados entre as espécies.

Tabela 17 - Resultado da ANOVA do desdobramento da interação de tempo dentro de cada nível das adubações.

Fonte de variação	G.L.	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	Sig.
Tempo : Biocarvão	21	10817,1636	515,1030	785,034	**
Tempo : Peixe	21	11890,6812	566,2229	862,943	**
Tempo : Sedimento	21	11663,6968	555,4141	846,470	**
Tempo : Testemunha	21	10622,3449	505,8259	770,896	**
Resíduo (d)	3577	2879,8585	0,6561		

Em que: G.L. = Graus de liberdade; Sig. = Significância; n.s. = não significativo; os asteriscos indicam os níveis de significância quais a hipótese nula foi rejeitada, sendo que (*) representa 5% de significância (**) representa 1% de significância.

Fonte: Autoria própria (2023)

De acordo com os resultados advindos da análise de variância no desdobramento do tempo dentro de cada nível das adubações, observa-se uma diferença significativa. Neste cenário, torna-se incontornável a aplicação do teste de comparação de médias de Tukey

(Apêndice 9). A adubação com resíduos dos tanques de piscicultura foi designada como "peixe", enquanto a adubação com sedimentos do reservatório de Itaparica foi identificada como "sedimento", conforme apresentado na Tabela 15, ao longo do texto, essas denominações serão adotadas para referir-se às respectivas adubações. Conforme os resultados obtidos pelo teste, na adubação de biocarvão o T22 apresentou a maior altura média, assemelhando-se ao T21 e se diferenciando dos demais tempos. Na adubação com resíduo dos tanques de piscicultura, o período T22 registrou a média mais elevada, comparável aos períodos T21 e T20, diferenciando-se significativamente dos demais. Na adubação com sedimentos do reservatório, o período T22 apresentou resultados similares aos obtidos com resíduos dos tanques de pisciculturas. A testemunha no T22 exibiu a maior altura média, sendo semelhante apenas ao T21, e diferenciando-se dos demais tempos. Conforme as análises vistas anteriormente, era esperado que o período T22 manifestasse as maiores médias dentro dos diferentes níveis de adubações.

Tabela 18 - Resultado da ANOVA do desdobramento da interação das adubações dentro de cada nível do tempo.

Fonte de variação	G.L.	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	Sig.
Adubações : Tempo 1	3	0,0069	0,0023	0,004	1,0745 ^{n.s.}
Adubações : Tempo 2	3	3,1148	1,0382	1,582	0,1914 ^{n.s.}
Adubações : Tempo 3	3	3,7879	1,2626	1,924	0,1233 ^{n.s.}
Adubações : Tempo 4	3	5,0580	1,6860	2,570	0,0526 ^{n.s.}
Adubações : Tempo 5	3	4,6515	1,5505	2,363	0,0693 ^{n.s.}
Adubações : Tempo 6	3	4,8791	1,6263	2,479	0,0594 ^{n.s.}
Adubações : Tempo 7	3	7,2921	2,4307	3,705	0,0112 ^{n.s.}
Adubações : Tempo 8	3	8,0602	2,6867	4,095	**
Adubações : Tempo 9	3	8,1518	2,7172	4,141	**
Adubações : Tempo 10	3	39,8062	13,2687	20,222	**
Adubações : Tempo 11	3	28,6484	9,5494	14,554	**
Adubações : Tempo 12	3	0,0656	0,0218	0,033	1,0202 ^{n.s.}
Adubações : Tempo 13	3	15,0789	5,0231	7,660	**
Adubações : Tempo 14	3	8,8264	2,9421	4,484	**
Adubações : Tempo 15	3	6,8777	2,2925	3,494	**

Adubações : Tempo 16	3	0,0822	0,0274	0,042	1,0141 ^{n.s.}
Adubações : Tempo 17	3	0,4342	0,1447	0,221	0,8918 ^{n.s.}
Adubações : Tempo 18	3	0,3794	0,1264	0,193	0,9120 ^{n.s.}
Adubações : Tempo 19	3	0,5778	0,1926	0,294	0,8377 ^{n.s.}
Adubações : Tempo 20	3	1,4471	0,4823	0,735	0,5288 ^{n.s.}
Adubações : Tempo 21	3	2,0908	0,6869	1,062	0,3639 ^{n.s.}
Adubações : Tempo 22	3	2,8153	0,9384	1,430	0,2319 ^{n.s.}
Resíduo (d)	3577	2879,858513	0,656154		

Em que: G.L. = Graus de liberdade; Sig. = Significância; n.s. = não significativo; os asteriscos indicam os níveis de significância quais a hipótese nula foi rejeitada, sendo que (*) representa 5% de significância (**) representa 1% de significância.

Fonte: Autoria própria (2023)

Conforme os resultados derivados da análise de variância no desdobramento das adubações em cada nível temporal, nota-se uma diferença estatisticamente significativa. Neste contexto, torna-se imprescindível a implementação do teste de comparação de médias de Tukey (Apêndice 10). Conforme indicado pelos resultados do teste de Tukey, ao longo da maior parte do período, as adubações com sedimentos do reservatório e resíduos dos tanques de pisciculturas apresentam as médias mais elevadas. Indicando que esses tipos de adubações proporcionaram condições mais favoráveis para o crescimento das plantas, além disto, contem materiais orgânicos que fornecem nutrientes de liberação lenta ao longo do tempo, contribuindo para um fornecimento constante de nutrientes para as plantas.

Do T1 até o T11 (42 meses), as adubações não apresentaram distinções significativas. Contudo, a partir do tempo T12 (48 meses) até o T16 (72 meses), a adubação sedimentos do reservatório exibiu a maior média, sendo semelhante a resíduos dos tanques de piscicultura e a testemunha, diferenciando-se apenas do biocarvão.

No T17 (78 meses), o adubo sedimentos do reservatório manifestou a maior altura média, assemelhando-se com resíduos dos tanques de piscicultura e se distinguindo das demais adubações. Já no T19 (90 meses) e T20 (96 meses), os resíduos dos tanques de piscicultura registrou a maior altura média, sendo semelhante a sedimentos do reservatório, e diferenciando-se das demais adubações. Nos períodos T21 e T22, os resíduos dos tanques de piscicultura continuou apresentando a melhor altura média. No T21, assemelhou-se aos sedimentos do reservatório, diferenciou-se das demais adubações.

Um fator a se considera é a composição física dos materiais utilizados como adubo, os resíduos dos tanques de piscicultura e os sedimentos do reservatório tem uma estrutura porosa

que melhora a aeração do solo e a retenção de umidade, ricos em nutrientes, capacidade de liberação gradual de nutrientes, além de criar ambientes mais propício para o crescimento das raízes e o desenvolvimento das plantas.

Já no T22, os resíduos dos tanques de piscicultura se equiparou aos sedimentos do reservatório e a testemunha, distinguindo-se apenas do biocarvão. Este desfecho aponta para uma possível diminuição na efetividade das adubações em estimular um crescimento superior das plantas em comparação com a ausência de adubação, representada pela testemunha. Tal fenômeno pode ser atribuído a uma série de fatores, incluindo o esgotamento gradual dos nutrientes presentes nas adubações, os quais são progressivamente consumidos pelas plantas ao longo do tempo ou perdidos devido à lixiviação ou decomposição. Além disso, o acúmulo de substâncias tóxicas, eventuais alterações na estrutura do solo e a adaptação das plantas ao ambiente ao longo do tempo podem contribuir para essa redução na eficácia das adubações. À medida que as plantas se ajustam às condições de fertilidade do solo, sua resposta ao fornecimento adicional de nutrientes pode diminuir. Conseqüentemente, ao longo do tempo, as adubações podem estar progressivamente perdendo parte de sua eficácia inicial (Chein *et al.*, 2018).

De acordo com os resultados obtidos pelo teste de Tukey, a fonte de adubação com sedimentos do reservatório exibiu a maior altura média, atingindo 6,59 m. Esta média foi semelhante à fonte de adubação com resíduos dos tanques de piscicultura, que alcançou 6,50 m, e ao grupo controle, que registrou 6,33 m. Observou-se uma diferenciação significativa em relação ao biocarvão, que apresentou uma altura média de 6,27 m.

Conforme mencionado por Halomoan (2016), a adubação orgânica contribui para o crescimento da área foliar total, como também da área foliar característica e da eficácia do desenvolvimento do caule nas espécies arbóreas, com destaque para o diâmetro e a altura. Kratka (2013) realizou uma análise do crescimento da espécie *Myracrodruon urundeuva* Allemão, ressaltando que a aplicação de adubos orgânicos durante o processo de produção resultou em um aumento significativo tanto no diâmetro quanto na altura das plantas, contribuindo também para aprimorar a qualidade global das mesmas.

Tabela 19 - Resultado da ANOVA do desdobramento dos espaçamentos dentro de cada nível das espécies.

Fonte de variação	G.L.	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	Sig.
Espaçamentos / Angico	3	536,4791	178,8263	11,333	**
Espaçamentos / Aroeira	3	170,9398	56,9799	3,611	*
Espaçamentos / MA 2000	3	739,3344	246,4448	15,618	**
Espaçamentos / MA 2001	3	2796,4896	932,1632	59,076	**
Resíduo (b)	36	568,0499	15,7791		

Em que: G.L. = Graus de liberdade; Sig. = Significância; n.s. = não significativo; os asteriscos indicam os níveis de significância quais a hipótese nula foi rejeitada, sendo que (*) representa 5% de significância (**) representa 1% de significância.

Fonte: Autoria própria (2023)

Segundo os resultados provenientes da análise de variância no desdobramento dos espaçamentos em cada nível das espécies, constata-se uma diferença estatisticamente significativa. Diante desse contexto, torna-se indispensável a realização do teste de comparação de médias de Tukey (Apêndice 12). No caso do Angico, o espaçamento de 4 m × 2 m consorciado com Capim Tanzânia exibiu a maior altura média, assemelhando-se aos espaçamentos de 4 m × 2 m consorciado com Feijão-Caupi e 3 m × 2 m isolado, no entanto, diferenciou-se apenas do espaçamento de 4 m × 2 m isolado. Este resultado indica uma interação positiva entre o espaçamento e o Capim Tanzânia, no entanto, é interessante notar que este mesmo espaçamento, quando isolado, apresentou um desempenho inferior, destacando a importância da presença do Capim Tanzânia para potencializar o crescimento do Angico neste contexto.

Na Aroeira, o espaçamento de 3 m × 2 m isolado exibiu a maior altura média, assemelhando-se aos espaçamentos de 4 m × 2 m consorciado com Feijão-Caupi e de 4 m × 2 m isolado. No entanto, diferenciou-se apenas do espaçamento de 4 m × 2 m consorciado com Capim Tanzânia. Estes resultados indicam que a presença ou ausência de consórcio pode ser uma alternativa viável para o cultivo de Aroeira.

No clone MA 2000, o espaçamento de 4 m × 2 m consorciado com Capim Tanzânia apresentou a maior altura média, assemelhando-se unicamente ao espaçamento de 4 m × 2 m consorciado com Feijão-Caupi, distinguindo-se dos demais espaçamentos. De acordo com este resultado, o MA 2000 obteve um desenvolvimento melhor nos espaçamentos consorciados, deste modo, fica nítido que o consórcio não atrapalhou o desenvolvimento dos eucaliptos.

No clone MA 2001, o espaçamento de 3 m × 2 m isolado exibiu a maior altura média, assemelhando-se aos espaçamentos de 4 m × 2 m consorciado com Capim Tanzânia e 4 m × 2 m consorciado com Feijão-Caupi, diferenciando-se apenas do espaçamento de 4 m × 2 m isolado. Os resultados evidenciam que o clone MA 2001 demonstrou um desenvolvimento mais pronunciado no espaçamento de 3 m × 2 m isolado. Entretanto, tal desempenho assemelha-se aos observados nos espaçamentos consorciados, sugerindo que tanto o espaçamento de 3 m × 2 m isolado quanto os espaçamentos de 4 m × 2 m consorciados são opções viáveis para o cultivo deste clone.

Destaca-se que os resultados obtidos para os clones de eucalipto revelaram variações nas combinações de espaçamentos e consórcios que favoreceram um ótimo crescimento. Tais diferenças podem ser reflexos da resposta individual de cada clone às condições de cultivo, assim como das interações específicas entre o espaçamento adotado e o tipo de consórcio utilizado.

Tabela 20 - Resultado da ANOVA do desdobramento das espécies dentro de cada nível dos espaçamentos.

Fonte de variação	G.L.	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	Sig.
Espécies / 3m×2m isolado	3	11997,4005	3999,1335	253,444	**
Espécies / 4m×2m isolado	3	7862,8161	2620,9387	166,101	*
Espécies / 4m×2m consorciado com Capim Tanzânia	3	15503,3276	5167,7758	327,506	**
Espécies / 4m×2m consorciado com Feijão-Caupi	3	12205,4592	4068,4864	257,839	**
Resíduo (b)	36	568,0499	15,7791		

Em que: G.L. = Graus de liberdade; Sig. = Significância; n.s. = não significativo; os asteriscos indicam os níveis de significância quais a hipótese nula foi rejeitada, sendo que (*) representa 5% de significância (**) representa 1% de significância.

Fonte: Autoria própria (2023)

Conforme os resultados advindos da análise de variância no desdobramento das espécies dentro de cada nível dos espaçamentos, observa-se uma diferença estatisticamente significativa, deste modo, torna-se indispensável a condução do teste de comparação de médias de Tukey (Apêndice 13). Dentro dos diferentes níveis de espaçamentos, o clone MA 2001 registrou a maior altura média entre as espécies se diferenciando significativamente de todas. Em todos os níveis de espaçamento, as alturas médias das diferentes espécies são estatisticamente diferentes entre si.

Há uma variabilidade notável no crescimento em altura em função dos diferentes espaçamentos entre as espécies arbóreas, conforme evidenciado no estudo realizado por Leles *et al.* (2001), a pesquisa, que abordou uma gama de espaçamentos para diversas espécies de eucaliptos, chegou à conclusão de que em espaçamentos mais amplos, as espécies demonstraram alturas superiores que os espaçamentos mais adensados.

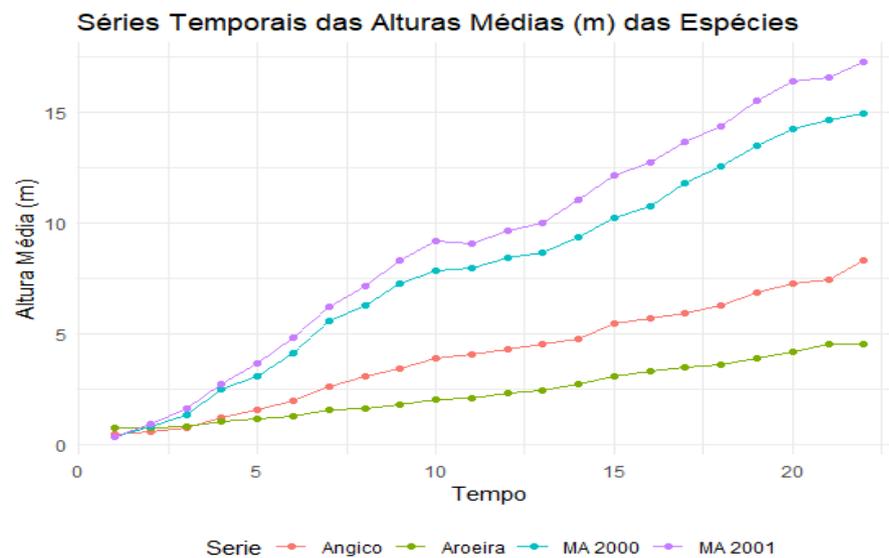
Uma pesquisa conduzida por Fernandes *et al.* (2023) investigou clones de eucalipto em variados espaçamentos, o estudo concluiu que o espaçamento entre as árvores exerce influência direta nas taxas de crescimento das plantas, especialmente durante o estágio inicial, menor que 2 anos de idade, a seleção do espaçamento pode impactar significativamente o crescimento e a produtividade das plantas. Conforme destacado por Magalhães *et al.* (2020), a escolha criteriosa do material genético (espécie) e do padrão de espaçamento no plantio desempenha um papel crucial na instalação bem-sucedida de plantios destinados à produção de energia, esta ação direta se deve ao fato de que estes fatores têm um impacto significativo no rendimento florestal, refletindo, conseqüentemente, nas características da madeira.

É importante destacar que os clones de eucalipto são espécies de crescimento rápido em comparação com as espécies nativas da Caatinga, portanto, independentemente do espaçamento utilizado, os clones tenderão a apresentar taxas de crescimento mais elevadas do que as espécies nativas.

4.3 RESULTADOS DAS SÉRIES TEMPORAIS

Os dados relativos à altura média (m) e ao diâmetro médio (cm) das quatro espécies arbóreas, juntamente com os espaçamentos em seus respectivos consórcios, além das diferentes práticas de adubação e testemunha, foram submetidos à análise de séries temporais referente as 22 medições realizadas ao longo do tempo.

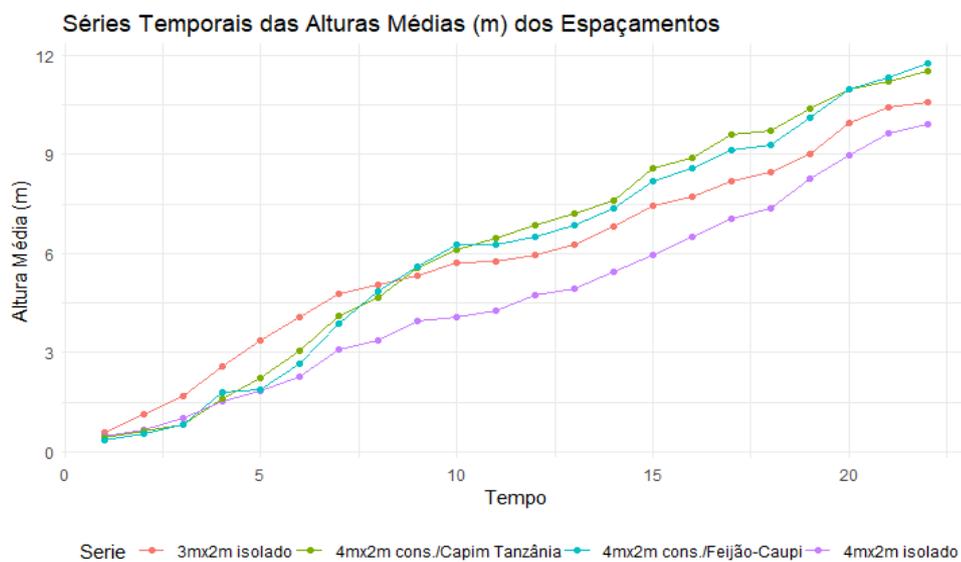
Figura 10 - Séries temporais do crescimento em altura média (m) das espécies arbóreas ao longo do tempo.



Fonte: Autoria própria (2023)

As representações gráficas das séries temporais apresentam tendência de crescimento para as espécies arbóreas, Figura 10, evidenciam de maneira nítida que os clones de eucalipto manifestam o maior crescimento em altura média ao longo do período analisado. Notavelmente, o clone MA 2001 se destaca neste contexto com as maiores alturas médias. Entre as espécies nativas, o Angico demonstra o crescimento mais proeminente.

Figura 11 - Séries temporais do crescimento em altura média (m) dos espaçamentos ao longo do tempo.



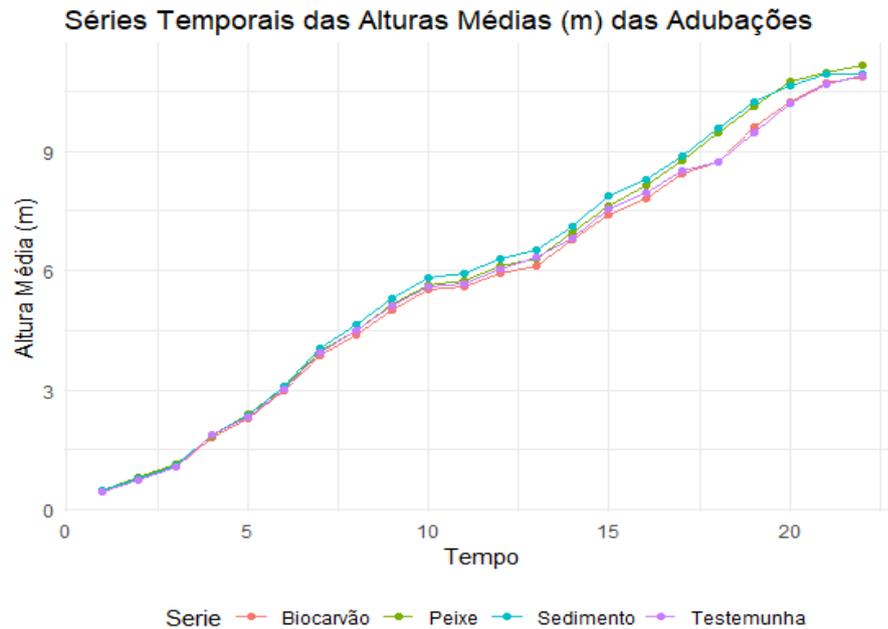
Fonte: Autoria própria (2023)

Conforme evidenciado pelo gráfico das séries temporais dos espaçamentos, Figura 11, manifestam uma tendência de crescimento, observa-se que, no período compreendido entre T1 (0) e T8 (24 meses), o espaçamento isolado de 3 m × 2 m registrou uma altura média superior em relação aos demais. Este fenômeno pode ser atribuído a uma série de fatores, como a disponibilidade inicial de nutrientes, e competição entre as plantas e a adaptação inicial das mudas ao ambiente.

No entanto, entre T9 (30 meses) e T22 (114 meses), os espaçamentos de 4 m × 2 m, tanto consorciado com Capim Tanzânia quanto com Feijão-Caupi, apresentaram os melhores índices de crescimento em altura média. Isto sugere que, à medida que as plantas amadurecem e o sistema radicular se expande, os benefícios proporcionados pelos espaçamentos mais amplos podem se tornar mais evidentes, permitindo um crescimento mais vigoroso das plantas (Guerra, 2020).

Do T11 (42 meses) ao T19 (90 meses), o espaçamento de 4 m × 2 m em consórcio com Capim Tanzânia manteve a mais elevada média em altura. No entanto, a partir do T21 (102 meses), o espaçamento de 4 m × 2 m em consórcio com Feijão-Caupi evidenciou um crescimento superior em relação a todos os outros espaçamentos. Esta mudança de dinâmica de crescimento ao longo do tempo destaca a importância de considerar não apenas o desempenho inicial das plantas, mas também sua evolução ao longo do ciclo cultivo.

Figura 12 - Séries temporais do crescimento em altura média (m) das adubações ao longo do tempo.

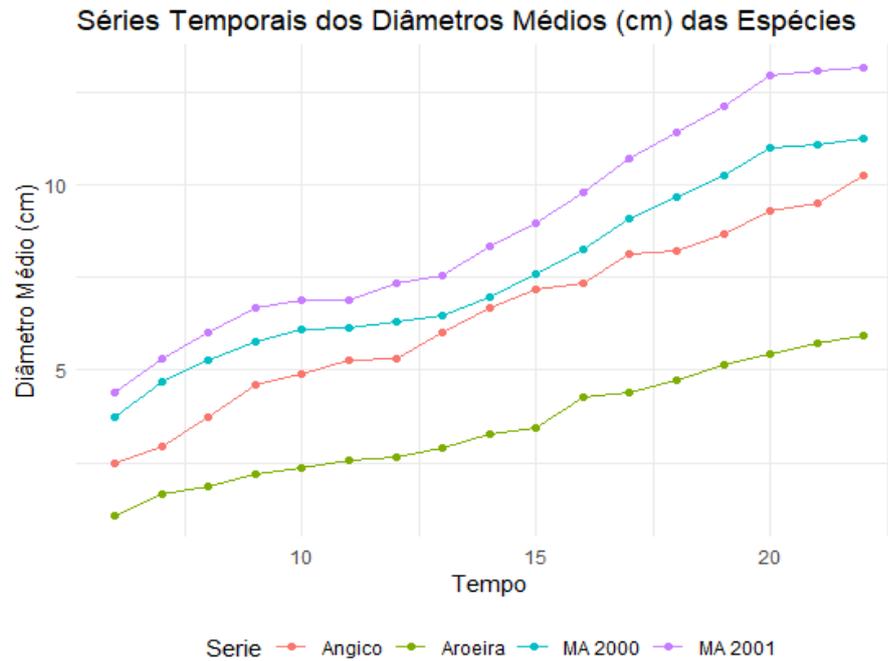


Fonte: Autoria própria (2023)

As representações gráficas das séries temporais, Figura 12, associadas às diversas práticas de adubação, bem como a testemunha, demonstrou uma tendência de crescimento, no intervalo entre T8 (24 meses) e T19 (90 meses), o adubo sedimentos do reservatório manifestou um sutil crescimento superior em comparação às demais adubações. Subseqüentemente, a adubação com resíduos dos tanques de piscicultura apresentou médias bastante próximas, destacando-se ligeiramente no T22 (114 meses) apresentando a maior altura média. Nesse mesmo período, testemunha exibiu uma média bastante próxima a do sedimentos do reservatório.

Portanto, é possível afirmar que, ao longo do tempo, as adubações com sedimentos do reservatório e resíduos dos tanques de pisciculturas, pelo menos em sua maior parte, evidenciaram as alturas médias mais elevadas. Contudo, no T22, as médias dos três grupos se tornam bastante próximas, o que sugere que, ao longo do tempo, as adubações orgânicas podem não manter o mesmo efeito significativo observado anteriormente. Adicionalmente, é notável que testemunha, desprovida de qualquer tipo de adubação, começa a apresentar resultados semelhantes aos grupos submetidos a adubações.

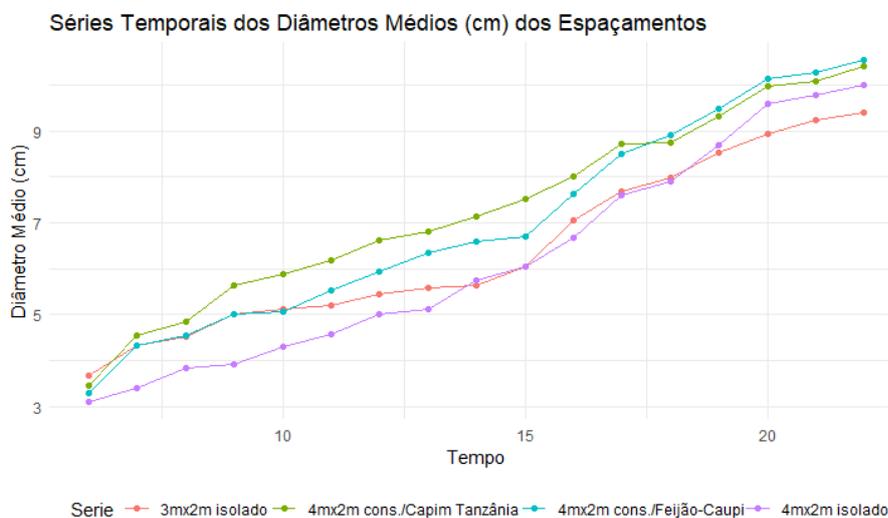
Figura 13 - Séries temporais do diâmetro médio (cm) das espécies arbóreas ao longo do tempo.



Fonte: Autoria própria (2023)

As representações visuais das séries temporais das espécies, apresentam uma tendência de crescimento, relacionadas ao diâmetro médio (cm), Figura 13, evidenciam que os clones de eucalipto, desde o início do período analisado, apresentaram os valores mais elevados em diâmetro médio, destacando-se significativamente o clone MA 2001. Entre as espécies nativas, o Angico demonstrou o crescimento mais pronunciado em termos de diâmetro.

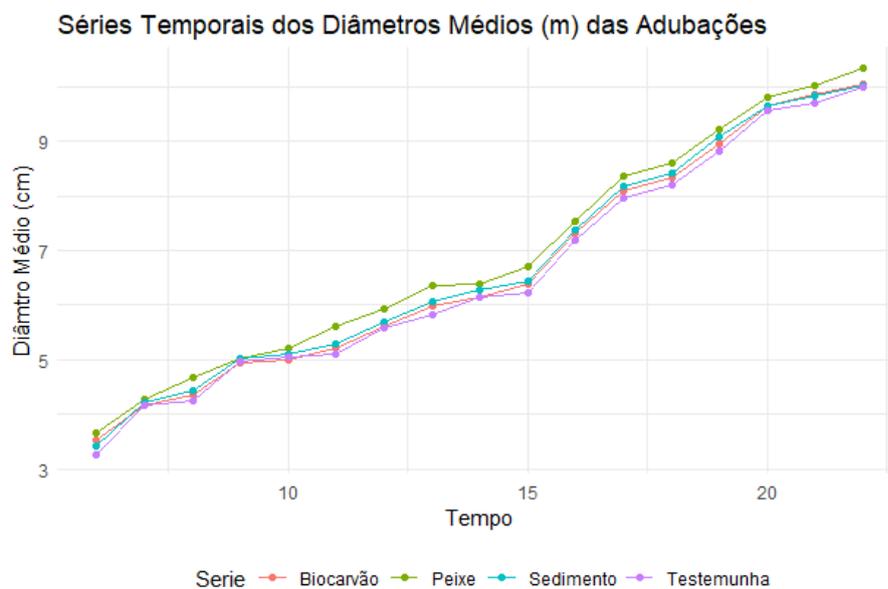
Figura 14 - Séries temporais do diâmetro médio (cm) dos espaçamentos ao longo do tempo.



Fonte: Autoria própria (2023)

Conforme evidenciado no gráfico, Figura 14, ilustrando uma tendência de crescimento, as séries temporais do diâmetro médio em cada espaçamento revelam que, no intervalo entre T7 (18 meses) e T17 (78 meses), o espaçamento de 4 m × 2 m em consórcio com Capim Tanzânia apresentou um diâmetro médio significativamente superior em relação aos demais espaçamentos. A partir do T18 (84 meses), observou-se que o espaçamento de 4 m × 2 m consorciado com Feijão-Caupi registrou valores de crescimento em diâmetro médio superiores aos demais. Desta forma, os espaçamentos consorciados demonstram os resultados mais promissores.

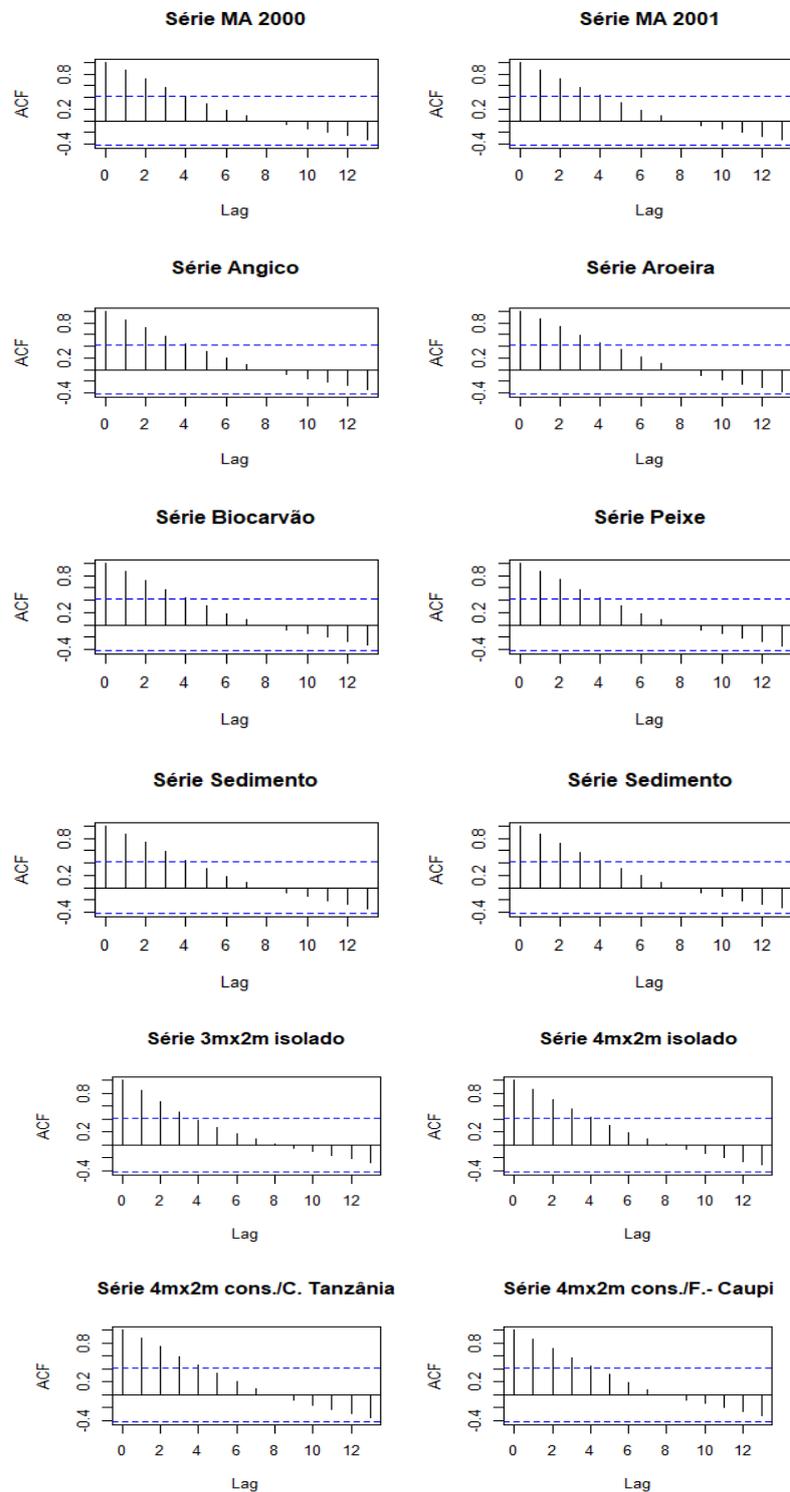
Figura 15 - Séries temporais do diâmetro médio (cm) das adubações ao longo do tempo.



Fonte: Autoria própria (2023)

As séries temporais dos diâmetros médios das adubações manifestam uma tendência de crescimento, conforme ilustradas no gráfico, Figura 15, e indicam que a adubação com resíduos dos tanques de pisciculturas proporcionou os resultados mais destacados em termos de diâmetro médio ao longo do tempo, em comparação com as demais práticas. Nota-se, igualmente, que a adubação com sedimentos do reservatório exibiu o segundo melhor desempenho, sendo ligeiramente superior ao biocarvão e a testemunha durante diversos períodos; entretanto, no T22 (114 meses), os resultados praticamente se equiparam.

Figura 16 - Função de autocorrelação (ACF) das séries originais para as espécies arbóreas, espaçamentos e adubações.



Fonte: Autoria própria (2023)

Ao analisar os gráficos, nota-se a presença de tendência e sazonalidade nas séries. Portanto, torna-se necessário aplicar o teste de Dickey-Fuller para confirmar a existência de tendência nas séries.

Tabela 21 - Resultado do teste de Dickey-Fuller, ao nível de 5% de significância, visa identificar se as séries são estacionárias ou não estacionárias para as espécies, adubações e espaçamentos.

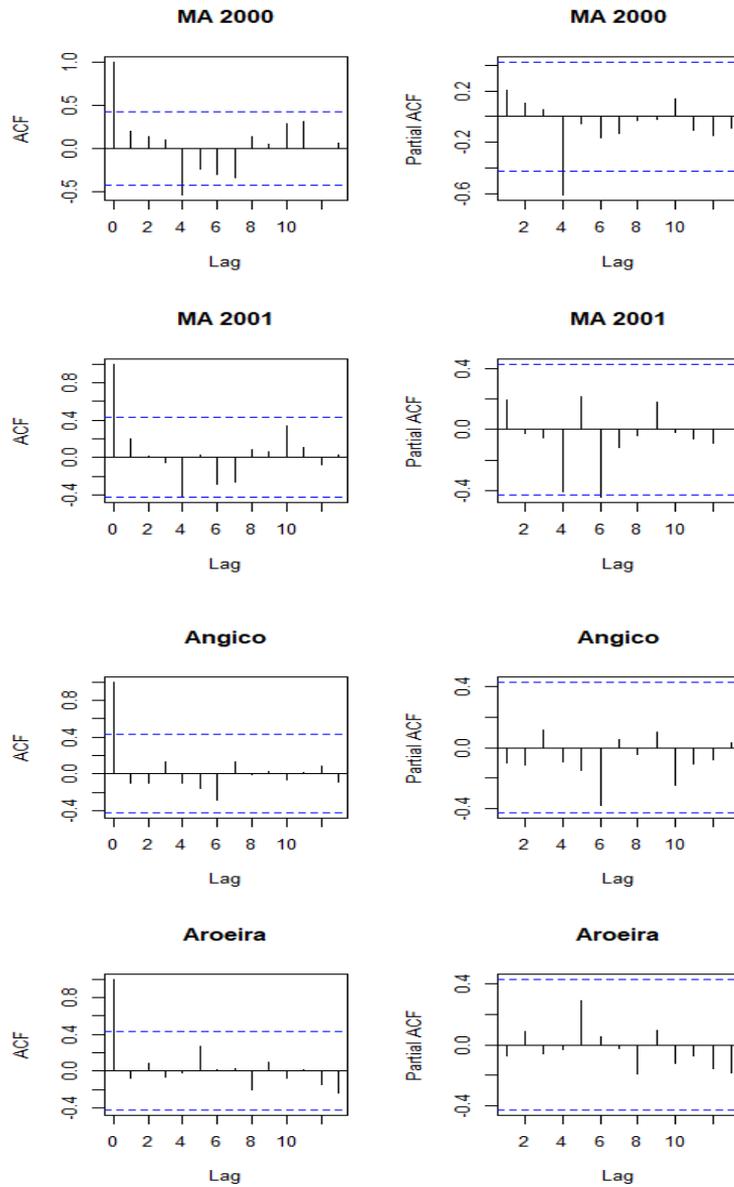
Séries Temporais	Valor do teste Dickey-Fuller	p-value
MA 2000	-3,0819	0,1602 ^{n.s.}
MA 2001	-2,6224	0,3353 ^{n.s.}
Angico	-1,7676	0,6495 ^{n.s.}
Aroeira	-1,1709	0,8882 ^{n.s.}
Biocarvão	-3,0674	0,1657 ^{n.s.}
Peixe	-3,3411	0,08596 ^{n.s.}
Sedimento	-2,5018	0,3812 ^{n.s.}
Testemunha	-2,6762	0,3148 ^{n.s.}
3mx2m isolado	-3,4474	0,0712 ^{n.s.}
4mx2m isolado	-1,2529	0,857 ^{n.s.}
4mx2m cons./C. Tanzânia	-1,772	0,6593 ^{n.s.}
4mx2m cons./F.- Caupi	-2,3278	0,4475 ^{n.s.}

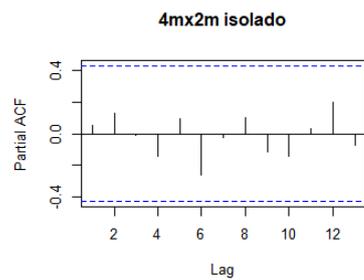
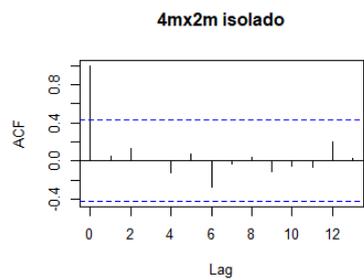
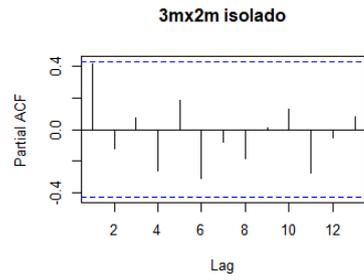
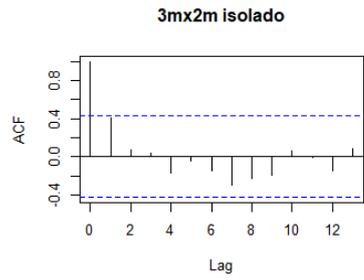
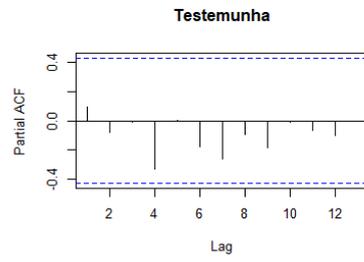
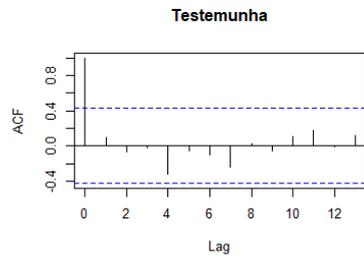
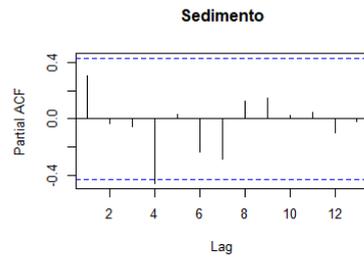
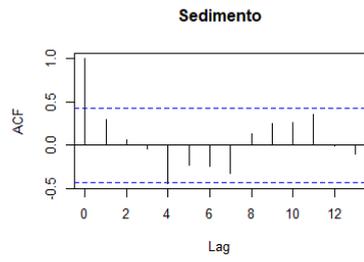
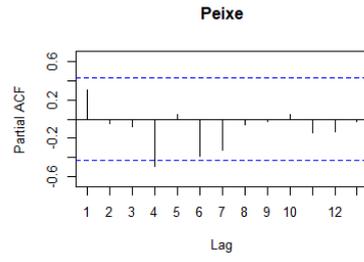
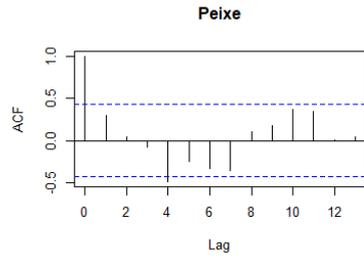
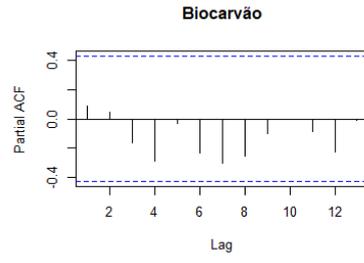
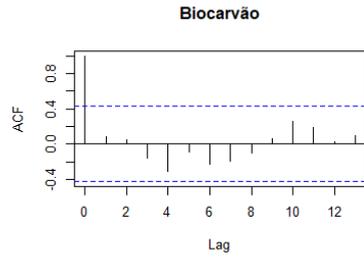
Em que: n.s. = não significativo.

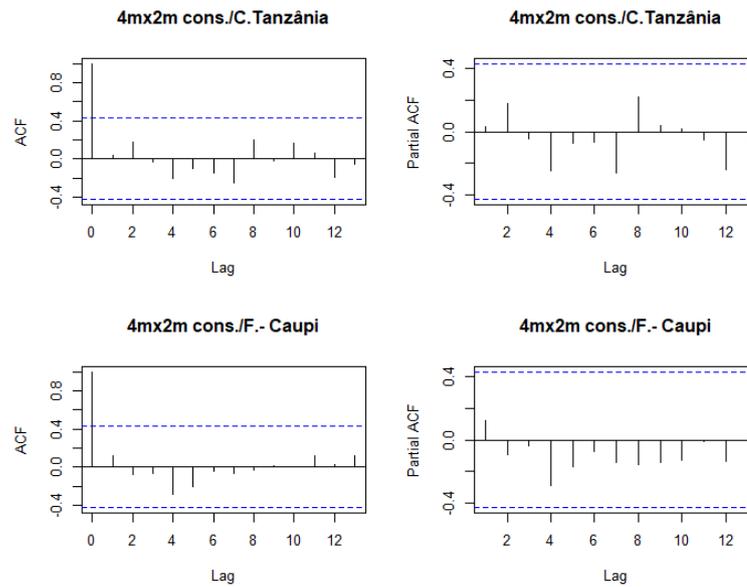
Fonte: Autoria própria (2023)

Conforme evidenciado na Tabela 21, os resultados do teste de Dickey-Fuller indicam que todas as séries temporais avaliadas não foram estatisticamente significativas ($p < 0,05$). Tal constatação implica na aceitação da hipótese nula, indicando, assim, que todas as séries temporais referentes a variável altura média, variável de maior interesse, são não estacionárias, e indicando a existência de tendências. Para eliminar a tendência e tornar as séries estacionárias, procedeu-se à diferenciação ($d = 1$) utilizando o comando "diff()" no software RStudio. Após a aplicação da diferenciação, obteve-se novas séries temporais, posteriormente, realizou-se novamente o teste de Dickey-Fuller, o qual indicou que as séries se tornaram estacionárias. Portanto, o valor de diferenciação que será utilizado nos modelos ARIMA é $d = 1$.

Figura 17 - Função de autocorrelação (ACF) e Função de autocorrelação parcial (PACF) das séries diferenciadas para as espécies arbóreas, espaçamentos e adubações.







Fonte: Autoria própria (2023)

Esse resultado indica que, ao analisar os gráficos de Função de Autocorrelação (ACF) e Função de Autocorrelação Parcial (PACF), foi determinado que os modelos considerados têm no máximo um termo autorregressivo (AR), no máximo um termo de média móvel (MA) e uma ordem de diferenciação ($d = 1$). Essa escolha dos termos do modelo é crucial para garantir uma representação adequada do comportamento dos dados e para evitar a inclusão de termos desnecessários que possam complicar a interpretação do modelo.

As combinações dos modelos serão detalhadas nas tabelas a seguir, o que sugere uma abordagem criteriosa na seleção dos modelos mais adequados para a análise dos dados. Isto é importante para garantir que os modelos sejam capazes de capturar adequadamente os padrões de autocorrelação presentes nos dados, o que é essencial para fazer previsões precisas e úteis. Ao limitar o número de termos no modelo de acordo com a análise dos gráficos ACF e PACF, é possível simplificar a modelagem e tornar o processo mais eficiente e interpretável.

Tabela 22 - Modelos AR, MA, ARMA e ARIMA e os respectivos critérios de AIC e BIC para as espécies arbóreas.

Modelos	Espécies	Coefficientes	Critério de AIC	Critério de BIC
AR (1,0,0)	MA 2000	$\hat{\phi}_1 = 0,2182$ $\hat{c} = 0,0871$	16,95	20,08
AR (1,0,0)	MA 2001	$\hat{\phi}_1 = 0,1901$ $\hat{c} = 2113$	21,64	24,77
MA (0,0,1)	MA 2000	$\hat{\theta}_1 = 0,1849$ $\hat{c} = 0,6879$	17,12	20,25
ARMA (1,0,1)	MA 2000	$\hat{\phi}_1 = 0,4289$ $\hat{\theta}_1 = -0,2088$ $\hat{c} = 0,6799$	19,80	22,97
ARIMA (0,1,0)	MA 2000		22,25	23,24
ARIMA (0,1,0)	MA 2001		27,87	28,86
ARIMA (0,1,0)	Angico		4,70	5,69
ARIMA (0,1,0)	Aroeira		-17,89	-16,89
ARIMA (1,1,0)	MA 2000	$\hat{\phi}_1 = -0,4527$	19,42	21,41
ARIMA (1,1,0)	MA 2001	$\hat{\phi}_1 = -0,4091$	26,26	28,25
ARIMA (0,1,1)	MA 2000	$\hat{\phi}_1 = -0,5145$	19,47	21,46

Fonte: Autoria própria (2023)

A partir dos resultados obtidos no critério de AIC e BIC, conforme apresentado na Tabela 20, observou-se que as espécies apresentam diferentes modelos ARIMA, o clone MA 2000 modelo ARIMA (0,1,1), o clone MA 2001 modelo ARIMA (1,1,0), angico ARIMA (0,1,0) e aroeira modelo ARIMA (0,1,0), estes foram os modelos que registraram os valores mais baixos para as espécies arbóreas. Assim, pode-se afirmar que estes são os modelos mais indicados para realizar previsões das alturas médias das espécies, sinalizando que os resíduos dos modelos ajustados são independentes ao longo do tempo.

Tabela 23 - Modelos AR, MA, ARMA e ARIMA e os respectivos critérios de AIC e BIC para as adubações.

Modelos	Adubações	Coefficientes	Critério de AIC	Critério de BIC
AR (1,0,0)	Peixe	$\hat{\phi}_1 = 0,3309$ $\hat{c} = 0,4981$	-1,79	1,34
AR (1,0,0)	Sedimento	$\hat{\phi}_1 = 0,3789$ $\hat{c} = 0,4793$	2,36	5,49
MA (0,0,1)	Peixe	$\hat{\theta}_1 = 0,3305$ $\hat{c} = 0,5045$	-1,71	1,42
MA (0,0,1)	Sedimento	$\hat{\theta}_1 = 0,4149$ $\hat{c} = 0,4884$	2,40	5,53
ARMA (1,0,1)	Peixe	$\hat{\phi}_1 = 0,3081$ $\hat{\theta}_1 = 0,0244$ $\hat{c} = 13,151$	0,21	4,38
ARMA (1,0,1)	Sedimento	$\hat{\phi}_1 = 0,3666$	4,36	8,54

		$\hat{\theta}_1 = 0,0135$		
		$\hat{c} = 0,4797$		
ARIMA (0,1,0)	Biocarvão		9,28	10,27
ARIMA (0,1,0)	Peixe		2,37	3,37
ARIMA (0,1,0)	Sedimento		4,94	5,93
ARIMA (0,1,0)	Testemunha		9,89	10,88
ARIMA (1,1,0)	Peixe	$\hat{\phi}_1 = -0,4590$	6,66	8,65
ARIMA (1,1,0)	Sedimento	$\hat{\phi}_1 = -0,3324$	1,90	3,89
ARIMA (0,1,1)	Peixe	$\hat{\theta}_1 = -0,3481$	1,95	3,94
ARIMA (0,1,1)	Sedimento	$\hat{\theta}_1 = -0,3217$	4,99	6,98
ARIMA (1,1,1)	Peixe	$\hat{\phi}_1 = -0,2343$ $\hat{\theta}_1 = -0,1133$	3,86	6,84
ARIMA (1,1,1)	Sedimento	$\hat{\phi}_1 = -0,3217$ $\hat{\theta}_1 = 0,2351$	4,99	6,98

Fonte: Autoria própria

No que diz respeito às adubações testemunha e biocarvão, os resultados apresentados na tabela indicam que, com base nos valores de AIC e BIC, o modelo escolhido é o ARIMA (0,1,0), para sedimentos do reservatório de Itaparica o modelo ARIMA (1,1,0) e para os resíduos dos tanques de piscicultura é o modelo ARIMA (0,1,1). Portanto, este modelo é considerado o mais apropriado para realizar previsões neste contexto.

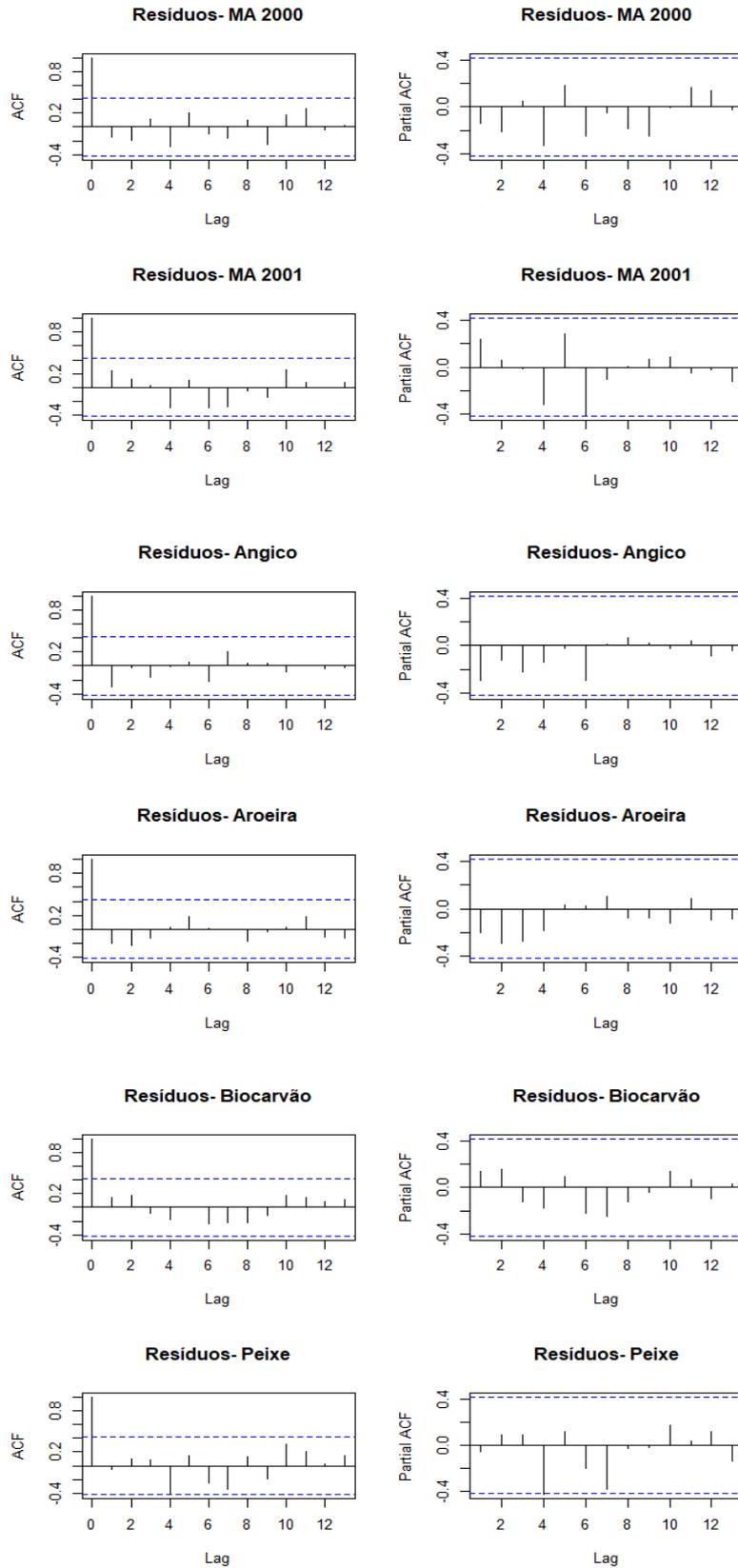
Tabela 24 - Modelos ARIMA e os respectivos critérios de informação de AIC e BIC para os espaçamentos.

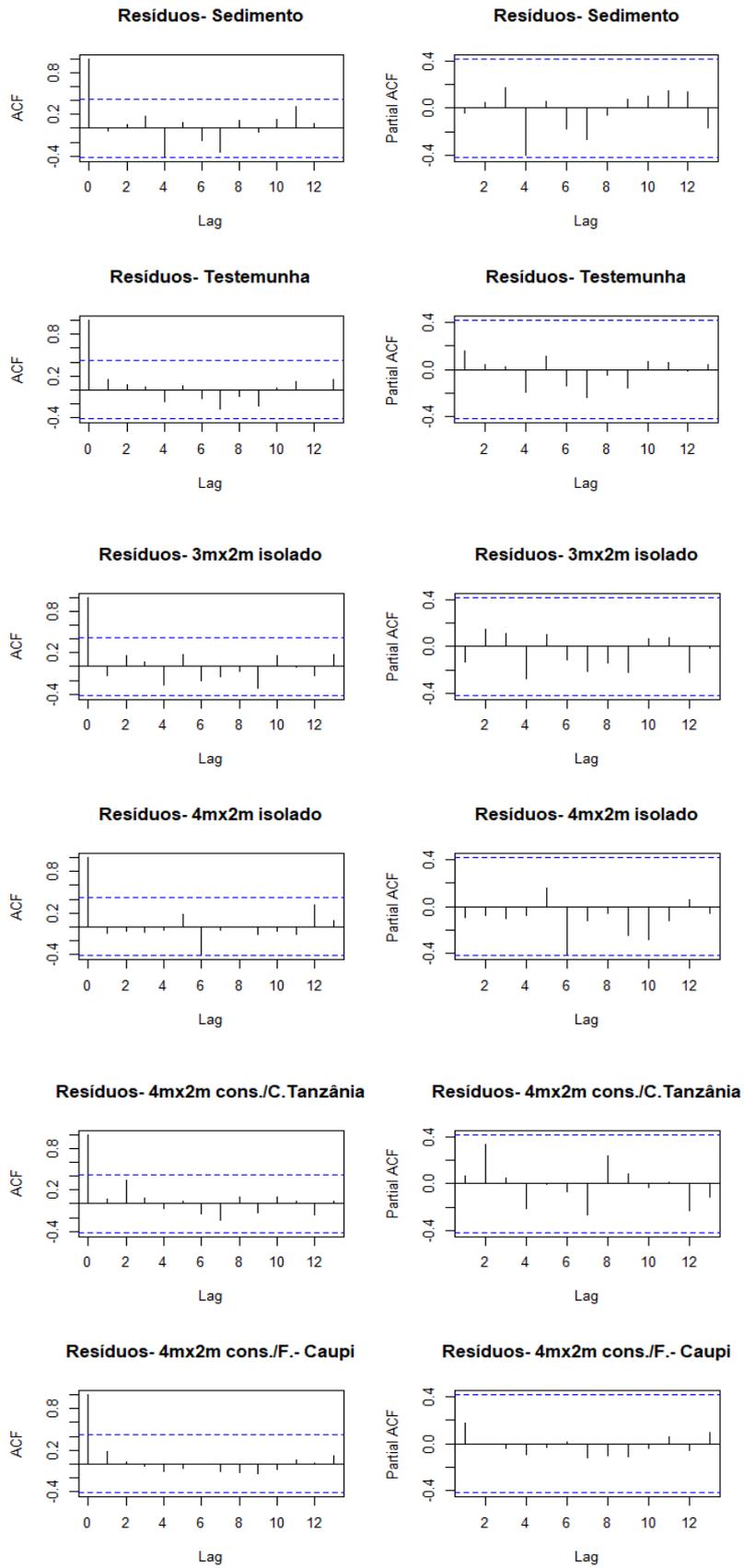
Modelos	Espaçamentos	Critério de AIC	Critério de BIC
ARIMA (0,1,0)	3mx2m isolado	4,57	5,57
ARIMA (0,1,0)	4mx2m isolado	7,95	8,94
ARIMA (0,1,0)	4mx2m cons./C. Tanzânia	18,71	19,70
ARIMA (0,1,0)	4mx2m cons./F.- Caupi	25,89	26,88

Fonte: Autoria própria (2023)

Conforme ilustrado nos gráficos ACF e PACF, nenhum dos espaçamentos apresentaram termos AR e MA, desta forma, o modelo ajustado foi ARIMA (0,1,0).

Figura 18 - Gráficos de ACF e PACF dos resíduos das espécies arbóreas, espaçamentos e adubações, referente aos modelos ARIMA.



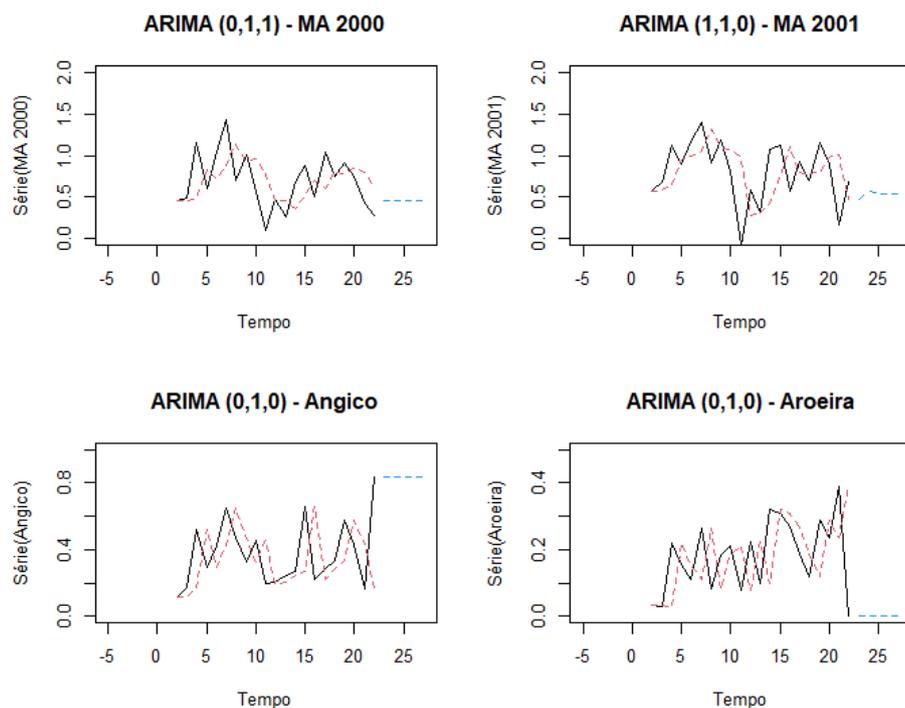


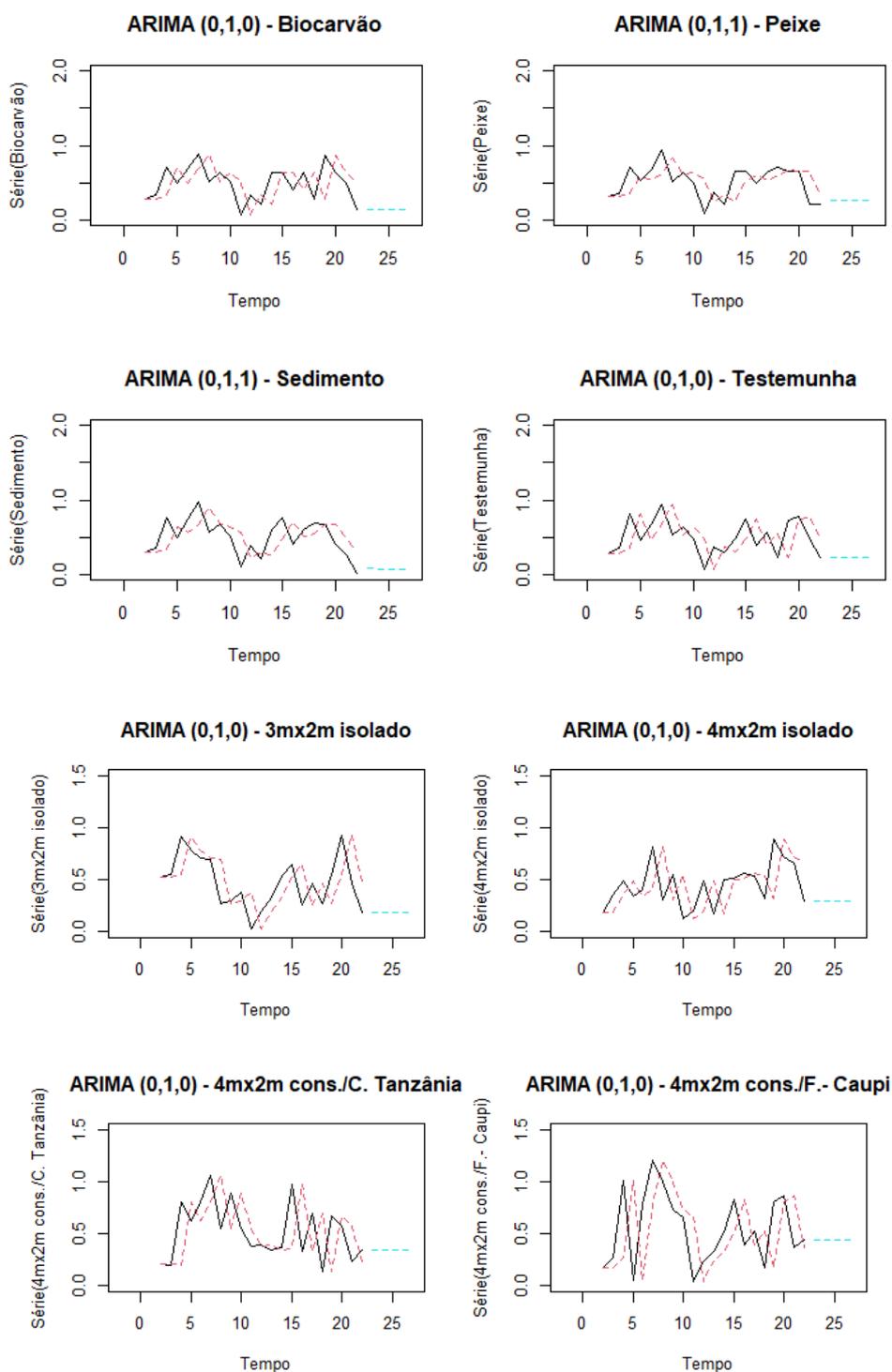
Fonte: Autoria própria (2023)

Ao examinar os gráficos da função de autocorrelação dos resíduos (ACF) e da função de autocorrelação parcial dos resíduos (correspondem aos gráficos com o eixo y denominado Partial ACF) das séries temporais diferenciadas, é claramente observado a reação eventual dos resíduos, em outras palavras, não há evidência de um padrão particular, deste modo, constatando que os modelos são adequados.

Portanto, foram realizados ajustes dos modelos ARIMA para as séries temporais das espécies arbóreas, espaçamentos e adubações. Procedeu-se com as previsões para cada série, considerando um horizonte de 5 passos à frente. Na figura 19, são apresentadas as séries temporais diferenciadas, as séries ajustadas e os valores projetados.

Figura 19 - Ajuste dos modelos ARIMA das séries temporais para as espécies arbóreas, espaçamentos e adubações. A linha em preto representa a séries temporais diferenciadas, a linha tracejada em vermelho indica a série ajustada, e a linha tracejada em verde claro.





Fonte: Autoria própria (2023)

Ao analisar visualmente os gráficos das séries temporais das equações dos modelos ARIMA, é perceptível que as séries ajustadas estão se adequando às séries diferenciadas. Mas, o ajuste se deve ao desempenho da incorporação do componente de integração ($d = 1$) no modelo ARIMA, que propiciou a estacionariedade das séries. Desta maneira, essa metodologia

possibilita que as equações do modelo de previsão possam fornecer resultados mais precisos e confiáveis.

Entretanto, conforme evidenciado pelo estudo conduzido por Silva (2008), o qual empregou séries temporais e modelos ARIMA, em uma série não estacionária, para analisar o crescimento em altura (m) de *Leucena (Leucaena leucocephala (Lam.) de Wit)* ao decorrer do tempo, verificou-se que, apesar das equações dos modelos ARIMA apresentarem precisões satisfatórias, ao relacionar com as equações derivadas de modelos convencionais, empregados em pesquisas sobre o crescimento florestal, não evidenciou melhorias significativas. O autor sugere que a aplicação de séries temporais, em estudos de crescimento em altura, seja restrita a situações em que a série seja estacionária, posto que, mesmo após a eliminação da tendência, as equações obtidas dos modelos ARIMA não revelaram vantagem em relação aos métodos convencionais.

A maior parte dos estudos presentes na literatura emprega séries temporais de imagens provenientes de sensores remotos, visando compreender a dinâmica de parâmetros fisiológicos em plantações florestais, esta abordagem é crucial para desvendar as inter-relações entre produtividade, características genéticas e o ambiente físico. Conforme evidenciado no estudo conduzido por Brolo *et al.* (2020), foram empregadas séries temporais de imagens de sensoriamento remoto com o propósito de detectar e retratar padrões comportamentais em distintos sistemas de integração lavoura-pecuária. Maire *et al.* (2011), utilizaram séries temporais no sensoriamento remoto com a finalidade de monitorar os estoques de carbono florestal, as séries temporais estão em escala de suporte NDVI os dados foram obtidos em MODIS de satélite. Assim, são escassos na literatura os estudos que empregam séries temporais para investigar o crescimento em altura de espécies arbóreas com dados provenientes de mensurações realizadas ao longo do tempo.

5.4 COMPARAÇÃO DOS MÉTODOS ESTATÍSTICOS

Ao examinar os métodos estatísticos empregados neste estudo, observou-se que o modelo multivariado com medidas repetidas ao longo do tempo, revelou-se mais apropriado para avaliar o crescimento em altura das espécies arbóreas, e sem infringir quaisquer pressupostos.

Nas situações em que os fatores demonstraram interações estatisticamente significativas, procedeu-se ao desdobramento dos graus de liberdade, esta abordagem permitiu a observação do efeito de um fator dentro de cada nível do outro fator. Quando esse efeito se

mostrou significativo, realizou-se o teste de comparação múltipla de médias de Tukey, esta metodologia viabilizou a identificação do nível específico em que determinado fator exerce uma influência mais significativa. Portanto, este modelo, devido à sua capacidade de analisar minuciosamente os efeitos individuais de cada fator e a interação entre eles, mostrou-se adequado para proporcionar uma compreensão mais aprofundada do fenômeno em estudo.

O método de parcelas subdivididas no tempo é notavelmente similar ao método multivariado. A principal distinção entre ambos reside no fato de que, no modelo multivariado, a variável tempo é tratada como uma covariável, enquanto nas parcelas subdivididas, o tempo é considerado um fator. Ambos os métodos seguem a mesma metodologia de aplicação. Contudo, o modelo por parcelas subdivididas no tempo violou o teste de esfericidade de Mauchly, o qual avalia a homogeneidade das covariâncias das variáveis dependentes em diferentes grupos.

Viera (2016) destaca que os pressupostos estatísticos têm o propósito de facilitar a interpretação dos resultados e avaliar a significância das hipóteses formuladas a priori, e verificar essas pressuposições antes de qualquer análise experimental aprimora a qualidade dos resultados.

A análise de variância realizada com dados não confiáveis é comum, porém, o problema fundamental reside na falta de adaptação ao modelo matemático, exigindo uma verificação cuidadosa, falhar nesse aspecto resulta em uma análise meramente matemática, sem relevância decisiva, configurando-se como um erro. De acordo com Voci *et al.* (2009), a violação desses pressupostos pode resultar na manifestação de outros equívocos de natureza imprevisível.

Nesse contexto, os testes de homogeneidade desempenham uma função crucial na análise estatística, uma vez que avaliam o pressuposto de igualdade das variâncias entre os grupos. A homogeneidade das variâncias impacta a seleção dos métodos estatísticos adequados, elevando a confiabilidade dos resultados e, por conseguinte, fortalecendo a credibilidade das conclusões obtidas (Zhou; Zhu; Wong, 2023). Na prática, contudo, estas pressuposições nem sempre são plenamente atendidas, portanto, é imprudente realizar uma análise de variância sem previamente verificar cada uma delas (Rodrigues, 2015).

Apesar do reconhecimento desta violação, o método foi empregado com o propósito de comparação com os demais métodos utilizados, especialmente com o modelo multivariado, a fim de verificar se ambos produziram resultados similares. Além disto, pretendeu-se destacar a importância de os métodos atenderem aos pressupostos e como a falta desse atendimento pode impactar nos resultados. Após a implementação do modelo, observou-se que parte dos resultados se assemelhou ao modelo multivariado, entretanto, no modelo por parcelas

subdivididas as adubações evidenciaram efeitos significativos em alguns tempos, já no modelo multivariado as adubações não demonstraram diferença estatística. Para identificar as diferenças entre as adubações, foi empregue o teste de Tukey.

Ao examinar o Apêndice 12 do teste de Tukey, constatou-se que na maioria dos resultados ao longo do tempo, as adubações não exibiram diferenças estatisticamente significativas. A partir do T12 as adubações começaram a se diferenciarem entre si, entretanto, adubação com biocarvão, em praticamente todos os períodos, não se distinguia da testemunha, destacando-se ainda por apresentar a menor média. Em determinados períodos, sedimentos do reservatório e os resíduos dos tanques de pisciculturas exibiram médias estatisticamente similaridades, diferenciando-se das demais adubações.

Contudo, no último período (T22), as fontes de nutriente sedimentos do reservatório, resíduos dos tanques de piscicultura e testemunha apresentaram alturas médias semelhantes entre si, apresentando-se como as três alturas médias mais elevadas, nesta respectiva ordem, e se diferenciando do biocarvão. Os valores das alturas médias das adubações e da testemunha são bastante próximos entre si, especialmente do T20 até o T22. No entanto, devido à violação do teste de esfericidade, os resultados podem estar sujeitos a imprecisões e falta de confiabilidade.

As séries temporais originais, ao serem examinadas graficamente, viabilizaram a observação dos padrões de crescimento em altura média das espécies arbóreas ao longo do tempo. Adicionalmente, permitiram a análise do impacto das adubações e espaçamentos no crescimento em altura média ao longo do período de estudo. Ao examinar os gráficos das séries temporais, é possível identificar os períodos nos quais os fatores demonstraram maior crescimento, avaliar se estão apresentando um desenvolvimento satisfatório e verificar a proximidade dos crescimentos entre os diferentes fatores.

Assim como nos modelos multivariado e de parcelas subdivididas, nas séries temporais, os clones de eucalipto demonstraram os melhores crescimentos em altura média. No gráfico, a diferença no crescimento entre os clones e as espécies nativas foi claramente evidenciada, com o clone MA 2001 apresentando os resultados mais destacados, o que se alinha com seu desempenho superior nos demais modelos analisados. Nos espaçamentos, assim como ocorreu nos outros modelos, o espaçamento 3 m × 2 m isolado demonstrou, até o tempo T7, as maiores alturas médias em comparação com os demais.

O espaçamento 4 m × 2 m isolado apresentou, em praticamente todos os períodos, as menores alturas médias. Entretanto, os espaçamentos 4 m × 2 m consorciados com Capim Tanzânia e Feijão-Caupi foram os que mais se destacaram, exibindo alturas médias mais

elevadas. Um ponto relevante a ser enfatizado é que, nos períodos T14 e T19 do gráfico das séries temporais, os espaçamentos consorciados parecem ter alturas médias bastante próximas. Contudo, no teste de Tukey do modelo multivariado, nestes períodos, o espaçamento 4 m × 2 m consorciado com Capim Tanzânia difere significativamente do 4 m × 2 m consorciado com Feijão-Caupi. Além disso, nos períodos T21 e T22, os espaçamentos apresentam médias bastante próximas, e de acordo com o teste de Tukey, nestes tempos, os espaçamentos exibem médias semelhantes entre si.

Nas séries temporais das adubações, observa-se que a adubação com sedimentos do reservatório apresentou, ao longo de vários períodos, uma altura média ligeiramente superior as demais. No T18, sedimentos do reservatório e resíduos dos tanques de piscicultura exibem praticamente as mesmas médias, sendo um pouco superiores as demais. As alturas médias das adubações com biocarvão e da testemunha são bastante próximas entre si, chegando a parecer iguais em alguns períodos.

No T22, a adubação com resíduos dos tanques de piscicultura, mostra-se ligeiramente superior em relação às outras, ao mesmo tempo, as adubações com sedimentos do reservatório, biocarvão e a testemunha aparentam ter médias praticamente equivalentes. No modelo multivariado, as adubações não manifestaram efeitos significativos, em contrapartida, no modelo de parcelas subdivididas, as adubações com sedimentos do reservatório e resíduos dos tanques de piscicultura divergiram das demais nos tempos T18, T19 e T20.

Nos tempos T21 e T22, essas adubações novamente apresentaram similaridade com a testemunha. É importante destacar que o modelo por parcelas subdivididas violou um pressuposto, o que pode comprometer a precisão dos resultados. A análise gráfica das séries temporais não viabiliza um estudo minucioso e detalhado de cada fator, ao contrário do que ocorre nos outros modelos. Ademais, após a seleção e ajuste dos modelos ARIMA, constatou-se que as equações desses modelos não se mostram superiores aos modelos convencionais utilizados para avaliar o crescimento florestal, este resultado é especialmente evidente devido à natureza não estacionária das séries, conforme mencionado por Silva (2008).

Com base nos pontos ressaltados, torna-se evidente que o modelo multivariado proporciona uma análise mais detalhada em comparação à abordagem visual das séries temporais e ao modelo parcelas subdivididas. É importante salientar que o modelo atendeu a todos os pressupostos.

6 CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos, podemos concluir que o modelo mais apropriado para a avaliação do sistema agroflorestal foi o modelo multivariado com medidas repetidas ao longo do tempo. Este modelo permitiu uma análise abrangente e detalhada do sistema, levando em consideração a variação temporal das variáveis estudadas.

Além disso, constatou-se que as fontes de nutrientes, incluindo sedimentos do reservatório de Itaparica, resíduos dos tanques de piscicultura, biocarvão e a testemunha, não apresentaram diferenças significativas no tempo final. Isto indica que, ao longo do período de observação, essas fontes de nutrientes tiveram um impacto similar no crescimento das plantas ou que outros fatores podem ter influenciado de forma semelhante o desempenho do sistema agroflorestal. Esta constatação é importante para a compreensão global do sistema e pode orientar decisões futuras relacionadas ao manejo e fertilização do sistema agroflorestal em questão.

Os espaçamentos 4 m × 2 m consorciados com Capim Tanzânia e Feijão-Caupi demonstraram os resultados mais promissores, sendo, portanto, as opções mais favoráveis de espaçamento. Esta constatação sugere que essas combinações específicas oferecem condições mais propícias para o crescimento e desenvolvimento das plantas.

Os clones MA 2000 e MA 2001 se destacaram como as espécies arbóreas com maior crescimento em altura, no entanto, o clone MA 2001 sobressaiu, evidenciando as alturas médias mais elevadas em relação às outras espécies durante a maior parte dos períodos analisados.

Assim, o clone MA 2001 se configura como uma opção altamente promissora para o cultivo na região, apresentando um crescimento acelerado e demonstrando ser adequado para atender às demandas energéticas locais, contribuindo para combater a exploração ilegal da vegetação nativa.

Os resultados destacam a relevância da escolha de espécies de crescimento acelerado para atender as necessidades energéticas, especialmente em regiões semiáridas, onde a exploração ilegal de madeira de espécies nativas é uma preocupação. Além disto, esta abordagem oferece oportunidades para diversificar as fontes de renda dos agricultores da região semiárida, diminuindo a dependência exclusiva da agricultura convencional, uma vez que a madeira de eucalipto possui valor significativo e é empregada em diversos setores.

APÊNDICE

Apêndice 1: Resultado do teste de Tukey para as espécies dentro de cada nível de espaçamentos (modelo MANOVA).

Espécies / Espaçamentos		Espécies / Espaçamentos	
Espécies	AM	Espécies	AM
MA2001 / 3m×2m isolado	11,57 a	MA2001 / 4m×2m isolado	8,87 a
MA2000 / 3m×2m isolado	7,87 b	MA2000 / 4m×2m isolado	7,38 b
Angico / 3m×2m isolado	4,74 c	Angico / 4m×2m isolado	3,46 c
Aroeira / 3m×2m isolado	3,16 d	Aroeira / 4m×2m isolado	2,35 d
Espécies / Espaçamentos		Espécies / Espaçamentos	
Espécies	AM	Espécies	AM
MA2001 / 4m×2m cons. C. Tanzânia	11,32 a	MA2001 / 4m×2m cons. Feijão-Caupi	10,89 a
MA2000 / 4m×2m cons. C. Tanzânia	10,28 b	MA2000 / 4m×2m cons. Feijão-Caupi	9,49 b
Angico / 4m×2m cons. C. Tanzânia	5,53 c	Angico / 4m×2m cons. Feijão-Caupi	4,87 c
Aroeira / 4m×2m cons. C. Tanzânia	2,19 d	Aroeira / 4m×2m cons. Feijão-Caupi	2,89 d

. Em que: cons. C.= consórcio com Capim; cons.= consórcio; AM = altura média; médias seguidas com a mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância.

Fonte: Autoria própria (2023)

Apêndice 2: Resultado do teste de Tukey para os espaçamentos dentro de cada nível de espécies (modelo MANOVA).

Espaçamentos / Espécies		Espaçamentos / Espécies	
Espaçamentos	AM	Espaçamentos	AM
4m×2m cons. C. Tanzânia / Angico	5,53 a	3m×2m isolado / Aroeira	3,16 a
4m×2m cons. Feijão-Caupi / Angico	4,87 ab	4m×2m cons. Feijão-Caupi / Aroeira	2,89 ab
3m×2m isolado / Angico	4,74 b	4m×2m isolado / Aroeira	2,35 bc
4m×2m isolado / Angico	3,46 c	4m×2m cons. C. Tanzânia / Aroeira	2,19 c
Espaçamentos / Espécies		Espaçamentos / Espécies	
Espaçamentos	AM	Espaçamentos	AM
4m×2m cons. C. Tanzânia / MA 2000	10,28 a	3m×2m isolado / MA 2001	11,57 a
4m×2m cons. Feijão-Caupi / MA 2000	9,49 ab	4m×2m cons. C. Tanzânia / MA 2001	11,32 a
3m×2m isolado / MA 2000	7,87 b	4m×2m cons. Feijão-Caupi / MA 2001	10,89 a
4m×2m isolado / MA 2000	7,38 c	4m×2m isolado / MA 2001	7,38 b

Em que: cons. C.= consorciado com Capim; cons.= consorciado; AM = altura média; médias seguidas com a mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância.

Fonte: Autoria própria (2023)

Apêndice 3: Resultado do teste de Tukey, ao nível de significância de 5%, em relação aos crescimentos em altura média (m) das espécies arbóreas ao longo do tempo (modelo MANOVA).

T1 (0)		T2 (3mese)		T3 (6 meses)		T4 (9 meses)	
Espécies	AM	Espécies	AM	Espécies	AM	Espécies	AM
Aroeira	0,72 a	MA 2001	0,94 a	MA 2001	1,62 a	MA 2001	2,74 a
Angico	0,43 b	MA 2000	0,81 a	MA 2000	1,39 ab	MA 2000	2,46 a
MA 2000	0,36 c	Aroeira	0,76 b	ANGICO	0,78 b	Angico	1,23 b
MA 2001	0,35 c	Angico	0,54 b	AROEIRA	0,71 b	Aroeira	1,06 b
T5 (12 meses)		T6 (15 meses)		T7 (18 meses)		T8 (24 meses)	
Espécies	AM	Espécies	AM	Espécies	AM	Espécies	AM
MA 2001	3,64 a	MA 2001	4,82 a	MA 2001	6,23 a	MA 2001	7,13 a
MA 2000	3,06 a	MA 2000	4,11 b	MA 2000	5,53 b	MA 2000	6,24 b
Angico	1,53 b	Angico	1,95 c	Angico	2,60 c	Angico	3,08 c
Aroeira	1,16 b	Aroeira	1,27 d	Aroeira	1,54 d	Aroeira	1,62 d
T9 (30 meses)		T10 (36 meses)		T11 (42 meses)		T12 (48 meses)	
Espécies	AM	Espécies	AM	Espécies	AM	Espécies	AM
MA 2001	8,32 a	MA 2001	9,05 a	MA 2001	9,14 a	MA 2001	9,64 a
MA 2000	7,24 b	MA 2000	7,82 b	MA 2000	7,92 b	MA 2000	8,40 b
Angico	3,40 c	Angico	3,86 c	Angico	4,06 c	Angico	4,26 c
Aroeira	1,89 d	Aroeira	2,01 d	Aroeira	2,09 d	Aroeira	2,31 d
T13 (54 meses)		T14 (60 meses)		T15 (66 meses)		T16 (72 meses)	
Espécies	AM	Espécies	AM	Espécies	AM	Espécies	AM
MA 2001	9,95 a	MA 2001	11,02 a	MA 2001	12,14 a	MA 2001	12,70 a
MA 2000	8,66 b	MA 2000	9,35 b	MA 2000	10,23 b	MA 2000	10,73 b
Angico	4,51 c	Angico	4,78 c	Angico	5,43 c	Angico	5,65 c
Aroeira	2,41 d	Aroeira	2,73 d	Aroeira	3,04 d	Aroeira	3,31 d
T17 (78 meses)		T18 (84 meses)		T19 (90 meses)		T20 (96 meses)	
Espécies	AM	Espécies	AM	Espécies	AM	Espécies	AM
MA 2001	13,63 a	MA 2001	14,33 a	MA 2001	15,48 a	MA 2001	16,55 a
MA 2000	11,78 b	MA 2000	12,53 b	MA 2000	13,45 b	MA 2000	14,19 b
Angico	5,93 c	Angico	6,26 c	Angico	6,84 c	Angico	7,27 c
Aroeira	3,49 d	Aroeira	3,61 d	Aroeira	3,90 d	Aroeira	4,14 d
T21 (102 meses)		T22 (114 meses)					
Espécies	AM	Espécies	AM				
MA 2001	16,38 a	MA 2001	17,25 a				
MA 2000	14,63 b	MA 2000	14,90 b				
Angico	7,43 c	Angico	8,27 c				
Aroeira	4,52 d	Aroeira	4,84 d				

Em que: T = Tempo; AM = altura média; as médias seguidas com a mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância.

Fonte: Autoria própria (2023)

Apêndice 4: Resultado do teste de Tukey para o efeito simples dos espaçamentos, ao nível de significância de 5%, em relação aos crescimentos em altura média (m) ao longo do tempo (modelo MANOVA).

T1 (0)	T2 (3meses)	T3 (6 meses)	T4 (9 meses)
--------	-------------	--------------	--------------

Esp.	AM	Esp.	AM	Esp.	AM	Esp.	AM
3	0,59 a	3	1,18 a	3	1,77 a	3	2,70 a
4	0,49 a	4	0,70 ab	4	1,05 b	1	1,58 b
1	0,42 a	1	0,60 b	1	0,83 b	4	1,56 b
2	0,37 a	2	0,55 b	2	0,76 b	2	1,55 b
T5 (12 meses)		T6 (15 meses)		T7 (18 meses)		T8 (24 meses)	
Esp.	AM	Esp.	AM	Esp.	AM	Esp.	AM
3	3,45 a	3	4,17 a	3	4,89 a	3	5,15 a
1	2,15 b	1	2,99 b	1	4,04 b	2	4,81 ab
2	1,90 b	2	2,69 b	2	3,92 b	1	34,63 b
4	1,87 b	4	2,29 c	4	3,02 c	4	3,39 c
T9 (30 meses)		T10 (36 meses)		T11 (42 meses)		T12 (48 meses)	
Esp.	AM	Esp.	AM	Esp.	AM	Esp.	AM
1	5,56 a	2	6,22 a	1	6,45 a	1	6,89 a
2	5,55 a	1	6,13 ab	2	6,26 a	2	6,54 a
3	5,44 a	3	5,82 b	3	5,86 b	3	6,10 b
4	3,97 b	4	4,33 c	4	4,23 c	4	4,75 c
T13 (54 meses)		T14 (60 meses)		T15 (66 meses)		T16 (72 meses)	
Esp.	AM	Esp.	AM	Esp.	AM	Esp.	AM
1	7,30 a	1	7,80 a	1	8,81 a	1	9,19 a
2	6,78 b	2	7,39 b	2	8,21 b	2	8,56 b
3	6,33 c	3	6,85 c	3	7,47 c	3	7,76 c
4	4,79 d	4	5,47 d	4	5,83 d	4	6,53 d
T17 (78 meses)		T18 (84 meses)		T19 (90 meses)		T20 (96 meses)	
Esp.	AM	Esp.	AM	Esp.	AM	Esp.	AM
1	9,89 a	1	10,35 a	1	10,93 a	1	11,47 a
2	9,07 b	2	9,47 b	2	10,27 b	2	10,98 a
3	8,26 c	3	8,75 c	3	9,45 c	3	10,10 b
4	7,26 d	4	7,81 d	4	8,68 d	4	9,22 c
T21 (102 meses)		T22 (114 meses)					
Esp.	AM	Esp.	AM				
1	11,53 a	2	11,67 a				
2	11,38 a	1	11,53 a				
3	10,69 b	3	10,56 b				
4	9,84 c	4	9,86 c				

Em que: 1 = Consórcio com Capim Tanzânia 4m×2m; 2 = Consórcio com Feijão-Caupi 4m×2m; 3 = 3m×2m isolado; 4 = 4m×2m isolado; AM = altura média; Esp. = Espaçamentos; T = Tempo; as médias seguidas com a mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância.

Fonte: Autoria própria (2023)

Apêndice 5: Resultado do teste de Tukey, ao nível de significância de 5%, em relação ao crescimento em altura média (m) do desdobramento do tempo dentro de cada nível dos espaçamentos (modelo Parcelas subdivididas).

T / 3 m x 2 m		T / 4 m x 2 m		T / 4 m x 2 m Capim		T / 4 m x 2 m Feijão	
Tempo	AM	Tempo	AM	Tempo	AM	Tempo	AM

T22	10,69 a	T22	10,18 a	T22	11,54 a	T22	11,67 a
T21	10,55 ab	T21	9,84 a	T21	11,53 a	T21	11,38 ab
T20	10,10 b	T20	9,22 b	T20	11,46 ab	T20	10,98 b
T19	9,44 c	T19	8,68 b	T19	10,93 b	T19	10,26 c
T18	8,75 d	T18	7,81 c	T18	10,33 c	T18	9,50 d
T17	8,26 de	T17	7,26 c	T17	9,89 c	T17	9,07 de
T16	7,76 e	T16	6,53 d	T16	9,19 d	T16	8,56 ef
T15	7,47 f	T15	5,83 e	T15	8,81 d	T15	8,21 f
T14	6,85 fg	T14	5,47 e	T14	7,80 e	T14	7,39 g
T13	6,33 g	T13	4,79 f	T13	7,30 ef	T13	6,78 h
T12	6,10 gh	T12	4,75 f	T12	6,89 fg	T12	6,54 hi
T11	5,86 gh	T11	4,33 fg	T11	6,45gh	T11	6,26 hi
T10	5,82 hi	T10	4,23 fg	T10	6,13 h	T10	6,22 i
T9	5,44 i	T9	3,97 gh	T9	5,56 i	T9	5,55 j
T8	5,15 i	T8	3,39 hi	T8	4,63 j	T8	4,81 k
T7	4,89 j	T7	3,02 i	T7	4,09 j	T7	3,88 l
T6	4,17j	T6	2,29 j	T6	2,99 k	T6	2,69 m
T5	3,86 k	T5	2,09 j	T5	2,15 l	T5	1,90 n
T4	3,06 l	T4	1,76 j	T4	1,80 l	T4	1,85 n
T3	1,90 m	T3	1,13 k	T3	0,91 m	T3	0,86 o
T2	1,20 n	T2	0,73 k	T2	0,65 m	T2	0,60 o
T1	0,60 o	T1	0,51 k	T1	0,43 m	T1	0,38 o

Em que: T = Tempo; AM = altura média; as médias seguidas com a mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância.

Fonte: Autoria própria (2023)

Apêndice 6: Resultado do teste de Tukey, ao nível de significância de 5%, em relação aos crescimentos em altura média (m), para o desdobramento dos espaçamentos dentro de cada nível do tempo (modelo Parcelas subdivididas).

Esp. / T1 (0)		Esp. / T2 (3 meses)		Esp. / T3 (6 meses)		Esp. / T4 (9 meses)	
Esp.	AM	Esp.	AM	Esp.	AM	Esp.	AM
3	0,59 a	3	1,18 a	3	1,77 a	3	2,70 a
4	0,49 a	4	0,70 ab	4	1,05 b	1	1,58 b

1	0,42 a	1	0,60 b	1	0,83 b	4	1,56 b
2	0,37 a	2	0,55 b	2	0,76 b	2	1,55 b
Esp. / T5 (12 meses)		Esp. / T6 (15 meses)		Esp. / T7 (18 meses)		Esp. / T8 (24 meses)	
Esp.	AM	Esp.	AM	Esp.	AM	Esp.	AM
3	3,45 a	3	4,17 a	3	4,89 a	3	5,15 a
1	2,15 b	1	2,99 b	1	4,04 b	2	4,81 ab
2	1,90 b	2	2,69 b	2	3,92 b	1	34,63 b
4	1,87 b	4	2,29 c	4	3,02 c	4	3,39 c
Esp. / T9 (30 meses)		Esp. / T10 (36 meses)		Esp. / T11 (42 meses)		Esp. / T12 (48 meses)	
Esp.	AM	Esp.	AM	Esp.	AM	Esp.	AM
1	5,56 a	2	6,22 a	1	6,45 a	1	6,89 a
2	5,55 a	1	6,13 ab	2	6,26 a	2	6,54 a
3	5,44 a	3	5,82 b	3	5,86 b	3	6,10 b
4	3,97 b	4	4,33 c	4	4,23 c	4	4,75 c
Esp. / T13 (54 meses)		Esp. / T14 (60 meses)		Esp. / T15 (66 meses)		Esp. / T16 (72 meses)	
Esp.	AM	Esp.	AM	Esp.	AM	Esp.	AM
1	7,30 a	1	7,80 a	1	8,81 a	1	9,19 a
2	6,78 b	2	7,39 b	2	8,21 b	2	8,56 b
3	6,33 c	3	6,85 c	3	7,47 c	3	7,76 c
4	4,79 d	4	5,47 d	4	5,83 d	4	6,53 d
Esp. / T17 (78 meses)		Esp. / T18 (84 meses)		Esp. / T19 (90 meses)		Esp. / T20 (96 meses)	
Esp.	AM	Esp.	AM	Esp.	AM	Esp.	AM
1	9,89 a	1	10,35 a	1	10,93 a	1	11,47 a
2	9,07 b	2	9,47 b	2	10,27 b	2	10,98 b
3	8,26 c	3	8,75 c	3	9,45 c	3	10,10 c
4	7,26 d	4	7,81 d	4	8,68 d	4	9,22 d
Esp. / T21 (102 meses)		Esp. / T22 (114)					
Esp.	AM	Esp.	AM				
1	11,53 a	2	11,67 a				
2	11,38 a	1	11,53 a				
3	10,69 b	3	10,56 b				
4	9,84 c	4	9,86 c				

Em que: 1 = 4m×2m consórcio com Capim Tanzânia; 2 = 4m×2m consórcio com Feijão-Caupi; 3 = 3m×2m isolado; 4 = 4m×2m isolado; AM = altura média; Esp. = Espaçamentos; T = Tempo; as médias seguidas com a mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância.

Fonte: Autoria própria (2023)

Apêndice 7: Resultado do teste de Tukey, ao nível de significância de 5%, em relação ao crescimento em altura média (m) do desdobramento do tempo dentro de cada nível das espécies arbóreas (modelo Parcelas subdivididas).

T /Angico		T /Aroeira		T/ MA 2000		T / MA 2001	
Tempo	AM	Tempo	AM	Tempo	AM	Tempo	AM
T22	8,27 a	T22	4,84 a	T22	14,90 a	T22	17,25 a
T21	7,43 ab	T21	4,53 ab	T21	14,62 a	T21	16,56 a
T20	7,27 abcd	T20	4,14 abc	T20	14,19 ab	T20	16,38 ab
T19	6,84 bcd	T19	3,90 abcd	T19	13,45 bc	T19	15,48 b

T18	6,26 cde	T18	3,61 bcde	T18	12,53 cd	T18	14,33 c
T17	5,93 de	T17	3,49 cde	T17	11,77 d	T17	13,63 cd
T16	5,65 ef	T16	3,30 cdef	T16	10,73 e	T16	12,70 de
T15	5,43 efg	T15	3,04 defg	T15	10,22 ef	T15	12,14 e
T14	4,77 fgh	T14	2,72 efgh	T14	9,35 fg	T14	11,02 f
T13	4,50 gh	T13	2,40 fghi	T13	8,66 gh	T13	9,95 g
T12	4,26 hi	T12	2,31 fghi	T12	8,39 gh	T12	9,63 g
T11	4,06 hij	T11	2,08 ghij	T11	7,92 hi	T11	9,13 gh
T10	3,86 hij	T10	2,01 hij	T10	7,91 hi	T10	9,05 gh
T9	3,40 ijk	T9	1,79 hijk	T9	7,24 ij	T9	8,31 h
T8	3,08 jk	T8	1,62 ijkl	T8	6,23 jk	T8	7,13 i
T7	2,60 kl	T7	1,54 ijkl	T7	5,53 k	T7	6,23 i
T6	1,95 lm	T6	1,27 jkl	T6	4,11 l	T6	4,82 j
T5	1,53 mn	T5	1,16 jkl	T5	3,06 lm	T5	3,64 k
T4	1,23 mno	T4	1,06 jkl	T4	2,46 m	T4	2,74 k
T3	0,78 no	T3	0,71 kl	T3	1,39 n	T3	1,62 l
T2	0,54 no	T2	0,76 l	T2	0,81 no	T2	0,94 lm
T1	0,43 o	T1	0,72 l	T1	0,36 o	T1	0,35 m

Em que: T = Tempo; AM = altura média; as médias seguidas com a mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância.

Fonte: Autoria própria (2023)

Apêndice 8: Resultado do teste de Tukey, ao nível de significância de 5%, em relação ao crescimento em altura média (m) das espécies arbóreas dentro de cada nível do tempo (modelo Parcelas subdivididas).

Espécies / T1 (0)		Espécies / T2 (3 meses)		Espécies / T3 (6 meses)		Espécies / T4 (9 meses)	
Espécies	AM	Espécies	AM	Espécies	AM	Espécies	AM
Aroeira	0,72 a	MA 2001	0,94 a	MA 2001	1,62 a	MA 2001	2,74 a
Angico	0,43 b	MA 2000	0,81 a	MA 2000	1,39 ab	MA 2000	2,46 a
MA 2001	0,36 c	Aroeira	0,76 b	Aroeira	0,78 b	Angico	1,23 b
MA 2000	0,35 c	Angico	0,54 b	Angico	0,71 b	Aroeira	1,06 b

Espécies / T5 (12 meses)		Espécies / T6 (15 meses)		Espécies / T7 (18 meses)		Espécies / T8 (24 meses)	
Espécies	AM	Espécies	AM	Espécies	AM	Espécies	AM
MA 2001	3,64 a	MA 2001	4,82 a	MA 2001	6,23 a	MA 2001	7,13 a
MA 2000	3,06 a	MA 2000	4,11 b	MA 2000	5,53 b	MA 2000	6,24 b
Angico	1,53 b	Angico	1,95 c	Angico	2,60 c	Angico	3,08 c
Aroeira	1,16 b	Aroeira	1,27 d	Aroeira	1,54 d	Aroeira	1,62 d
Espécies / T9 (30 meses)		Espécies / T10 (36 meses)		Espécies / T11 (42 meses)		Espécies / T12 (48 meses)	
Espécies	AM	Espécies	AM	Espécies	AM	Espécies	AM
MA 2001	8,32 a	MA 2001	9,05 a	MA 2001	9,14 a	MA 2001	9,64 a
MA 2000	7,24 b	MA 2000	7,82 b	MA 2000	7,92 b	MA 2000	8,41 b
Angico	3,40 c	Angico	3,86 c	Angico	4,06 c	Angico	4,35 c
Aroeira	1,89 d	Aroeira	2,01 d	Aroeira	2,09 d	Aroeira	2,31 d
Espécies / T13 (54 meses)		Espécies / T14 (60 meses)		Espécies / T15 (66 meses)		Espécies / T16 (72 meses)	
Espécies	AM	Espécies	AM	Espécies	AM	Espécies	AM
MA 2001	9,95 a	MA 2001	11,02 a	MA 2001	12,14 a	MA 2001	12,70 a
MA 2000	8,66 b	MA 2000	9,35 b	MA 2000	10,23 b	MA 2000	10,73 b
Angico	4,51 c	Angico	4,78 c	Angico	5,43 c	Angico	5,65 c
Aroeira	2,41 d	Aroeira	2,73 d	Aroeira	3,04 d	Aroeira	3,31 d
Espécies / T17 (78 meses)		Espécies / T18 (84 meses)		Espécies / T19 (90 meses)		Espécies / T20 (96 meses)	
Espécies	AM	Espécies	AM	Espécies	AM	Espécies	AM
MA 2001	13,63 a	MA 2001	14,33 a	MA 2001	15,48 a	MA 2001	16,55 a
MA 2000	11,78 b	MA 2000	12,53 b	MA 2000	13,45 b	MA 2000	14,19 b
Angico	5,93 c	Angico	6,26 c	Angico	6,84 c	Angico	7,27 c
Aroeira	3,49 d	Aroeira	3,61 d	Aroeira	3,90 d	Aroeira	4,14 d
Espécies / T21 (102 meses)		Espécies / T22 (114 meses)					
Espécies	AM	Espécies	AM				
MA 2001	16,38 a	MA 2001	17,25 a				
MA 2000	14,63 b	MA 2000	14,90 b				
Angico	7,43 c	Angico	8,27 c				
Aroeira	4,52 d	Aroeira	4,53 d				

Em que: T = Tempo; AM = altura média; as médias seguidas com a mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância.

Fonte: Autoria própria (2023)

Apêndice 9: Resultado do teste de Tukey, ao nível de significância de 5%, em relação ao crescimento em altura média (m) do desdobramento do tempo dentro de cada nível das adubações (modelo Parcelas subdivididas).

T / BIOCARVÃO		T / PEIXE		T / SEDIMENTO		T / TESTEMUNHA	
Tempo	AM	Tempo	AM	Tempo	AM	Tempo	AM

T22	10,87 a	T22	11,28 a	T22	10,94 a	T22	10,92 a
T21	10,73 ab	T21	11,17 a	T21	10,92 a	T21	10,70 ab
T20	10,23 b	T20	10,76 a	T20	10,66 ab	T20	10,22 b
T19	9,60 c	T19	10,11 b	T19	10,25 b	T19	9,45 c
T18	8,73 d	T18	9,46 c	T18	9,58 c	T18	8,72 d
T17	8,45 d	T17	8,75 d	T17	8,89 d	T17	8,50 de
T16	7,81 e	T16	8,12 e	T16	8,28 e	T16	7,94 ef
T15	7,40 e	T15	7,62 e	T15	7,88 e	T15	7,56 f
T14	6,76 f	T14	6,97 f	T14	7,11 f	T14	6,82 g
T13	6,12 g	T13	6,31 g	T13	6,52 g	T13	6,34 gh
T12	5,92 gh	T12	6,10 gh	T12	6,31 gh	T12	6,04 hi
T11	5,58 gh	T11	5,73 h	T11	5,92 h	T11	5,67 ij
T10	5,52 hi	T10	5,64 hi	T10	5,82 hi	T10	5,61 ij
T9	5,01 i	T9	5,15 i	T9	5,31 i	T9	5,12 j
T8	4,37 j	T8	4,51 j	T8	4,63 j	T8	4,49 k
T7	3,86 j	T7	3,99 j	T7	4,07 j	T7	3,95 k
T6	2,97 k	T6	3,05 k	T6	3,10 k	T6	3,01 l
T5	2,27 l	T5	2,39 l	T5	2,36 l	T5	2,35 m
T4	2,04 l	T4	2,11 l	T4	2,12 l	T4	2,20 m
T3	1,16 m	T3	1,21 m	T3	1,22 m	T3	1,21 n
T2	0,76 mn	T2	0,82 mn	T2	0,80 mn	T2	0,80 no
T1	0,48 n	T1	0,47 n	T1	0,48 n	T1	0,46 o

Em que: T = Tempo; AM = altura média; as médias seguidas com a mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância.

Fonte: Autoria própria (2023)

Apêndice 10: Resultado do teste de Tukey, ao nível de significância de 5%, em relação ao crescimento em altura média (m) do desdobramento das adubações dentro de cada nível do tempo (modelo Parcelas subdivididas).

Adub. / T1 (0)		Adub. / T2 (3 meses)		Adub. / T3 (6 meses)		Adub. / T4 (9 meses)	
Adubações	AM	Adubações	AM	Adubações	AM	Adubações	AM
Biocarvão	0,49 a	Peixe	0,82 a	Sedimento	1,22 a	Testemunha	2,20 a
Sedimento	0,48 a	Testemunha	0,80 a	Testemunha	1,21 a	Sedimento	2,12 a
Peixe	0,48 a	Sedimento	0,80 a	Peixe	1,21 a	Peixe	2,11 a
Testemunha	0,47 a	Biocarvão	0,76 a	Biocarvão	1,16 a	Biocarvão	2,04 a
Adub. / T5 (12 meses)		Adub. / T6 (15 meses)		Adub. / T7 (18 meses)		Adub. / T8 (24 meses)	
Adubações	AM	Adubações	AM	Adubações	AM	Adubações	AM
Peixe	2,39 a	Sedimento	3,10 a	Sedimento	4,07 a	Sedimento	4,63 a
Sedimento	2,36 a	Peixe	3,05 a	Peixe	3,99 a	Peixe	4,51 a
Testemunha	2,35 a	Testemunha	3,01 a	Testemunha	3,95 a	Testemunha	4,49 a
Biocarvão	2,27 a	Biocarvão	2,97 a	Biocarvão	3,86 a	Biocarvão	4,37 a
Adub. / T9 (30 meses)		Adub. / T10 (36 meses)		Adub. / T11 (42 meses)		Adub. / T12 (48 meses)	
Adubações	AM	Adubações	AM	Adubações	AM	Adubações	AM
Sedimento	5,31 a	Sedimento	5,82 a	Sedimento	5,92 a	Sedimento	6,31 a
Peixe	5,15 a	Peixe	5,64 a	Peixe	5,73 a	Peixe	6,10 ab
Testemunha	5,12 a	Testemunha	5,61 a	Testemunha	5,67 a	Testemunha	6,04 ab
Biocarvão	5,01 a	Biocarvão	5,52 a	Biocarvão	5,58 a	Biocarvão	5,92 b
Adub. / T13 (54 meses)		Adub. / T14 (60 meses)		Adub. / T15 (66 meses)		Adub. / T16 (72 meses)	
Adubações	AM	Adubações	AM	Adubações	AM	Adubações	AM
Sedimento	6,52 a	Sedimento	7,12 a	Sedimento	7,88 a	Sedimento	8,28 a
Peixe	6,34 ab	Peixe	6,97 a	Peixe	7,62 ab	Peixe	8,12 ab
Testemunha	6,31 ab	Testemunha	6,82 a	Testemunha	7,56 ab	Testemunha	7,94 ab
Biocarvão	6,12 b	Biocarvão	6,76 a	Biocarvão	7,40 b	Biocarvão	7,81 b
Adub. / T17 (78 meses)		Adub. / T18 (84 meses)		Adub. / T19 (90 meses)		Adub. / T20 (96 meses)	
Adubações	AM	Adubações	AM	Adubações	AM	Adubações	AM
Sedimento	8,89 a	Sedimento	9,58 a	Sedimento	10,25 a	Peixe	10,76 a
Peixe	8,75 ab	Peixe	9,46 a	Peixe	10,11 a	Sedimento	10,66 a
Testemunha	8,50 b	Testemunha	8,74 b	Testemunha	9,60 b	Biocarvão	10,23 b
Biocarvão	8,45 b	Biocarvão	8,73 b	Biocarvão	9,45 b	Testemunha	10,22 b
Adub. / T21 (102 meses)		Adub. / T22 (114 meses)					
Adubações	AM	Adubações	AM				
Peixe	11,17 a	Peixe	11,28 a				
Sedimento	10,94 ab	Sedimento	10,92 ab				
Biocarvão	10,73 b	Testemunha	10,92 ab				
Testemunha	10,70 b	Biocarvão	10,87 b				

Em que: T = Tempo; AM = altura média; as médias seguidas com a mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância.

Fonte: Autoria própria (2023)

Apêndice 11: Resultado do teste de Tukey, ao nível de significância de 5%, em relação ao efeito simples das adubações (modelo Parcelas subdivididas).

Adubações	AM
Sedimento	6,59 a
Peixe	6,50 ab
Testemunha	6,33 ab
Biocarvão	6,27 b

Em que: AM = altura média; médias seguidas com a mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância.

Fonte: Autoria própria (2023)

Apêndice 12: Resultado do teste de Tukey, ao nível de significância de 5%, em relação ao desdobramento dos espaçamentos dentro de cada nível das espécies (modelo Parcelas subdivididas).

Espaçamentos / Espécies		Espaçamentos / Espécies	
Espaçamentos	AM	Espaçamentos	AM
1 / ANGICO	5,27 a	3 / AROEIRA	3,08 a
2 / ANGICO	4,63 a	2 / AROEIRA	2,77 ab
3 / ANGICO	4,59 a	4 / AROEIRA	2,37 ab
4 / ANGICO	3,45 b	1 / AROEIRA	2,12 b
Espaçamentos / Espécies		Espaçamentos / Espécies	
Espaçamentos	AM	Espaçamentos	AM
1 / MA 2000	9,76 a	3 / MA 2001	11,19 a
2 / MA 2000	8,94 ab	1 / MA 2001	10,76 a
4 / MA 2000	8,59 b	2 / MA 2001	10,35 a
3 / MA 2000	7,63 c	4 / MA 2001	7,10 b

Em que: 1 = Consórcio com Capim Tanzânia 4m×2m; 2 = Consórcio com Feijão-Caupi 4m×2m; 3 = 3m×2m isolado; 4 = 4m×2m isolado; AM = altura média; as médias seguidas com a mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância.

Fonte: Autoria própria (2023)

Apêndice 13: Resultado do teste de Tukey, ao nível de significância de 5%, em relação ao desdobramento das espécies dentro de cada nível dos espaçamentos (modelo Parcelas subdivididas).

Espécies / Espaçamentos		Espécies / Espaçamentos	
Espécies	AM	Espécies	AM
MA 2001 / 3	11,19 a	MA 2000 / 4	8,59 a
MA 2000 / 3	7,63 b	MA 2001 / 4	7,10 b
ANGICO / 3	4,59 c	ANGICO / 4	3,44 c
AROEIRA / 3	3,08 d	AROEIRA / 4	2,37 d
Espécies / Espaçamentos		Espécies / Espaçamentos	
Espécies	AM	Espécies	AM
MA 2001 / 1	10,76 a	MA 2001 / 2	10,35 a
MA 2000 / 1	9,76 b	MA 2000 / 2	8,94 b
ANGICO / 1	5,27 c	ANGICO / 2	4,63 c
AROEIRA / 1	2,12 d	AROEIRA / 2	2,77 d

Em que: 1 = Consórcio com Capim Tanzânia 4m×2m; 2 = Consórcio com Feijão-Caupi 4m×2m; 3 = 3m×2m isolado; 4 = 4m×2m isolado; AM = altura média; as médias seguidas com a mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância.

Fonte: Autoria própria (2023)

Apêndice 14: Resultado do teste de Tukey, ao nível de significância de 5%, do crescimento em altura média (m) em função do fator espaçamentos (modelo Parcelas subdivididas).

Espaçamentos	AM
4m×2m consorciado com Capim Tanzânia	6,42 a
4m×2m consorciado com Feijão-Caupi	6,14 a
3m×2m isolado	6,06 a
4m×2m isolado	4,82 b

Em que: AM = altura média; médias seguidas com a mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância.

Fonte: Autoria própria (2023)

Apêndice 15: Resultado do teste de Tukey, ao nível de significância de 5%, do crescimento em altura média (m) em função do fator espécies (modelo Parcelas subdivididas).

Espaçamentos	AM
MA 2001	9,09 a
MA 2000	8,00 b
Angico	4,14 c
Aroeira	2,39 d

Em que: AM = altura média; médias seguidas com a mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância.

Fonte: Autoria própria (2023)

Apêndice 16: Resultado do teste de Tukey, ao nível de significância de 5%, do crescimento em altura média (m) em função do fator tempo.

Tempo	AM
T22 (114 meses)	11,00 a
T21 (102 meses)	10,88 a
T20 (96 meses)	10,47 a
T19 (90 meses)	9,85 ab
T18 (84 meses)	9,12 bc
T17 (78 meses)	8,65 bcd
T16 (72 meses)	8,04 cde
T15 (66 meses)	7,62 de
T14 (60 meses)	6,92 ef
T13 (54 meses)	6,32 fg
T12 (48 meses)	6,19 fg
T11 (42 meses)	5,73 fgh
T10 (36 meses)	5,65 gh
T9 (30 meses)	5,15 ghi
T8 (24 meses)	4,50 hi
T7 (18 meses)	3,97 ij
T6 (15 meses)	3,04 jk
T5 (12 meses)	2,35 kl
T4 (9 meses)	2,12 kl
T3 (6 meses)	1,20 lm
T2 (3 meses)	0,80 m
T1 (0)	0,48 m

Em que: T = Tempo; AM = altura média; as médias seguidas com a mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância.

Fonte: Autoria própria (2023)

REFERÊNCIAS

- ACHISO, Z.; MASEBO, N. Parkland agroforestry practices on biodiversity conservation-a review. **SSR Inst Int J Life Sci**, v. 5, p. 2412–20, 2019.
- ACHMAD, B.; SANUDIN; SIARUDIN, M.; WIDIYANTO, A.; DINIYATI, D.; SUDOMO, A.; HANI, A.; FAUZIYAH, E.; SUHAENDAH, E.; WIDYANINGSIH, T. S. Traditional subsistence farming of smallholder agroforestry systems in Indonesia: A review. **Sustainability**, MDPI, v. 14, n. 14, p. 8631, 2022.
- ADHIKARI, R.; AGRAWAL, R. K. An introductory study on time series modeling and forecasting. **arXiv preprint arXiv:1302.6613**, p. 1-67, 2013.
- AJAYI, I. K.; KAYODE, J. A Survey of Fruit Trees Species in an Urban Community in Ekiti State, Nigeria. **Budapest International Research in Exact Sciences (BirEx) Journal**, v. 2, n. 3, p. 280–290, 2020.
- AKAIKE, H. A new look at the statistical model identification. **IEEE transactions on automatic control**, v. 19, n. 6, p. 716-723, 1974.
- AKAIKE, H. On the likelihood of a time series model. **Journal of the Royal Statistical Society: Series D (The Statistician)**, v. 27, n. 3-4, p. 217-235, 1978.
- ALMEIDA, A. C. S. de; FERREIRA, R. L. C.; SANTOS, M. V. F. dos; SILVA, J. A. A. da; LIRA, M. A. Caracterização de produtores e propriedades rurais em três municípios do estado de Pernambuco. **Revista Caatinga**, v. 19, n. 4, p. 323-332, 2006.
- ALMEIDA, A. C. S. de; GUIMARÃES, A. L. de L.; PORTELA, C. M. de S.; JÚNIOR, G. P. de L.; BARROS, A. A. da F.; IMPERIANO, C. C.; SILVA, D. de S. Diagnóstico e planejamento: uma análise sistêmica das propriedades rurais no assentamento Timbóno município de Moreno, PE. **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, v. 17, n. 1, p. 94–98, 2012. DOI: <https://doi.org/10.12661/pap.2012.017>.
- ALMEIDA, R. G. de. Sistemas agrossilvipastoris: benefícios técnicos, econômicos, ambientais e sociais. **Encontro Sobre Zootecnia De Mato Grosso Do Sul**, v. 7, p. 1-10, 2010.
- ALONSO, J. Silvopastoral systems and their contribution to the environment. **Cuban Journal of Agricultural Science**, v. 45, n. 2, p. 107-114, 2011.
- ALVES, D. F.; ALENCAR, M. O. de. A Exploração do sistema agroflorestal e potencialização do desenvolvimento local: um estudo de caso de Caririaçu/CE. **Latin American Journal of Business Management**, [S.l.], v. 11, n. 1, 2020. Disponível em: <https://lajbm.com.br/index.php/journal/article/view/593>. Acesso em: 23 jun. 2023.
- ALVES, S. J.; SOARES FILHO, C. V. Espécies forrageiras recomendadas para o Paraná. **Forragicultura do Paraná. Londrina: Iapar**, p. 181-195, 1996.

AMÂNCIO, C. T.; NASCIMENTO, L. F. C. Asma e poluentes ambientais: um estudo de séries temporais. **Revista da Associação Médica Brasileira**, v. 58, p. 302-307, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0104-42302012000300009>.

ANDRADE, C. de; ASSIS, G. de; FERREIRA, A. Eficiência de longo prazo da consorciação entre gramíneas e leguminosas em pastagens tropicais. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ZOOTECNIA, 25., 2015, Fortaleza. Dimensões tecnológicas e sociais da Zootecnia: anais. Fortaleza: ABZ, p. 1-31, 2015.

ANDRADE, D. F. de; SINGER, J. da M. Análise de dados longitudinais. *In*: **Proceedings of VII Simpósio Nacional de Probabilidade e Estatística**, Campinas: SINAPE, p. 19-26, 1986.

ANGELIM, A. M; OLIVEIRA, J. V. A.; LOPES, D. D.; CASTRO, M. M.; SANTOS, R. D. dos; FERNANDES, F. E. P. Agrofloresta para segurança alimentar e nutricional em período seco do ano em agroecossistema familiar no semiárido. **Cadernos de Agroecologia**, v. 15, n. 2, p. 1-4, 2020.

ANGELO, C. F. de; ZWICKER, R.; FOUTO, N. M. M. D.; LUPPE, M. R. Séries temporais e redes neurais: uma análise comparativa de técnicas na previsão de vendas do varejo brasileiro. **BBR-Brazilian Business Review**, FUCAPE Business School, v. 8, n. 2, p. 1–21, 2011.

ANGELOTTI, F.; OLIVEIRA, A. R. de; GIONGO, V.; BARROS, J. R. A.; GUIMARÃES, M. J. M. Sustainable agriculture as an adaptation measure for Araripe Plaster Pole. **Public policies for adapting agriculture to climate change in semi-arid Northeast Brazil**, v. 22640, p. 1-61, 2022.

ANTUNES, J. L. F.; CARDOSO, M. R. A. Uso da análise de séries temporais em estudos epidemiológicos. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, v. 24, p. 565-576, 2015. DOI: <https://doi.org/10.5123/S1679-49742015000300024>.

ARAÚJO, A. L. G.; NETO, A. R.; ALMEIDA, A. M. de; GUIMARÃES, J. de J.; CANTUÁRIO, F. S. de; CURVELO, C. R. da S.; LUZ, J. M. Q.; PEREIRA, A. I. A.; SOUZA, M. L. C. de; SANTOS, J. C. C. dos. Planejamento experimental em parcelas subdivididas e construção em casa de vegetação. **Informe Goiano (ISSN 2525-6866)**, p. 1-6, 2019.

ARAUJO, K. Z.; WINK, C.; LANGE, A.; MOREIRA, I. D. A.; CURTO, R. D. A. Eficiência de utilização de nutrientes pelo eucalipto em sistema agrossilvipastoril. **Nativa**, v. 8, n. 2, p. 260–268, 2020.

ARMENTERAS, D.; ESPELTA, J. M.; RODRÍGUEZ, N.; RETANA, J. Deforestation dynamics and drivers in different forest types in Latin America: Three decades of studies (1980–2010). **Global Environmental Change**, Elsevier, v. 46, p. 139–147, 2017.

ATANGANA, A.; KHASA, D.; CHANG, S.; DEGRANDE, A. Definitions and classification of agroforestry systems. **Tropical agroforestry**, Springer, p. 35–47, 2014.

BACCHI, M. R. P.; HOFFMANN, R. Previsão de preços de bovino e frango com modelos de séries temporais. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 33, n. 4, p. 9-28, 2020.

- BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. N. **Experimentação agrícola**. 4. ed. Jaboticabal: Funep, 2006. 237p.
- BARROS, B. C. d.; SILVA, J. A. A. d.; FERREIRA, R. L. C.; REBOUÇAS, A. C. M. N. Volumetria e sobrevivência de espécies nativas e exóticas no polo gesso do Araripe, PE. **Ciência Florestal**, SciELO Brasil, v. 20, p. 641–647, 2010.
- BARTLETT, Maurice Stevenson. Properties of sufficiency and statistical tests. **Proceedings of the Royal Society of London. Series A-Mathematical and Physical Sciences**, v. 160, n. 901, p. 268-282, 1937.
- BATISH, D. R.; SINGH, H. P.; KOHLI, R. K.; KAUR, S. Eucalyptus essential oil as a natural pesticide. **Forest ecology and management**, Elsevier, v. 256, n. 12, p. 2166–2174, 2008.
- BATISTA, E. M.; SHULTZ, J.; MATOS, T. T.; FORNARI, M. R.; FERREIRA, T. M.; SZPOGANICZ, B.; FREITAS, R. A. de; MANGRICH, A. S. Effect of surface and porosity of biochar on water holding capacity aiming indirectly at preservation of the Amazon biome. **Scientific Reports**, Nature Publishing Group UK London, v. 8, n. 1, p. 10677, 2018.
- BENIN, C. C.; WIONZEK, F. B.; WATZLAWICK, Luciano Farinha. Initial assessments on the plantation of *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage deployed in different spacing. **Applied Research & Agrotechnology**, v. 7, n. 1, p. 55-61, 2014.
- BHAR, L. M.; SHARMA, V. K. Time series analysis. **Indian Agricultural Statistics Research Institute, New Delhi**, p. 1-15, 2005.
- BOCK, C. L.; PEZZATO, L. E.; CANTELMO, O. Â.; BARROS, M. M. Fitase e digestibilidade aparente de nutrientes de rações por tilápias-do-nilo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 35, p. 2197-2202, 2006.
- BOX, G. E.; JENKINS, G. M.; REINSEL, G. C.; LJUNG, G. M. **Time series analysis: forecasting and control**. [S.l.]: John Wiley & Sons, p. 1-681, 2015.
- BRAGA, B. B.; CARVALHO, T. R. A. de; BROSINSKY, A.; FOERSTER, S.; MEDEIROS, P. H. A. From waste to resource: Cost-benefit analysis of reservoir sediment reuse for soil fertilization in a semiarid catchment. **Science of the total environment**, Elsevier, v. 670, p. 158–169, 2019.
- BRÉDA, N.; HUC, R.; GRANIER, A.; DREYER, E. Temperate Forest trees and stands under severe drought: a review of ecophysiological responses, adaptation processes and long-term consequences. **Annals of Forest Science**, EDP Sciences, v. 63, n. 6, p. 625–644, 2006.
- BRILS, J.; BOER, P. de; MULDER, J.; BOER, E. de. Reuse of dredged material as a way to tackle societal challenges. **Journal of soils and sediments**, Springer, v. 14, p. 1638–1641, 2014.
- BURGESS, A. J.; CANO, M. E. C.; PARKES, B. The deployment of intercropping and agroforestry as adaptation to climate change. **Crop and Environment**, v. 1, n. 2, p. 145-160, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.crope.2022.05.001>.

BURGESS, P. J.; ROSATI, A. Advances in European agroforestry: results from the AGFORWARD project. **Agroforestry systems**, v. 92, p. 801-810, 2018.

CAIONE, G; LANGE, A; SCHONINGER, E. L. Crescimento de mudas de *Schizolobium amazonicum* (Huber ex Ducke) em substrato fertilizado com nitrogênio, fósforo e potássio. **Sci. For.**, Piracicaba, v. 40, n. 94, p. 213-221, jun. 2012

CAMPECHE, D. F. B.; GUILHERME, L. C. Piscicultura na agricultura familiar. **Agricultura Familiar**, p. 363, 2019.

CAMPOS, H. F. de. **Deposição e concentração de nutrientes da serapilheira de seis espécies nativas do Pontal do Paranapanema: uso da biodiversidade funcional em sistemas agroflorestais**. 2015. 64 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa em Recursos Florestais, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015.

CANOSA, G. A.; CASSARINO, J. P.; LEANDRINI, J. Uso de fichas ilustradas para seleção de espécies arbóreas nativas no planejamento participativo de sistemas agroflorestais com famílias agricultoras do Núcleo Luta Camponesa da Rede Ecovida de Agroecologia, PR. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 39, p. 133-157, 2016.

CANOSA, G.; FARIA, S. de; MORAES, L. de. Leguminosas florestais da Mata Atlântica brasileira fixadoras de nitrogênio atmosférico. Seropédica: Embrapa Agrobiologia. 2012. Número de páginas?

CANUTO, D. S. d. O.; SILVA, A. M. d.; MORAES, M. L. Teixeira de; RESENDE, M. D. Vilela de. Estabilidade e adaptabilidade em testes de progênies de *Myracrodruon urundeuva* sob quatro sistemas de plantio. **Cerne**, Univ Federal Lavras-ufla, p. 171–179, 2016.

CANUTO, J. C. Sistemas agroflorestais: experiências e reflexões. Brasília, DF: Embrapa, p. 1-216, 2017.

CAPRA, G. F.; GRILLI, E.; MACCI, C.; VACCA, S.; MASCIANDARO, G.; CECCANTI, B.; BONDI, G.; DURAS, M. G.; DESSENA, M. A.; MARRAS, G. Lake-dredged material (LDM) in pedotechnique for the restoration of Mediterranean soils affected by erosion/entisolization processes. **Journal of Soils and Sediments**, Springer, v. 15, p. 32–46, 2015.

CARDOSO, J. H. Capítulo 2–leguminosas arbóreas e fruticultura: contribuições agroflorestais para a sustentabilidade dos pomares. Embrapa. p. 24-42, 2020.

CARLINI, E. A.; DUARTE-ALMEIDA, J. M.; RODRIGUES, E.; TABACH, R. Antiulcer effect of the pepper trees *Schinus terebinthifolius* Raddi (Aroeira-da-praia) and *Myracrodruon urundeuva* Allemão, Anacardiaceae (Aroeira-do-sertão). **Revista Brasileira de Farmacognosia**, SciELO Brasil, v. 20, p. 140–146, 2010.

CARPES, R. H.; LÚCIO, A. D.; STORCK, L.; LOPES, S. J.; ZANARDO, B.; PALUDO, A. L. Ausência de frutos colhidos e suas interferências na variabilidade da fitomassa de frutos de abobrinha italiana cultivada em diferentes sistemas de irrigação. **Revista Ceres**, v. 55, n. 6, p. 590-595, 2008.

CARVALHO, A.J. **Sistema de produção de feijão em consórcio com eucalipto ou braquiária**, Viçosa Minas Gerais, p. 1-129, 2009.

CARVALHO, T.; BROSINSKY, A.; FOERSTER, S.; TEIXEIRA, A.; MEDEIROS, P. Reservoir sediment characterisation by diffuse reflectance spectroscopy in a semiarid region to support sediment reuse for soil fertilization. **Journal of Soils and Sediments**, Springer, v. 22, n. 9, p. 2557–2577, 2022.

CASTRO, C. d. O.; NUNES, A. C. P.; SANTOS, O. P. dos; RESENDE, R. T.; SANTOS, G. A. dos; RESENDE, M. D. V. de; CRUZ, C. D. Comportamento da interação genótipos por locais aos três e nove anos em clones de eucalipto. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 46, n. 120, p. 594-605, dez. 2018.

CECATO, U.; MACHADO, A. O.; MARTINS, E. N.; PEREIRA, L. A. F.; BARBOSA, M. A. A. d. F.; SANTOS, G. T. d. Avaliação da produção e de algumas características da rebrota de cultivares e acessos de *Panicum maximum* jacq. sob duas alturas de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, SciELO Brasil, v. 29, p. 660–668, 2000.

CERQUEIRA, Vitor; TORGO, Luís; MOZETIČ, Igor. Avaliando modelos de previsão de séries temporais: Um estudo empírico sobre métodos de estimativa de desempenho. **Aprendizado de Máquina**, v. 1997-2028, 2020.

CHABCHOUBI, I. B.; MTIBAA, S.; KSIBI, M.; HENTATI, O. Health risk assessment of heavy metals (Cu, Zn, and Mn) in wild oat grown in soils amended with sediment dredged from the Joumine Dam in Bizerte, Tunisia. **Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration**, Springer, v. 5, p. 1–14, 2020.

CHAN, K. Y.; ZWIETEN, L. V.; MESZAROS, I.; DOWNIE, A.; JOSEPH, S. Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment. **Soil Research**, CSIRO Publishing, v. 45, n. 8, p. 629–634, 2007.

COELHO, S. R. d. F.; GONC, ALVES, J. L. d. M.; MELLO, S. L. d. M.; MOREIRA, R. M.; SILVA, E. V. d.; LACLAU, J.-P. Crescimento, nutrição e fixação biológica de nitrogênio em plantios mistos de eucalipto e leguminosas arbóreas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, SciELO Brasil, v. 42, p. 759–768, 2007.

CORDEIRO, L. A. M.; VILELA, L.; MARCHÃO, R. L.; KLUTHCOUSKI, J.; JÚNIOR, G. B. M. Integração lavoura-pecuária e integração lavoura-pecuária-floresta: estratégias para intensificação sustentável do uso do solo. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 32, n. 1/2, p. 15–53, 2017.

CORTES, L. A.; SIMPSON, J. R.; PARKER, P. A. Response surface split-plot designs: A literature review. **Quality and Reliability Engineering International**, Wiley Online Library, v. 34, n. 7, p. 1374-1389, 2018.

COSTA, A. R. Nutrição mineral em plantas vasculares. **Escola de Ciências e Tecnologia da Universidade de Évora**, p. 1-114, 2014.

COSTA, B. S.; OLIVEIRA, M. L. EUCALYPTUS PLANTED FORESTS IN BRAZIL: A CULTIVATION HARMFUL TO WATER RESOURCES? **Veredas do Direito**, Belo Horizonte, v. 16, n. 36, p. 115–132, 2019.

COSTA, E. M.; MENDES, G. R.; VENTURA, M. V. A.; FRANCO, C.; SOUZA, B.; PEREIRA, L. S.; SOARES, V. M. Viability of nitrogen fertilization in pastures. **Biomedical Journal of Scientific & Technical Research**, Biomedical Research Network+, LLC, v. 16, n. 4, p. 12246–12250, 2019.

COSTA, S. C. **Modelos lineares generalizados para dados longitudinais**. 2003. 110 f. Tese (Doutorado em Estatística) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

COWPERTWAIT, P. S.; METCALFE, A. V. **Introductory time series with R**. Springer Science & Business Media, p. 247, 2009.

CROWDER, M. J.; HAND, D. J. **Analysis of repeated measures**. Routledge, p. 266, 2017.

CRUZ, A. C. R. da; FAYAL, J. de M.; SOARES, J. L. F. Avaliação da sustentabilidade de uma piscicultura através do método mesmis: um estudo de caso, no município de Abaetetuba, Amazonia oriental. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 2, p. 5559–5570, 2020.

CUSTÓDIO, T. N.; MORAIS, A. de; MUNIZ, J. A. Superfície de resposta em experimento com parcelas subdivididas. **Ciência & Agrotecnologia**, v. 24, n. 4, p. 1008-1023, 2000.

DARONCO, C. **Atributos funcionais de espécies arbóreas e a facilitação da regeneração natural em plantios de mata ciliar**. 2013. 79 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2013. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/items/2c550e1d-1227-4deb-aeb8-e60d67610c24>. Acesso em: 20 dez. 2023.

CHEN, J.; LU, S.; ZHANG, Z.; ZHAO, X.; LI, X.; NING, P.; LIU, M. Environmentally friendly fertilizers: A review of materials used and their effects on the environment. **Science of the total environment**, Elsevier, v. 613, p. 829–839, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.186>.

DENG, Y.; YANG, G.; XIE, Z.; YU, J.; JIANG, D.; HUANG, Z. Effects of different weeding methods on the biomass of vegetation and soil evaporation in eucalyptus plantations. **Sustainability**, MDPI, v. 12, n. 9, p. 3669, 2020.

DHYANI, S.; HANDA, A. Area under agroforestry in India: An assessment for present status and future perspective. **Indian Journal of Agroforestry**, Indian Society of Agroforestry, v. 15, n. 1, p. 1–11, 2013.

DICKEY, D. A.; FULLER, W. A. Likelihood ratio statistics for autoregressive time series with a unit root. **Econometrica: journal of the Econometric Society**, p. 1057-1072, 1981.

DRÓZDZ, D.; MALINSKA, K.; KACPRZAK, M.; MROWIEC, M.; SZCZYPIÓR, A.; POSTAWA, P.; STACHOWIAK, T. Potential of fish pond sediments composts as organic fertilizers. **Waste and Biomass Valorization**, Springer, v. 11, n. 10, p. 5151–5163, 2020.

DRUMOND, M. A.; RIBASKI, J.; OLIVEIRA, V. R. de; TAVARES, J. A. Sistema de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) como alternativa para diversificação de renda no semiárido brasileiro. *In: OLIVEIRA, EB de; PINTO JUNIOR, JE (Ed.), 1., 2021, Brasília. Anais [s.n.] Brasília: Embrapa, p. 1057-1064, 2021.*

EDVAN, R. L. **Sistemas conservacionistas de recuperação de pastagem degradada.** Appris Editora e Livraria Eireli-ME, p. 1-113, 2018.

ELEVITCH, C. R.; MAZAROLI, D. N.; RAGONE, D. Agroforestry standards for regenerative agriculture. **Sustainability**, MDPI, v. 10, n. 9, p. 3337, 2018.

FERNANDES, G. L.; CASAS, G. G.; PEREIRA, L.; FARDIN, G. S. N.; LEITE, R. V.; COUTO, L.; LEITE, H. G. Effects of Spacing on Early Growth Rate and Yield of Hybrid Eucalyptus Stands. **Pertanika J. Trop. Agric. Sci**, v. 46, n. 2, p. 627–645, 2023.

FERNANDES, J. d. S.; JÚNIOR, V. C.; BARRETO-GARCIA, P. A. B. Field performance of Eucalyptus Hybrids at planalto da conquista, Bahia, Brazil. **Floresta e Ambiente**, SciELO Brasil, v. 25, p. 1-8, 2018.

FERNANDEZ, George CJ. Repeated measure analysis of line-source sprinkler experiments. **HortScience**, v. 26, n. 4, p. 339-342, 1991.

FERREIRA, A. D.; SERRA, A. P.; MELOTTO, A. M.; BUNGENSTAB, D. J.; LAURA, V. A. Manejo das árvores e propriedades da madeira em sistema de ILPF com eucalipto. **ILPF inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta. Brasília: Embrapa**, p. 455-471, 2019.

FERREIRA, D. F. **Análise multivariada.** Lavras: UFLA, p. 1-662, 2008.

FERREIRA, J. C. S. **Viabilidade técnica e econômica de sistemas agroflorestais na microrregião de Itaparica, Semiárido de Pernambuco.** 2023. 220f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2023.

FERREIRA, W. L. **Análise de dados com medidas repetidas em experimentos com ingestão de café.** 2012. 108f. Dissertação (Mestrado em Estatística e Experimentação Agropecuária) - Universidade Federal de Lavras, 2012.

FIGUEIREDO, A.C.; PEDRO, L.G.; BARROSO, J.G.; TRINDADE, H.; SANCHES, J.; OLIVEIRA, C.; CORREIA, M. **Óleos essenciais de espécies de eucalyptus**, 2013. Disponível em: http://cbv.fc.ul.pt/Agrotec_8.pdf. Acesso em: 08 jul. 2023.

FILHO, F. R. F.; CRAVO, M. d. S.; VILARINHO, A.; CAVALCANTE, E. d. S.; FERNANDES, J.; SAGRILO, E.; RIBEIRO, V.; ROCHA, M. d. M.; SOUZA, F. d. F.; LOPES, A. d. M. et al. **Brs novaera: cultivar de feijão-caupi de porte semi-ereto.** Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, p. 1- 4, 2008.

FLORES, J. H. F.; ENGEL, P. M.; PINTO, R. C. Autocorrelation and partial autocorrelation functions to improve neural networks models on univariate time series forecasting. *In: The 2012 International joint conference on neural networks (IJCNN).* IEEE, 2012. p. 1-8.

FOELKE, C.E.B. Eucalipto no Brasil, história de pioneirismo. **VISÃO AGRÍCOLA**, n. 4, Jul-Dez, p. 66-69, 2005.

FONSECA, Káthia et al. Organic fertilization: Answer in the sugarcane development (*Saccharum officinarum* L.). **American Journal of Experimental Agriculture**, v. 12, n. 6, p. 1-6, 2016.

FONSECA, S.; RESENDE, M.; ALFENAS, A.; GUIMARÃES, L.; ASSIS, T.; GRATTAPAGLIA, D. Manual prático de melhoramento genético do eucalipto. (p. 39-42). **Editora UFV-Universidade Federal de Viccedil**, 2010.

FORNECK, S. C.; DUTRA, F. M.; CAMARGO, M. P. de; VITULE, J. R. S.; CUNICO, A. M. Aquaculture facilities drive the introduction and establishment of non-native *Oreochromis niloticus* populations in Neotropical streams. **Hydrobiologia**, Springer, v. 848, p. 1955–1966, 2021.

FORTES, N. L. P.; FORTES NETO, P. Ciências ambientais. **Ciências Ambientais**, v. 4, p. 52-119, 2020.

FRANCO, M.P. Efeito da substituição do potássio pelo sódio em árvores de *Eucalyptus grandis* W.Hill ex. maiden, visando a expansão das plantações florestais sob condições de estresse hídrico. 2014, f. 200. Dissertação (Mestrado) em recursos Florestais, Esalq/USP, Piracicaba, 2014.

FRANKE, I.L.; LUNZ, A.M.P.; AMARAL, E.F. **Metodologia para planejamento, implantação e monitoramento de sistemas agroflorestais: Um processo participativo**. Rio Branco: Embrapa Acre, p. 1-35, 2000.

FREITAS, E. G. **Análise de dados longitudinais em experimentos com cana-de-açúcar**. 2007. 70 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2007.

FREITAS, E. G. de. Modelo univariado aplicado a dados longitudinais de cana-de-açúcar. **Rev. Bras. Biom**, v. 26, n. 2, p. 93–106, 2008.

FREITAS, E. V. de; MACIEL, G. A.; CARVALHO, E. X. de. **Agricultura de baixo carbono. O desenvolvimento rural sustentável e a agropecuária em Pernambuco**, p. 111, 2022.

FULLER, Wayne A. **Introduction to statistical time series**. John Wiley & Sons, p. 728, 2009.

FUNGO, B.; WIESMEIER, M.; CARDINAEL, R. 40. agroforestry 3: **Agrosilvopastoral systems**. p. 500-511, 2021.

GADDIS, Monica L. Statistical methodology: IV. Analysis of variance, analysis of covariance, and multivariate analysis of variance. **Academic emergency medicine**, v. 5, n. 3, p. 258-265, 1998.

GADELHA, F. H. L.; SILVA, J. A. A.; FERREIRA, R. L. C. Viabilidade econômica do cultivo de clones de *Eucalyptus* em função do espaçamento e do sistema silvicultural, em Araripina-pe. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica**, v. 15, n. 2, p. 105–123, 2018.

GADELHA, F. H. L.; SILVA, J. A. A.; FERREIRA, R. L. C.; SANTOS, R. C.; TAVARES, J. A. Produtividade de clones de eucaliptos em diferentes sistemas de manejo para fins energéticos. **Pesquisa florestal brasileira**, v. 35, n. 83, p. 263–270, 2015.

GARCIA, S. L. D. S.; SILVA, R. V. R. D.; CORREIA, M. A. R.; SOUSA, S. A. D. Comportamento de genótipos de feijão-caupi em sistema agroflorestal em Araguatins-TO. *In: JICE-JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTIFICA E EXTENSÃO*, 10., 2019. **Anais [S.l.: s.n.]**, 2019.

GIACOMINI, S. J.; AITA, C.; VENDRUSCOLO, E.; CUBILLA, M.; NICOLOSO, R.; FRIES, M. Matéria seca, relação c/n e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio em misturas de plantas de cobertura de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, SciELO Brasil, v. 27, p. 325–334, 2003.

GLOVER, E. K.; AHMED, H. B.; GLOVER, M. K. et al. Analysis of socio-economic conditions influencing adoption of agroforestry practices. **International Journal of Agriculture and Forestry**, Scientific & Academic Publishing Co, v. 3, n. 4, p. 178–184, 2013.

GOMES, F. P. **Curso de estatística experimental**. 13. ed. Piracicaba: Nobel, p. 246, 1990.

GOMES, M. V. T.; COSTA, A. S.; GARCIA, C. A. B.; PASSOS, E. A.; ALVES, J. d. P. H. Concentrações e associações geoquímicas de Pb e Zn em sedimentos do rio São Francisco impactados por rejeitos da produção industrial de zinco. **Química Nova**, SciELO Brasil, v. 33, p. 2088–2092, 2010.

GONÇALVES, J. B. **Saber popular e ecológico de sistemas agrossilviculturais por agricultores no município de Bonito-PE**. Monografia (Bacharelado em Engenharia Florestal) - Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 37 f, 2019.

GONÇALVES, J. L.; ALVARES, C. A.; ROCHA, J. H.; BRANDANI, C. B.; HAKAMADA, R. Eucalypt plantation management in regions with water stress. **Southern Forests: a Journal of Forest Science**, Taylor & Francis, v. 79, n. 3, p. 169–183, 2017. DOI: <https://doi.org/10.2989/20702620.2016.1255415>.

GONSAGA, R. F. **Produção de madeira e eficiência de utilização de nutrientes em clones de eucaliptos em diferentes idades**. 2017, 61f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2017.

GREGIO, Josué Vicente. Da degradação à floresta: A agricultura sintrópica de Ernst Götsch e sua aplicação nas Fazendas Olhos D'Água e Santa Teresinha, Piraí do Norte/BA. **AMBIENTES: Revista de Geografia e Ecologia Política**, v. 2, n. 2, p. 106-106, 2020.

- GUALTER, R. M. R.; BODDEY, R. M.; RUMJANEK, N. G.; FREITAS, A. C. R. d.; XAVIER, G. R. Eficiência agronômica de estirpes de rizóbio em feijão-caupi cultivado na região da Pré-Amazônia maranhense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, SciELO Brasil, v. 46, p. 303–308, 2011.
- GUERRA, H. G. **Manual de fruticultura tropical I**. Clube de Autores, p. 1- 212, 2020.
- GUNKEL, G.; SOBRAL, M. Re-oligotrophication as a challenge for tropical reservoir management with reference to Itaparica Reservoir, São Francisco, Brazil. **Water science and technology**, v. 67, n. 4, p. 708-714, 2013.
- GUNKEL, Günter; SILVA, J. A. A.; SOBRAL, M. C. Sustainable management of water and land in semiarid areas. **Editora Universitária UFPE, Recife**, p. 39-59, 2013.
- HAGEL, H.; HOFFMANN, C.; IRMÃO, J. F.; DOLUSCHITZ, R. Socio-economic aspects of irrigation agriculture as livelihood for rural families in Brazil's semi-arid northeast. **Journal of Agri-culture and Rural Development in the Tropics and Subtropics (JARTS)**, v. 120, n. 2, p.157–169, 2019.
- HAGEMANN, N.; SPOKAS, K.; SCHMIDT, H.-P.; KAGI, R.; BOHLER, M. A.; BUCHELI, T. D. Activated carbon, biochar and charcoal: linkages and synergies across pyrogenic carbon's ABC s. **Water**, MDPI, v. 10, n. 2, p. 182, 2018.
- HALOMOAN, S. S. T. Effect of fertilization on the growth and biomass of *Acacia mangium* and *Eucalyptus* hybrid (*E. grandis* x *E. pellita*). **Journal of Tropical Soils**, v. 20, n. 3, p. 157-166, 2016.
- HANSEN, P. R.; LUNDE, A. Estimating the persistence and the autocorrelation function of a time series that is measured with error. **Econometric Theory**, v. 30, n. 1, p. 60-93, 2014.
- HARTLEY, Mitschka J. Rationale and methods for conserving biodiversity in plantation forests. **Forest ecology and management**, v. 155, n. 1-3, p. 81-95, 2002.
- HAVERKAMP, N.; BEAUDUCCEL, A. Violation of the sphericity assumption and its effect on type-I error rates in repeated measures ANOVA and multi-level linear models (MLM). **Frontiers in psychology**, v. 8, p. 279-764, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01841>.
- HÅVOLD, J. I. Safety culture and safety management aboard tankers. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 95, n. 5, p. 511-519, 2010.
- HOFFMESTER, S. d. S.; FERNANDES, S. S. L.; SOARES, J. A. B.; MOITINHO, M. R.; FEIDEN, A.; PADOVAN, M. P. Potencial de restauração ecológica e educação ambiental envolvendo um sistema agroflorestral biodiverso na região fronteira entre Brasil e Paraguai. *In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL*, 1., 2019. Anais [S.l.:s.n.], p. 1-17, 2019.

HUERTAS, S. M.; BOBADILLA, P. E.; ALCÁNTARA, I.; AKKERMANS, E.; EERDENBURG, F. J. van. Benefits of silvopastoral systems for keeping beef cattle. **Animals**, MDPI, v. 11, n. 4, p. 992, 2021.

HUYNH, Huynh; FELDT, Leonard S. Estimation of the Box correction for degrees of freedom from sample data in randomized block and split-plot designs. **Journal of Educational Statistics**, v. 1, n. 1, p. 69-82, 1976.

IBÁ - Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório Anual da Indústria Brasileira de Árvores**. Ano base 2020. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-anual-iba2023-r.pdf>. Acesso em: 26 dez. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Áreas Territoriais**. Rio de Janeiro: IBGE, p. 1-11, 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro: IBGE, p. 1-18, 2012.

JONES, B.; NACHTSHEIM, C. J. Split-plot designs: What, why, and how. **Journal of Quality Technology**, Taylor & Francis, v. 41, n. 4, p. 340-361, 2009.

JÚNIOR, F. J. da S.; MONTEIRO, M. K. D.; VIEIRA, A. S.; VENTURA, A. F. A.; JÚNIOR, R. V. Produção de biofertilizante, adubo orgânico e biogás para agricultura familiar. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, p. 990–999, 2014.

JUNIOR, J. P.; SILVEIRA, R. A introdução do eucalipto no Brasil pela Embrapa: bases institucionais e sua estruturação para a pesquisa com eucaliptos e corímbias. In: OLIVEIRA, EB de; PINTO JUNIOR, JE (Ed.), 1., 2021. **Anais [S.l.]**. O eucalipto e a Embrapa: quatro. 2021.

JUNIOR, L. S.; GARCIA, J. N. Rendimento em madeira serrada de *Eucalyptus urophylla*. **Scientia Forestalis**, n. 63, p. 32–43, 2003.

JURIGA, M.; SIMANSKY, V. et al. Effect of biochar on soil structure—review. **Acta Fytotech. Zootech**, v. 21, p. 11–19, 2018.

KALEV, Stefan D.; TOOR, Gurpal S. The composition of soils and sediments. In: Green Chemistry. **Anais [S.l.]**: Elsevier, 2018. p. 339-357.

KAY, S.; GRAVES, A.; PALMA, J. H.; MORENO, G.; ROCES-DÍAZ, J. V.; AVIRON, S.; CHOU-VARDAS, D.; CROUS-DURAN, J.; FERREIRO-DOMÍNGUEZ, N.; JALÓN, S. G. de et al. Agroforestry is paying off—Economic evaluation of ecosystem services in European landscapes with and without agroforestry systems. **Ecosystem services**, Elsevier, v. 36, p. 100896, 2019.

KE, J.; XING, X.; LI, G.; DING, Y.; DOU, F.; WANG, S.; LIU, Z.; TANG, S.; DING, C.; CHEN, L. Effects of different controlled-release nitrogen fertilizers on ammonia volatilisation, nitrogen use efficiency and yield of blanket-seedling machine-transplanted rice. **Field Crops Research**, Elsevier, v. 205, p. 147–156, 2017.

KESELMAN, H. J.; ALGINA, J.; KOWALCHUK, R. K. The analysis of repeated measures designs: a review. **British Journal of Mathematical and Statistical Psychology**, v. 54, n. 1, p. 1-20, 2001.

KIEFFER, Kevin. M.; HALEY, J. A. On analyzing repeated measures designs with both univariate and multivariate methods: A primer with examples'. **Multiple Linear Regression Viewpoints**, v. 28, n. 1, p. 1-16, 2002.

KIILL, L.; LIMA, P. Plano de manejo para espécies da Caatinga ameaçadas de extinção na Reserva Legal do Projeto Salitre. Petrolina: Embrapa Semiárido, p. 55, 2011.

KUAI, J.; SUN, Y.; ZUO, Q.; HUANG, H.; LIAO, Q.; WU, C.; LU, J.; WU, J.; ZHOU, G. The yield of mechanically harvested rapeseed (*Brassica napus* L.) can be increased by optimum plant density and row spacing. **Scientific reports**, Nature Publishing Group UK London, v. 5, n. 1, p. 18835, 2015.

KLUTHCOUSKI, J.; CORDEIRO, L. A. M.; VILELA, L.; MARCHÃO, R. L.; SALTON, J. C.; MACEDO, M. C. M.; ZIMMER, A. H.; BALBINO, L. C.; SILVA, V. Porfírio-da; MULLER, M. Conceitos e modalidades da estratégia de integração lavoura-pecuária-floresta. **Integração Lavoura-Pecuária-Floresta: o produtor pergunta, a Embrapa responde. Brasília, DF: Embrapa**, p. 21–33, 2015.

KRATKA, P. C. **Crescimento inicial de Aroeira do sertão (*Myracrodruon urundeuva* Allemão) em diferentes substratos**. 2013, 52 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, Brasília, 2013. Disponível em: <http://icts.unb.br/jspui/handle/10482/15411>. Acesso em: 18. ago. 2023.

KRUEGER, C.; TIAN, L. A comparison of the general linear mixed model and repeated measures ANOVA using a dataset with multiple missing data points. **Biological research for nursing**, v. 6, n. 2, p. 151-157, 2004.

Kuehl, R. D. Statistical principles of research design and analysis. **Duxbury press**. Belmont California, 1994. p. 499-528.

KUMAR, Y.; THAKUR, T. K.; THAKUR, A. Socio-cultural paradigm of agroforestry in India. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 6, n. 6, p. 1371– 1377, 2017.

LEBRAZI, S.; FIKRI-BENBRAHIM, K. Potential of tree legumes in agroforestry systems and soil conservation. In: **Advances in Legumes for Sustainable Intensification**. Academic Press, 2022. p. 461-482.

LELES, P. S. dos S.; ABAURRE, G. W.; ALONSO, J. M.; NASCIMENTO, D. F. do; LISBOA, A. C. Crescimento de espécies arbóreas sob diferentes espaçamentos em plantio de recomposição florestal. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 39, n. 90, p. 231-239, jun. 2011.

LELES, P. S. dos S.; REIS, G. G. dos; REIS, M. d. G. F.; MORAIS, E. J. de. Crescimento, produção e alocação de matéria seca de *Eucalyptus camaldulensis* e *E. pellita* sob diferentes

espaçamentos na região de cerrado, MG. Growth and biomass distribution in *Eucalyptus camaldulensis* and *E. pellita* under different. **Scientia Forestalis**, v. 59, p. 77–87, 2001.

MACEDO, J. Cultivo de fruteiras em sistemas agroflorestais. In: ENCONTRO DE FRUTAS NATIVAS DO NORTE E NORDESTE DO BRASIL, 1., São Luís - MA, 2008. Disponível em:

<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/683908/1/CultivodeFruteirasemSistemasAgroflorestais.pdf>. Acesso em: 4 out. 2023.

MACEDO, R. L. G.; BEZERRA, R. G.; VENTURIN, N.; VALE, R. S. d.; OLIVEIRA, T. K. d. Desempenho silvicultural de clones de eucalipto e características agrônômicas de milho cultivados em sistema silviagrícola. **Revista Árvore**, SciELO Brasil, v. 30, p. 701–709, 2006.

MAGALHÃES, L. G. S.; LIMA, A. P. L. de; LIMA, S. F. de; SORATTO, D. N.; MARTINS, S. M.; SANTOS, I. F. F. Densidade básica da madeira de clones de eucalipto em diferentes espaçamentos / Basic density of wood of eucalyptus clones in different spacing. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 4, p. 19435–19445, 2020. Disponível em:

<https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/8777/7518>. Acesso em: 15 set. 2023.

MAGALHÃES, W. M.; MACEDO, R. L. G.; VENTURIM, N.; HIGASHIKAWA, E. M.; JÚNIOR, M. Y. Desempenho silvicultural de espécies de *Eucalyptus* spp. em quatro espaçamentos de plantio na região noroeste de Minas Gerais. **Floresta e Ambiente**, SciELO Brasil, v. 12, p. 1–7, 2006.

MAIA, V. M.; ASPIAZÚ, I.; GALON, L.; GIACOBBO, C. L.; CONCENC, O. G.; DASILVA, A. F.; FERREIRA, E. A.; SODRÉ, G. A. The need of ecologically based weed management approaches in orchard crops. **Ecologically-Based Weed Management: Concepts, Challenges, and Limitations**, Wiley Online Library, p. 286–298, 2023.

MAIRE, G. L.; MARSDEN, C.; NOUVELLON, Y.; GRINAND, C.; HAKAMADA, R.; STAPE, J.-L.; LACLAU, J.-P. MODIS NDVI time-series allow the monitoring of Eucalyptus plantation biomass. **Remote sensing of Environment**, Elsevier, v. 115, n. 10, p. 2613–2625, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.05.017>.

MAJOR, J.; RONDON, M.; MOLINA, D.; RIHA, S. J.; LEHMANN, J. Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna Oxisol. **Plant and Soil**, v. 333, p. 117–128, 2010. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-010-0327-0>. Acesso em 04 jul. 2023.

MALLMANN, V.; ARAGÃO, R. F. R.; PESTANA, V. J.; BARTIERES, E. M. M.; ARAGÃO, L. W. W. R. Sistemas agroflorestais e agroecologia, uma alternativa para recuperação de áreas degradadas. **RealizAção**, v. 5, n. 9, p. 66–72, 2018.

MARTÍN, J. A. R.; ALVARO-FUENTES, J.; GABRIEL, J. L.; GUTIÉRREZ, C.; NANOS, N.; ESCUER, M.; RAMOS-MIRAS, J. J.; GIL, C.; MARTÍN-LAMMERDING, D.; BOLUDA, R. Soil organic carbon stock on the Majorca Island: Temporal change in agricultural soil over the last 10 years. **Catena**, Elsevier, v. 181, p. 104087, 2019.

MARTINS, M. T.; LAGEMANN, M. P.; VOGEL, H. L. M.; BUGS, C. A.; COSTA, E. A.; SCHU-MACHER, M. V. Crescimento e teores nutricionais de *Parapiptadenia rigida* consorciado com pastagem em diferentes espaçamentos e adubação. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 5, n. 2, p. 161–167, 2020.

MARTINS, R. O.; GOMES, I. C.; TELLES, A. D. M.; KATO, L.; SOUZA, P. S.; CHAVES, A. R. Molecularly imprinted polymer as solid phase extraction phase for condensed tannin determination from Brazilian natural sources. **Journal of Chromatography A**, Elsevier, v. 1620, p. 460977, 2020.

MAUCHLY, J. W. Significance test for sphericity of a normal n-variate distribution. **The Annals of Mathematical Statistics, JSTOR**, v. 11, n. 2, p. 204–209, 1940.

MEERT, L.; SOUZA, R. B. de; ALBUQUERQUE, J. O.; PAULA, J. T. de; JASSE, M. E.; RESENDE, F. V.; SILVA, G. P. de P.; SOUSA, J. M. M. Produção orgânica de cenoura com compostos orgânicos elaborados por leira estática aerada. **Horticultura Brasileira**, v. 29, p. S4402–S4407, 2011.

MEHDIZADEH, S. Using AR, MA, and ARMA Time Series Models to Improve the Performance of MARS and KNN Approaches in Monthly Precipitation Modeling under Limited Climatic Data. **Water Resour Manage.** v. 34, p. 263–282, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11269-019-02442-1>.

MELO, B. E. B.; DA SILVA, L. G.; JUNIOR, F. D. C. C.; ALBUQUERQUE, W. R.; CHAVES, A. C. M. V.; RODRIGUES, J. G. M.; SILVA T. G. Sedimentos de tanque de piscicultura na produção de cenoura em sucessão com feijão-caupi. **Revista Agrária Acadêmica**, v. 5, n. 1, p. 68-76, 2022.

MELO, R. R.; CATARINA, T.; RODOLFO JUNIOR, F. Alternativas para exploração sustentável dos recursos florestais no Assentamento Santana, Lagoa Nova, sertão do Rio Grande do Norte. **Revista Brasileira de Agroecologia**, [S.l.], v. 2, n. 2, 2007. Disponível em: <https://revistas.aba-agroecologia.org.br/rbagroecologia/article/view/7252>. Acesso em: 25 jun. 2023.

MENDONÇA, M.P. & LINS, L.V. **Lista Vermelha das Espécies Ameaçadas de Extinção da Flora de Minas Gerais**. Belo Horizonte, Biodiversitas e Fundação Zoo-Botânica de Belo Horizonte, p. 1-65, 2000.

MENEZES, J. B. de; ARAÚJO, M. d. S. B. de; GALVÍNCIO, J. D.; SAMPAIO, E. V. d. S. B.; CORRÊA, A. C. de B. Índice de Vulnerabilidade à Erosão para Uma Bacia na Mesoregião do São Francisco Pernambucano, d Partir das Relações entre Morfogênese e Pedogênese. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 8, n. 2, 2007. DOI: <https://doi.org/10.20502/rbg.v8i2.93>.

MEREDITH, M. P.; STEHMAN, S. V. Repeated measures experiments in forestry: focus on analysis of response curves. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 21, n. 7, p. 957-965, 1991.

MEUNIER, I. M. J.; FERREIRA, R. L. C.; SILVA, J. A. A. O licenciamento de Planos de Manejo Florestal da Caatinga assegura sua sustentabilidade? **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 38, p. 1-7, 2018.

MICCOLIS, A.; PENEIREIRO, F. M.; MARQUES, H. R.; VIEIRA, D. L.; ARCO-VERDE, M. F.; HOFFMANN, M. R.; REHDER, T.; PEREIRA, A. V. Restauração ecológica com sistemas agroflorestais: como conciliar conservação com produção: opções para cerrado e caatinga. Brasília, DF: **Centro Internacional de Pesquisa Agroflorestral**, p. 1-266, 2016.

MICCOLIS, A.; PENEIREIRO, F. M.; VIEIRA, D. L. M.; MARQUES, H. R.; HOFFMANN, M. R. M. Restoration through agroforestry: options for reconciling livelihoods with conservation in the Cerrado and Caatinga biomes in Brazil. **Experimental Agriculture**, Cambridge University Press, v. 55, n. S1, p. 208–225, 2019.

MILLIKEN, G. A.; JOHNSON, D. E. **Analysis of messy data, volume II: Nonreplicated experiments**. [S.l.]: Chapman and Hall/CRC, v. 2, p. 208, 1989.
<https://doi.org/10.1201/9781315172194>.

MITCHELL, J. D.; PELL, S. K.; BACHELIER, J. B.; WARSCHESKY, E. J.; JOYCE, E. M.; CANADELL, L. C.; SILVA-LUZ, C. L. da; COIFFARD, C. Neotropical Anacardiaceae (cashew family). **Brazilian Journal of Botany**, Springer, v. 45, n. 1, p. 139–180, 2022.

MONTEIRO, R.; BEHLING, M.; TONINI, H.; LULU, J.; COLETTI, A.; SHIRATSUCHI, L. Integração entre a lavoura, a pecuária e a floresta: ciência e arte. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AGROPECUÁRIA SUSTENTÁVEL., 8.; INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUSTAINABLE AGRICULTURE, 5., 2016. Sinop. Ciência, tecnologia e inovação para o desenvolvimento sustentável das novas fronteiras agrícolas: **Anais**. Sinop: SIMBRAS, p. 123-140, 2016.

MONRGOMERY, D. C. **Design and analysis of experiments**. New York: J. Wiley, p. 684, 2001.

MORAIS, D. A. E. F.; VASCONCELOS, Â. M. Alternativas para incrementar a oferta de nutrientes no semiárido brasileiro. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Grupo Verde de Agroecologia e Abelhas, v. 2, n. 1, p. 1–24, 2007.

MOREIRA, J.; SIMIONI, F. J.; BUSCHINELLI, C. d. A. A viabilização econômica da cultura do eucalipto. *In*: OLIVEIRA, EB de; PINTO JUNIOR, JE (Ed.). **O eucalipto e a Embrapa: quatro décadas de pesquisa e desenvolvimento**. Brasília, DF: Embrapa, 2021. Cap. 25. P. 907-939. Disponível em:
<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1131903>. Acesso em: 19 dez. 2023.

MORO, G. V.; TORATI, L. S.; LUIZ, D. d. B.; MATOS, F. d. **Monitoramento e manejo da qualidade da água em pisciculturas**. p. 141–169, 2013. **Onde foi publicado?**

MTIBAA, S.; IRIE, M.; HENTATI, O.; TRABELSI, H.; KALLEL, M.; KSIBI, M.; ISODA, H. Soil amendment by sediment from water storage reservoir as a restoration technique in secondary treated wastewater irrigated area at El Hajeb region. **Journal of Arid Land Studies**, v. 22, n. 1, p. 315–318, 2020.

- MUKHLIS, I.; RIZALUDIN, M. S.; HIDAYAH, I. Understanding socio-economic and environmental impacts of agroforestry on rural communities. **Forests**, MDPI, v. 13, n. 4, p. 556, 2022.
- MULLER, M. D.; BRIGHENTI, A. M.; PACIULLO, D. S. C.; MARTINS, C. E.; ROCHA, W. S. D. d.; OLIVEIRA, M. H. S. d. Produção de plantas de pinhão manso em diferentes espaçamentos e tipos de consórcio. **Ciência Rural**, SciELO Brasil, v. 45, p. 1167–1173, 2015.
- MUTUO, P. K.; CADISCH, G.; ALBRECHT, A.; PALM, C.; VERCHOT, L. Potential of agroforestry for carbon sequestration and mitigation of greenhouse gas emissions from soils in the tropics. **Nutrient cycling in Agroecosystems**, Springer, v. 71, p. 43–54, 2005.
- NAIR, P. R. **An introduction to agroforestry**. [S.l.]: Springer Science & Business Media, p. 111-158, 1993.
- NAIR, P. R. Classification of agroforestry systems. **Agroforestry systems**, Springer, v. 3, p. 97–128, 1985.
- NAIR, P. R.; KUMAR, B. M.; NAIR, V. D. Agroforestry systems in the temperate zone. **An Introduction to Agroforestry: Four Decades of Scientific Developments**, Springer, p. 195–232, 2021.
- NAIR, P. Tropical agroforestry systems and practices. **Tropical resource ecology and development**. John Wiley, Chichester. England, p. 1–23, 1984.
- NAIR, P.; KANG, B.; KASS, D. Nutrient Cycling and Soil-erosion Control in Agroforestry Systems. **Agriculture and the environment: bridging food production and environmental protection in developing countries**, Wiley Online Library, v. 60, p. 117–138, 1995.
- NASCIMENTO, D. F. do; LELES, P. S. dos S.; NETO, S. N. de O.; MOREIRA, R. T. S.; ALONSO, J. M. Initial growth of six forest tree species in different spacing conditions. **Cerne**, v. 18, n. 1, p. 159–165, 2011.
- NASCIMENTO, I. S. B.; CUNHA, P. S. J.; PINHO, A. C.; SANTOS, J. V. S.; GALVÃO, J. R. CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS DE *Coriandrum sativum* L. SOB A APLICAÇÃO DE SÓLIDOS SEDIMENTADOS DE TANQUE DE PISCICULTURA. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DAS CIÊNCIAS AGRÁRIAS COINTER – PDVAGRO, 3., 2018. **Anais [S.l.: s.n.]**, 2018. V. 3, p. 1-7. **Rochas e Minerais Industriais – CETEM/**, 2ª Edição, 2008.
- NASCIMENTO, T. S.; FLORIANO, L. S.; PEREIRA, A. I. A.; MONTEIRO, R. N. F.; SALES, M. A. L. PRODUÇÃO DE MUDAS DE PIMENTÃO IRRIGADAS COM EFLUENTES DE PISCICULTURA. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada** v.10, nº.1, p. 449 - 459, Fortaleza, CE, 2016. ISSN 1982-7679 (On-line).
- NEMEC, A. F. L. Analysis of repeated measures and time series: an introduction with forestry examples. Victoria, B.C.: **Biometric Information Handbook**, 1996, n.6. 83p.

NETER, J.; WASSERMAN, W.; KUTNER, M. H. **Applied statistical models**. IL: Irwin, p. 231, 1990.

NIMON, K.; WILLIAMS, C. Evaluating performance improvement through repeated measures: A primer for educators considering univariate and multivariate designs. **Research in Higher Education Journal**, v. 2, p. 1, 2009.

NORBERG, R. A. Theory of growth geometry of plants and self-thinning of plant populations: geometric similarity, elastic similarity, and different growth modes of plant parts. **The American Naturalist**, v. 131, n. 2, p. 220-256, 1988.

OCKENDEN, M. C; DEASY, C; QUINTON, J. N; SURRIDGE B; STOATE, C. Keeping agricultural soil out of rivers: Evidence of sediment and nutrient accumulation within field wetlands in the UK, **Journal of Environmental Management**, v. 135, p. 54-62, 2014.

OLIVEIRA FILHO, J. de S.; VIEIRA, J. N.; Ribeiro da Silva, E. M.; Beserra de Oliveira, J. G.; PEREIRA, M. G.; BRASILEIRO, F. G. Assessing the effects of 17 years of grazing exclusion in degraded semi-arid soils: Evaluation of soil fertility, nutrients pools and stoichiometry. **Journal of Arid Environments**, v. 166, p. 1–10, 2019. ISSN 0140-1963. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140196319300357>. Acesso em: 22 jun. 2023.

OLIVEIRA, D. de; CAMPELLO, E.; GUERRA, J.; RESENDE, A. de; RUMJANEK, N. Plantio do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em um sistema agroflorestral em Seropédica, RJ. In: ARAUJO, F.de CD; DIAS, A.(org.), 1., 2022. **Anais [S.l.: s.n.]**, p. 65-76, 2022.

OLIVEIRA, F. F. de; MOREIRA, R. G.; SCHNEIDER, R. P. Evidence of improved water quality and biofilm control by slow sand filters in aquaculture—a case study. **Aquacultural Engineering**, Elsevier, v. 85, p. 80–89, 2019.

OLIVEIRA, L. G. M.; MARQUES, A.; LOPES, E. D.; GONÇALVES, J. F.; MARTINS, N. S.; PENA, C. A. A.; ARBEX, D. C. Produtividade, adaptabilidade e estabilidade genotípica de clones de *Eucalyptus* spp. e *Corymbia* spp. em diferentes espaçamentos de plantio. **Sci for**, v. 49, p. e3664, 2021. <https://doi.org/10.18671/scifor.v49n131.21>.

OLIVEIRA, L.; BARROS, A. B.; TEIXEIRA, A. L.; CAMPANERUTI, G.; ALVES, V. P. Agrofloresta e seus benefícios salientando as vantagens ambientais. In: Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 1., 2018. **Anais [S.l.: s.n.]**, 2018. v. 9, p. 1–8.

OLIVEIRA, L.; SOUSA, A.; PINHEIRO, J.; NOGUEIRA, D.; SILVA, M. DIAGNÓSTICO DE USO E CONSERVAÇÃO DO SOLO POR AGRICULTORES NO NORDESTE BRASILEIRO. **Enciclopedia Biosfera**, [S.l.], v. 17, n. 32, 2020. Disponível em: <https://conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/38>. Acesso em: 22 jun. 2023.

OLIVEIRA, M. F.; BARRETO-GARCIA, P. A. B.; JÚNIOR, V. da C.; MONROE, P. H. M.; GOMES, V. de S.; SOUSA, J. P. Changes in microbial biomass and activity of tropical soil submitted to successive *Eucalyptus* rotations in the semi-arid region of Brazil. **Geoderma Regional**, Elsevier, v. 29, p. 492, 2022.

OLIVEIRA, T. de; SILVA, S.; SILVA, D.; ALMEIDA, J. Avaliação de mudas de espécies de eucalipto e seu desempenho em sistema silvipastoril no acre. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS*, 12., 2021, Piracicaba. **Anais [S.l.] Piracicaba**, 2021.

OLIVEIRA, V.R. **Crescimento de leguminosas arbóreas e rendimentos de milho e feijão-caupi em sistemas agroflorestais**. Tese (Agronomia: Fitotecnia) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró -RN, p. 130, 2016.

OLMO, M.; VILLAR, R.; SALAZAR, P.; ALBURQUERQUE, J. A. Changes in soil nutrient availability explain biochar's impact on wheat root development. **Plant and Soil**, Springer, v. 399, p. 333–343, 2016.

OWENS, P. N.; BATALLA, R.; COLLINS, A.; GOMEZ, B.; HICKS, D.; HOROWITZ, A.; KONDOLF, G.; MARDEN, M.; PAGE, M.; PEACOCK, D. Fine-grained sediment in river systems: environmental significance and management issues. **River research and applications**, Wiley Online Library, v. 21, n. 7, p. 693–717, 2005.

PACIULLO, D. S. C.; CAMPOS, N. R.; GOMIDE, C. A. M.; CASTRO, C. R. T. d.; TAVELA, R. C.; ROSSIELLO, R. O. P. Crescimento de capim-braquiária influenciado pelo grau de sombreamento e pela estação do ano. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, SciELO Brasil, v. 43, p. 917–923, 2008.

PADOVAN, M.; MAYER, T. d. S.; PEREIRA, Z. Modelo de arranjo agroflorestal biodiverso para restauração ecológica de áreas de preservação permanente, com geração de renda. Dourados: **Embrapa Agropecuária Oeste**. p. 1-38, 2022.

PAES, J. B.; DINIZ, C. E. F.; MARINHO, I. V.; LIMA, C. R. de. Tannin potencial evaluation of six forest species of Brazilian semi-arid region. **Cerne**, v. 12, n. 3, p. 232–238, 2006.

PALANSOORIYA, K. N.; WONG, J. T. F.; HASHIMOTO, Y.; HUANG, L.; RINKLEBE, J.; CHANG, S. X.; BOLAN, N.; WANG, H.; OK, Y. S. Response of microbial communities to biochar-amended soils: a critical review. **Biochar**, Springer, v. 1, p. 3–22, 2019.

PANTERA, A.; MOSQUERA-LOSADA, M.; HERZOG, F.; HERDER, M. D. Agroforestry and the environment. **Agroforestry Systems**, Springer, v. 95, n. 5, p. 767-774, 2021.

PANWAR, N. L.; PAWAR, A.; SALVI, B. L. Comprehensive review on production and utilization of biochar. **SN Applied Sciences**, v. 1, p. 1-19, 2019.

PAREYN, F.; ARAUJO, E. d. L.; DRUMOND, M.; MIRANDA, M. d. A.; SOUZA, C.; SILVA, A. d. S.; BRAZOLIN, S.; MARQUES, K. *Myracrodruon urundeuva*: Aroeira. *In: CORADIN, L.; CAMILLO, J.; PAREYN, FGC (Ed.). Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: plantas para o futuro: região Nordeste*. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Biodiversidade, p. 766-772, 2018.

PASQUOTTO, J. L. D. **Previsão de séries temporais no varejo brasileiro: uma investigação comparativa da aplicação de redes neurais recorrentes de Elman**. 2010. 200f. Dissertação (Mestrado em Administração) — Universidade de São Paulo, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/D.12.2011.tde-24022011-180352>. Acesso em: 11 jun. 2023.

PAYN, T.; CARNUS, J.-M.; FREER-SMITH, P.; KIMBERLEY, M.; KOLLERT, W.; LIU, S.; ORAZIO, C.; RODRIGUEZ, L.; SILVA, L. N.; WINGFIELD, M. J. Changes in planted forests and future global implications. **Forest Ecology and Management**, Elsevier, v. 352, p. 57–67, 2015.

PELL, S. K.. **Molecular systematics of the cashew family (Anacardiaceae)**. Louisiana State University and Agricultural & Mechanical College, p. 1-24, 2004.

PEREIRA, A. I. A.; GUIMARÃES, J. d. J.; COSTA, J. V.; CANTUÁRIO, F. S. de; SALOMÃO, L. C.; OLIVEIRA, R. C. de; LUZ, J. M. Q. Growth of sweet pepper plants submitted to water tensions in soil and potassium silicate doses. **Horticultura Brasileira**, SciELO Brasil, v. 37, p. 82–88, 2019.

PEREIRA, E. L.; DIAS, B. E.; LERIS, B. N.; TANURE, J. de S. Propagação de erros e incertezas em experimentos. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, v. 14, n. 2, p. 1136–1151, 2016.

PEREIRA, J. C. D.; STURION, J. A.; HIGA, A. R.; HIGA, R. C. V.; SHIMIZU, J. Y. Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil. Colombo: **Embrapa Florestas**, p. 1-112, 2000.

PETTER, F. A.; ANDRADE, F. R.; ZUFFO, A. M.; MONTEIRO, M. M. de S.; PACHECO, L. P.; ALMEIDA, F. A. de. Doses e épocas de aplicação de potássio no desempenho agrônomo do milho no cerrado piauiense. **Comunicata Scientiae**, v. 7, n. 3, p. 372–382, 2016.

PICOLI, M. C. A.; CAMARA, G.; SANCHES, I.; SIMÕES, R.; CARVALHO, A.; MACIEL, A.; COUTINHO, A.; ESQUERDO, J.; ANTUNES, J.; BEGOTTI, R. A. Big Earth observation time series analysis for monitoring Brazilian agriculture. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, Elsevier, v. 145, p. 328–339, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2018.08.007>.

POTT, A.; POTT, V. J. Plantas nativas potenciais para sistemas agroflorestais em mato grosso do sul. **Seminário Sistemas Agroflorestais e Desenvolvimento Sustentável**, Embrapa Campo Grande, p. 1-10, 2003.

PRADO, D. E. As Caatingas da América do Sul. **Ecologia e conservação da Caatinga**, v. 2, p. 3-74, 2003.

PULLIN, R. Agro-acuicultura integrada y medio ambiente. In: FAO/ICLARM/IIRR. **Agroacuicultura integrada: manual básico**. Roma: FAO, 2003. p.17-18. (FAO Documento Técnico de Pesca No 407).

PUPIN, S.; FREITAS, M. L. M.; CANUTO, D. S. de O.; SILVA, A. M. da; MARIN, A. L. A.; MORAES, M. L. T. de. Variabilidade genética e ganhos de seleção em progênies de *Myracrodruon urundeuva* Fr. All. **Nativa**, v. 5, n. 1, p. 59–65, 2017.

QUEIROZ, W. T. Introdução ao inventário florestal contínuo. In: ANDRADE, D. F. (Org.). **Análise Multivariada em Inventário Florestal Contínuo**. Belo Horizonte: Editora Poisson, 2021. p. 17-20.

RAMANATHAN, R.; DUAN, Y.; VALVERDE, J.; RANSBEECK, S. V.; AJMAL, T.; VALVERDE, S. Using IoT Sensor Technologies to Reduce Waste and Improve Sustainability in Artisanal Fish Farming in Southern Brazil. **Sustainability**, MDPI, v. 15, n. 3, p. 2078, 2023.

RESENDE, A. d.; CHAER, G.; CAMPELLO, E.; SILVA, A. d. P.; LIMA, K. d.; CURCIO, G. Uso de leguminosas arbóreas na recuperação de áreas degradadas. **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa, v. 8, n. 1, p. 71–92, 2013.

RESENDE, M.; ASSIS, T. Genética e melhoramento do eucalipto. **Colombo, Embrapa Florestas**, p. 15-33, 2009.

RIBASKI, J; RIBASKI, S.A. Sistemas Agroflorestais na Região no Sul do Brasil. In: **Sistemas Agroflorestais e Desenvolvimento Sustentável: 10 anos de Pesquisa**. Campo Grande – MG, p. 1-28, 2013.

RIGHI, C. A.; BERNARDES, M. S. Sistemas agroflorestais: definição e perspectivas. **Cadernos da Disciplina de Sistemas Agroflorestais, Edited by Righi, CA, and MS Bernardes**. ESALQ. Piracicaba-SP, p. 1–6, 2015.

RIGHI, C. A.; BERNARDES, M. S. Sistemas agroflorestais. **Piracicaba: Ed. dos Autores**, 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Ciro-Righi-2/publication/277890812_Cadernos_da_Disciplina_Sistemas_Agroflorestais/links/5b5b8c33a6fdccf0b2fc9feb/Cadernos-da-Disciplina-Sistemas-Agroflorestais.pdf. Acesso em: 04 mar. 2024.

ROCHA, F. T.; LOPEZ, G. A. C.; SPEGEORIN, L.; YOKOMIZO, N. K. S.; MONTAGNA, R. G.; FLORSHEIM, S. Durabilidade natural de madeiras em contato com o solo: V-avaliação final (20 anos). **Revista do Instituto Florestal**, v. 12, n. 1, p. 59–66, 2000.

ROCHA, K. R. da; JÚNIOR, A. J. B. Anova medidas repetidas e seus pressupostos: análise passo a passo de um experimento. **Revista Eletrônica Perspectivas da Ciência e Tecnologia-ISSN: 1984-5693**, v. 10, p. 29-29, 2018.

RODRIGUES, A. C. d. C.; OSUNA, J. T. A.; QUEIROZ, S. R. d. O.; RIOS, A. P. S. Efeito do substrato e luminosidade na germinação de *Anadenanthera colubrina* (Fabaceae, Mimosoideae). **Revista Árvore**, SciELO Brasil, v. 31, p. 187–193, 2007.

RODRIGUES, C. F. S.; LIMA, F. J. C. de; BARBOSA, F. T. Importância do uso adequado da estatística básica nas pesquisas clínicas. **Revista brasileira de anestesiologia**, v. 67, p. 619-625, 2017.

RODRIGUES, J. **Um estudo sobre testes de comparação de médias e sua aplicação condicional a um teste F global significativo na análise de variância**. 2015. 165f. Tese (Doutorado em Ciências: Estatística e Experimentação Agronômica) - Escola Superior de

Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2015. Disponível em:

<https://doi.org/10.11606/T.11.2015.tde-20102015-135011>. Acesso em: 03 jan. 2024.

ROSA, D. K. d. O. F.; BARROS, D. L. de; AIRES, F. P. G.; GOMIDE, P. H. O.

Aproveitamento do resíduo de tanque de piscicultura na produção de mudas de mamoeiro em Rorainópolis. **Ambiente: Gestão e Desenvolvimento**, v. 11, n. 01, p. 120–136, 2018.

ROSSATO, F. G. F.; SUSAETA, A.; ADAMS, D. C.; HIDALGO, I. G.; ARAUJO, T. D. de; QUEIROZ, A. de. Comparison of revealed comparative advantage indexes with application to trade tendencies of cellulose production from planted forests in Brazil, Canada, China, Sweden, Finland and the United States. **Forest Policy and Economics**, Elsevier, v. 97, p. 59–66, 2018.

RYADI, A.; SIREGAR, I.; MOURA, C. de M.; GAILING, O.; AMANDITA, F. Y. An Early Reference to DNA Barcode for the Anacardiaceae Family. **HAYATI Journal of Biosciences**, v. 30, n. 3, p. 543–550, 2023.

SALIN, T. C.; FERREIRA, R. L. C.; ALBUQUERQUE, S. F. de; SILVA, J. A. A. da; JÚNIOR, F. T. A. Caracterização de sistemas agrícolas produtivos no semiárido brasileiro como bases para um planejamento agroflorestal. **Revista Caatinga**, v. 25, n. 2, p. 109–118, 2012.

SALOMÃO, A. N. *Myracrodruon urundeuva*. In: VIEIRA, R. F.; CAMILLO, J.; CORADIN, L. **Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: plantas para o futuro: região Centro-Oeste**. Brasília, DF: MMA, 2016. 1160 p.

SALOMÃO, G. de B.; FERNANDES, S. S. L.; PEREIRA, Z. V.; MOITINHO, M. R.; SILVA, S. de M.; PADOVAN, M. P. 056-Fitosociologia e desempenho de espécies arbóreas em um sistema agroflorestal sob bases agroecológicas em Dourados, Mato Grosso do sul. **Cadernos de Agroecologia**, v. 7, n. 2, p. 1-5, 2012.

SANQUETTA, C. R.; CORTE, A. P. D.; PELISSARI, A. L.; TOMÉ, M.; MAAS, G. C. B.; SANQUETTA, M. N. I. Dynamics of carbon and co₂ removals by Brazilian forest plantations during 1990–2016. **Carbon balance and management**, Springer, v. 13, p. 1–12, 2018.

SANTANA, M.J.S. **Desafios da assistência técnica e extensão rural agroecológica no desenvolvimento sustentável do Semiárido baiano**. Monografia (Especialização Em Gestão Ambiental Em Municípios) - Universidade Tecnológica Federal Do Paraná, Medianeira, p. 48, 2018.

SANTAROSA, E.; JUNIOR, J. P.; GOULART, I. d. R. Transferência de tecnologia florestal: cultivo de eucalipto em propriedades rurais: diversificação da produção e renda. Brasília, DF: **Embrapa**, p. 1-138, 2014.

SANTIAGO, A.; ROSSETTO, R. Cana de açúcar: Adubação orgânica. **Brasília-DF: Agitec-Agência Embrapa de Informação Tecnológica**, p. 55-87, 2009.

SANTOS, A. dos; SAVIANIA, T. V.; MUNIZ, J. A. Regressão não linear no desdobramento da interação em experimentos com parcela subdividida no tempo. **Rev. Bras. Biom**, v. 31, n. 1, p. 379–396, 2013.

SANTOS, F. A. M. dos; LELES, P. S. dos S.; SANTANA, J. E. da S.; NASCIMENTO, D. F. do; MACHADO, A. F. L. Controle químico de plantas daninhas em povoamentos de restauração florestal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, [S. l.], v. 38, 2018. DOI: 10.4336/2018.pfb.38e201701524. Disponível em: <https://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/1524>. Acesso em: 19 dez. 2023.

SANTOS, F. D.; TRICHES, R. M. Diferenças de produtividade entre sistemas convencionais e agroflorestais de culturas alimentares: uma revisão integrativa de literatura. **Revista Faz Ciência**, [S. l.], v. 25, n. 41, 2023. DOI: 10.48075/rfc.v25i41.30738. Disponível em: <https://saber.unioeste.br/index.php/fazciencia/article/view/30738>. Acesso em: 25 jun. 2023.

SANTOS, J. P. de O.; XAVIER, M. A.; FILHO, J. A. da S.; BATISTA, M. C.; NETO, F. C. R. Potentialities of the use of agroforestry systems in the Brazilian semi-arid region. *In*: Colloquium Agrariae. ISSN: 1809-8215. [S. l.: s.n.], 2018. v. 14, n. 2, p. 163–171.

SANTOS, K. F. A. **O manejo do ambiente luminoso em sistemas agroflorestais de usos múltiplos**. 2022. 147 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa em Recursos Florestais, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2022.

SANTOS, M. da S.; CAVALCANTI, S. M. d. V. L.; LOPES, D. V.; BARROS, G. Resistência de espécies vegetais a escassez hídrica em áreas agroflorestais de sequeiro. JORNADA DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO-JEPEX, 8., 2013. **Anais [...]** Recife: UFRPE, 2013.

SANTOS, M. J. C. d.; PAIVA, S. N. d. Os sistemas agroflorestais como alternativa econômica em pequenas propriedades rurais: estudo de caso. **Ciência Florestal**, SciELO Brasil, v. 12, p. 135–141, 2002.

SANTOS, M. M. dos; VIEIRA, K. P.; MOREIRA, E. R.; PRATES, R. G.; OLIVEIRA, T. C. de; FIDELIS, R. R. Crescimento inicial de eucalipto consorciado com feijão-caupi. **Revista Cultura Agrônômica**, v. 27, n. 1, p. 57–66, 2018.

SANTOS, P.; COSTA, R. da. **Manejo de pastagens de capim-tanzânia**. São Carlos, SP: Embrapa Pecuária Sudeste, p. 1-25, 2006.

SANTOS, R. C. **Avaliação nutricional e de crescimento inicial em altura de espécies arbóreas em sistemas agroflorestais na região de Itaparica, Semiárido pernambucano**. 2016. 97. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2016. Disponível em: <http://www.tede2.ufrpe.br:8080/tede2/handle/tede2/5023>. Acesso em: 14 jul. 2023.

SANTOS, S. R.; FILHO, J. F. L.; VERGÜTZ, L.; MELO, L. C. A. Biochar association with phosphate fertilizer and its influence on phosphorus use efficiency by maize. **Ciência e Agrotecnologia**, 43: e025718, 2019.

SANTOS, T. F. M dos. **Aplicação de séries temporais e redes neurais em um ambiente de computação em nuvem**. 2014. p. 92. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014. Disponível em <http://repositorio.ufsm.br/handle/1/8316>. Acesso em: 17 jun. 2023.

SARTO, M.; BORGES, W.; BASSEGIO, D.; NUNES, M.; RICE, C.; ROSOLEM, C. Deep Soil Water Content and Forage Production in a Tropical Agroforestry System. **Agriculture**. [S.l.], v. 12, p.359, 2022.

SATO, R. C. Gerenciamento de doenças utilizando séries temporais com o modelo ARIMA. **Einstein (São Paulo)**, v. 11, p. 128-131, 2013.

SAVIDAN, Y. H.; JANK, L.; COSTA, J. C. G. **Registro de 25 acessos selecionados de Panicum maximum**. [S.l.]: EMBRAPA-CNPQC Campo Grande, p. 1-70, 1990.

SCHEIS, D. M. **Crescimento das árvores e fertilidade do solo em plantios de diferentes materiais genéticos de Eucalyptus spp**. 2019. 82 f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, 2019.

SCHIMMELPFENNIG, Sonja; GLASER, Bruno. One step forward toward characterization: some important material properties to distinguish biochars. **Journal of environmental quality**, Wiley Online Library, v. 41, n. 4, p. 1001-1013, 2012.

SCHMIDT, Amand F.; FINAN, Chris. Linear regression and the normality assumption. **Journal of Clinical Epidemiology**, v. 98, p. 146-151, 2018.

SCHUMACHER, M. V; CECONI, D. E; SANTANA ARRUDA, C. Influência de diferentes doses de fósforo no crescimento de mudas de Angico-vermelho (*Parapiptadenia rigida* (bentham) brenan), **Revista Árvore**, vol. 28, núm. 1, janeiro-fevereiro, p. 149-155, 2004.

SELEIMAN, M. F.; AL-SUHAIBANI, N.; EL-HENDAWY, S.; ABDELLA, K.; ALOTAIBI, M.; ALDERFASI, A. Impacts of long-and short-term of irrigation with treated wastewater and synthetic fertilizers on the growth, biomass, heavy metal content, and energy traits of three potential bioenergy crops in arid regions. **Energies**, MDPI, v. 14, n. 11, p. 3037, 2021.

SEREGHETTI, G. C.; LANC, AS, K. P.; SARTORI, M. S.; REZENDE, M. A.; SOLER, R. R. Efeito do espaçamento no crescimento e na densidade básica da madeira de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* em florestas de ciclo curto. **Energia na Agricultura**, v. 30, n. 3, p. 257–262, 2015.

SERGIO, A. T. **Seleção dinâmica de combinadores de previsão de séries temporais**. 2017. p. 129. Tese (Doutorado em Ciências da Computação) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/25449>. Acesso em: 15 jun. 2023.

SGARBOSSA, J.; ELLI, E. F.; SCHWERZ, F.; NARDINI, C.; KNAPP, F. M.; SCHMIDT, D.; LÚCIO, A. D.; CARON, B. O. Bean–soybean succession under full sun and in agroforestry systems: Impacts on radiation use efficiency, growth and yield. **Journal of Agronomy and Crop Science**, Wiley Online Library, v. 207, n. 2, p. 362–377, 2021.

SHAHRIARI, S.; SISSON, S. A.; RASHIDI, T. Copula ARMA-GARCH modelling of spatially and temporally correlated time series data for transportation planning use. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, v. 146, p. 103-969, 2023.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality (complete samples). **Biometrika**, JSTOR, v. 52, n. 3/4, p. 591-611, 1965.

SIDDIQUE, I.; DIONÍSIO, A.C.; SIMÕES-RAMOS, G.A. (orgs.). **Rede SAFAS: Construindo conhecimentos sobre Agroflorestas em Rede**. Florianópolis: UFSC, 2017. (Série Agroflorestas Agroecológicas do Sul em Rede, v. 3). p.94. Disponível em: https://leap.ufsc.br/files/2017/03/LivroSAFAS_BaixaRes.pdf. Acesso em: 4 out. 2023.

SILVA, D. G.; MANIERI, J.; CUNHA, K. C.; KIM, N. C.; SANTOS, P. A. dos; RODRIGUES, E. R. SISTEMAS AGROFLORESTAIS NO BIOMA CAMPOS SULINOS: UMA BREVE REVISÃO DE LITERATURA. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 6, n. 1, p. 15–19, 2021.

SILVA, J. A. A.; SILVA, I. P. **Estatística experimental aplicada às ciências florestais**. 1.ed. Recife: Imprensa Universitária, UFRPE, p. 1-300, 1982.

SILVA, J. A. da. **Estimativa de crescimento em altura de *Leucena [Leucena leucocephala (Lam.) de Wit.]* por meio de Modelo ARIMA**. 2008. 64f. Dissertação (Mestrado em Biometria e Estatística Aplicada) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2008. Disponível em: <http://www.tede2.ufrpe.br:8080/tede2/handle/tede2/5003>. Acesso em: 17 jan. 2024.

SILVA, J. L. A. da. **Reuso de resíduo orgânico da piscicultura como condicionante de solo no semiárido**. 2017. 105f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, 2017.

SILVA, J. M. D.; MARIN, M. Os impactos socioeconômicos do cultivo de eucalipto: O caso do município de Aratiba-RS. **Perspectiva**, Erechim, v. 35, n. 127, p. 113–122, 2010.

SILVA, J. Pimenta: Adubação orgânica. **Brasília–DF: Ageitec, Agência Embrapa de Informação Tecnológica**, p. 66-125, 2012.

SILVA, J. R. V. da; LIMA, S. A. O. de; CAMARGO, E. E. S. Relação entre casos e óbitos da COVID-19 nos municípios do estado de Rondônia-Brasil: Uma análise de séries temporais diárias. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 10, p. 99503-99520, 2021.

SILVA, J. W. L. **Modelos estatísticos e técnicas de inteligência artificial para estimativa do volume de clones de *Eucalyptus* spp. com adição de variáveis climáticas**. 2020. 172f. Tese (Doutorado em Biometria e Estatística Aplicada) — Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, 2020.

SILVA, J. W. L.; SILVA, J. A. A.; TAVARES, J. A. Volumetric production of *Eucalyptus* spp. clones under different spacing in a severe drought period in the Semi-arid region of Pernambuco, Brazil. **Floresta**, v. 52, n. 1, p. 150-158, 2022.

- SILVA, L. G.; ANDRADE, C. A.; BETTIOL, W. Biochar amendment increases soil microbial biomass and plant growth and suppresses Fusarium wilt in tomato. **Tropical Plant Pathology**, v. 45, p. 73-83, 2020.
- SILVA, L. L. H. d.; OLIVEIRA, E.; CALEGARI, L.; PIMENTA, M. C.; DANTAS, M. K. L. Características dendrométricas, físicas e químicas da *Myracrodruon urundeuva* e da *Leucaena Leucocephala*. **Floresta e Ambiente**, SciELO Brasil, v. 24, 2017.
- SILVA, R. F.; SILVA, J. L. A.; ARAÚJO, M. do S. B.; FAUSTINO, O. W. C. Qualidade do resíduo de tanques de produção de alevinos como condicionante de solos no semiárido de Pernambuco: subsídios para gestão ambiental. **Gaia Scientia**, [S. l.], 2014. Disponível em: <https://periodicos.ufpb.br/index.php/gaia/article/view/18018>. Acesso em: 6 jul. 2023.
- SILVA, R. M. A. da; AQUINO, J. R. de; COSTA, F. B.; NUNES, E. M. Características produtivas e socioambientais da agricultura familiar no semiárido brasileiro: evidências a partir do censo agropecuário de 2017. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 55, p. 314-338, 2020.
- SILVEIRA, A. G.; MATTOS, V. L. D.; KONRATH, A. C. Avaliação da estacionariedade e teste de cointegração em séries temporais o caso da demanda de energia elétrica residencial no Brasil. **RETEC-Revista de Tecnologias**, v. 9, n. 3, p.75-79, 2016.
- SINGER, J. M.; ROCHA, F. M. M.; NOBRE, J. S. **Análise de medidas repetidas**. In: JORNADA DE ESTATÍSTICA. Anais, Maringá: UEM, v. 4. p. 120, 2004.
- SINGH, V.; RANA, R. K.; SINGHAL, Richa. Análise de dados de medições repetidas nos ensaios clínicos. **Jornal de Ayurveda e medicina integrativa**, v. 4, n. 2, pág. 77, 2013.
- SMIDERLE, O. J.; MINAMI, K. Emergência e vigor de plântulas de goiaba em diferentes substratos. **Revista Científica Rural**, v. 6, n. 1, p. 38-45, 2001.
- SOLOS, Embrapa. Sistema brasileiro de classificação de solos. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos: Rio de Janeiro**, v. 2, p. 55-132, 2006.
- SORJAMAA, A.; HAO, J.; REYHANI, N.; JI, Y.; LENDASSE, A. Methodology for long-term prediction of time series. **Neurocomputing**, v. 70, n. 16-18, p. 2861-2869, 2007. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925231207001610>. Acesso em: 11 jun. 2023.
- SOUZA, C. E. M. de; BÔAS, O. V.; DURIGAN, G. SOBREVIVÊNCIA E CRESCIMENTO DE ESPÉCIES TROPICAIS MADEIREIRAS EM CONSÓRCIO COM ESPÉCIE PIONEIRA EM DIFERENTES PROPORÇÕES. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 27, n. 2, p. 155–165, 2015. DOI: 10.4322/rif.2015.012. Disponível em: <https://rif.emnuvens.com.br/revista/article/view/154>. Acesso em: 7 jul. 2023.
- SOUZA, H. de; CASTRO, F. de; OLIVEIRA, M. de; ROSA, T.; FILHO, L. R. Avaliação preliminar de espécies potenciais para produção de biomassa em sistemas agroflorestais. **In: Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica**, 15., 2021, Campinas, São Paulo, 2021.

Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/229815/1/Ramos-Filho-Avaliacao-preliminar-2021.pdf>. Acesso em: 17 jul. 2023.

SPYRIDES, M. H. C.; STRUCHINER, C. J.; BARBOSA, M. T. S.; KAC, G. Análise de dados com medidas repetidas. **Epidemiologia Nutricional**. Rio de Janeiro: Fiocruz e Atheneu, p. 245–60, 2007.

STEEL, R. G. D.; TORRIE, J. H. **Principles and procedures of Statistics: a biometrical approach**. New York, NY, USA: McGraw-Hill, p. 633, 1986.

TRAZZI, P. A.; HIGA, A. R.; DIECKOW, J.; MANGRICH, A. S.; HIGA, R. C. V. Biocarvão: realidade e potencial de uso no meio florestal. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 28, n. 2, p. 875-887, 2018. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509832128>.

TUKEY, John W. Comparing individual means in the analysis of variance. **Biometrics**, Wiley, International Biometric Society, v. 5, n. 2, p. 99-114, 1949. ISSN 0006341X, 1510420. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/3001913>. Acesso em: 18 set. 2023.

VALENZUELA, O.; ROJAS, I.; ROJAS, F.; POMARES, H.; HERRERA, L.; GUILLEN, A.; MARQUEZ, L.; PASADAS, M. Hybridization of intelligent techniques and Arima models for time series prediction. **Fuzzy Sets and Systems**, v. 159, n. 7, p. 821–845, 2008. ISSN 0165-0114. Theme: Fuzzy Models and Approximation Methods. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0165011407005039>. Acesso em: 22 jun. 2023.

VARELLA, A. C.; BARRO, R. S.; SILVA, J. L. S. da; SILVA, V. Porfírio-da; SAIBRO, J. C. de. Silvopastoral systems in the cold zone of Brazil. **Silvopastoral Systems in Southern South America**, Springer, p. 231–255, 2016.

VIEIRA, F. T. P. d. A.; SILVA, J. A. A. d.; FERREIRA, R. L. C.; CRUZ, M. A. O. M. d.; FERRAZ, I. Uma abordagem multivariada em experimento silvipastoril com *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit no Agreste de Pernambuco. **Ciência Florestal**, SciELO Brasil, v. 17, p. 333–342, 2007.

VIEIRA, L. V. **Modelos paramétricos de matrizes de covariância para medidas repetidas: um estudo de simulação sobre o ajuste, o erro e o poder estatístico em modelos lineares mistos**. 2021. 149 f. Tese (Doutorado em Ciências Agrônomicas) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2021. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/items/09c8345d-7832-4099-8746-7b2bae961b1c>. Acesso em: 09 abr. 2024.

VIEIRA, R. D. **Pressuposições e a análise de variância de experimentos agropecuários em software livre**. 2016. 30f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Instituto Federal Goiano Campus Morrinhos, Morrinhos, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ifgoiano.edu.br/handle/prefix/929>. Acesso em: 02 mar. 2024.

VOCI, S. M.; SLATER, B.; SILVA, M. V.; MARCHIONI, D. M. L.; LATORRE, M. R. D. O. Estudo de calibração do Questionário de Frequência Alimentar para Adolescentes (QFAA). **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 16, p. 2335-2343, 2011.

VUONG, Q. V.; CHALMERS, A. C.; BHUYAN, D. J.; BOWYER, M. C.; SCARLETT, C. J. Botanical, phytochemical, and anticancer properties of the *Eucalyptus* species. **Chemistry & biodiversity**, Wiley Online Library, v. 12, n. 6, p. 907–924, 2015.

WALTER, K.; GUNKEL, G; GAMBOA, N., An assessment of sediment reuse for sediment management of Gallito Ciego Reservoir, Peru. **Lakes & Reservoir: Research and Management**, v.17, p. 310-314, 2012.

WANG, J.; XIONG, Z.; KUZYAKOV, Y. Biochar stability in soil: meta-analysis of decomposition and priming effects. **Gcb Bioenergy**, Wiley Online Library, v. 8, n. 3, p. 512–523, 2016.

WATZLAWICK, Luciano Farinha; BENIN, Cristiane Carla. Variáveis dendrométricas e produção de *Eucalyptus benthamii* em diferentes espaçamentos. In: **Colloquium Agrariae. ISSN: 1809-8215**. 2020. p. 111-120.

WOODING, W. M. The split-plot design. **Journal of Quality Technology**, Taylor & Francis, v. 5, n. 1, p. 16-33, 1973.

WORDEN, K.; IAKOVIDIS, I.; CROSS, E. J. New results for the ADF statistic in nonstationary signal analysis with a view towards structural health monitoring. **Mechanical Systems and Signal Processing**, v. 146, p. 106979, 2021.

WU, C. J.; HAMADA, M. S. **Experimentos: planejamento, análise e otimização**. John Wiley e Filhos, p. 66-92, 2011.

XAVIER, L. H.; DIAS, C. T. S. dos. Acurácia do modelo univariado para análise de medidas repetidas por simulação multidimensional. **Scientia Agricola**, v. 58, p. 241-250, 2001.

ZELLER, L.; PRETZSCH, H. Effect of forest structure on stand productivity in Central European forests depends on developmental stage and tree species diversity. **Forest Ecology and Management**, v. 434, p. 193-204, 2019.

ZHANG, G. Peter. A neural network ensemble method with jittered training data for time series forecasting. **Information Sciences**, v. 177, n. 23, p. 5329-5346, 2007.

ZHOU, Y.; ZHU, Y.; WONG, W. K. Statistical tests for homogeneity of variance for clinical trials and recommendations. **Contemporary Clinical Trials Communications**, p. 101-119, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conctc.2023.101119>.

ZUUR, A. F.; IENO, E. N.; ELPHICK, C. S. A protocol for data exploration to avoid common statistical problems. **Methods in ecology and evolution**, v. 1, n. 1, p. 3-14, 2010.