



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

FRANCIELE DE SOUZA ROCHA

**Aplicação foliar de ácidos fúlvicos em mudas do híbrido de *Eucalyptus urophylla* x
*Eucalyptus grandis***

Prof. Dr. José Carlos Arthur Junior
Orientador

SEROPÉDICA, RJ
JULHO – 2024



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

FRANCIELE DE SOUZA ROCHA

**Aplicação foliar de ácidos fúlvicos em mudas do híbrido de *Eucalyptus urophylla* x
*Eucalyptus grandis***

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal, como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Florestal, Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Prof. Dr. José Carlos Arthur Junior
Orientador

SEROPÉDICA, RJ
JULHO – 2024

**Aplicação foliar de ácidos fúlvicos em mudas do híbrido de *Eucalyptus urophylla* x
*Eucalyptus grandis***

FRANCIELE DE SOUZA ROCHA

APROVADA EM: 24/07/2024

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. José Carlos Arthur Junior – UFRRJ
Orientador

Dra. Danielle França de Oliveira Torchia – UFRRJ
Membro

Prof. Dr. Andrés Calderín García – UFRRJ
Membro

Dedico esse trabalho a Deus, aos meus pais, cujo o esforço e dedicação permitiram a conclusão do meu curso, e aos meus amigos por todo carinho e apoio.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por estar ao meu lado em todos os momentos da minha trajetória, principalmente nos momentos difíceis, dando-me forças para prosseguir o meu caminho.

Agradeço à minha família, especialmente aos meus pais, José Adão Rocha e Regina Maria de Souza Rocha, por todo apoio, luta e dedicação para que eu pudesse estudar e ser a primeira da minha família a cursar o ensino superior. Obrigada por sempre acreditarem, incentivarem e lutarem pelos meus estudos e sonhos. Sem esse apoio, nada disso seria concretizado.

Agradeço à Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro pela minha educação e formação, bem como todas as vivências acadêmicas e sociais que pude ter durante esses anos.

Agradeço ao Instituto de Florestas do meu curso de Engenharia Florestal, por fornecer uma base sólida de conhecimento e um ambiente motivador. Sou grata a todos os professores e funcionários que contribuíram na minha formação.

Agradeço ao Prof. Dr. José Carlos Arthur Junior pela oportunidade, confiança, incentivo e orientação na minha formação. Sou grata por todo o conhecimento e ensinamentos que me ajudaram e incentivaram a crescer profissionalmente. Obrigada por tudo, principalmente por acreditar e estimular o desenvolvimento desse trabalho.

Agradeço ao Prof. Dr. Andrés Calderín García do Laboratório e do Grupo de Pesquisa de Química Biológica do Solo da UFRRJ pela oportunidade, suporte e ensinamentos que me auxiliaram na realização desse trabalho e formação profissional.

Agradeço ao laboratório de Química Biológica do Solo da UFRRJ por todo o suporte e incentivo para a realização do meu trabalho, bem e também a todos os colegas do laboratório que sempre me ajudaram e incentivaram durante meu estágio e na realização dessa pesquisa

Agradeço ao pessoal do Viveiro Florestal “Fernando Luiz de Oliveira Capellão” da UFRRJ por todo o conhecimento, suporte, paciência e ajuda com as minhas mudas e a condução do meu experimento.

Agradeço aqui aos meus amigos e amigas de longa e recente data, de Muzambinho a Rural, que sempre me ajudaram e incentivaram. Em especial, agradeço aos amigos Lucas (Marinho), Jesua (Jê), Diego (Bloguerinho), Kimberly (Kim), Danielle (Dani), Pedro (Pedroca), Melania (Mel), Leonardo (Jaguaririca), Guilherme (Gui), Jaqueline Gomes (Jaque), Jaqueline Vilaça (Jaquinha), Carol (Cora), Laís, Eduardo (Dudu), Juliana (Ju), Alessandra (Alê), Sanderson (Sandrinho) e Marcelo (Marcelinho), pelo todo suporte, apoio, ombro amigo, conselhos, incentivos, risadas, choros e comemorações que vocês me deram e proporcionaram. Obrigada por todos os momentos incríveis que pude passar com vocês antes e durante essa jornada, dos cafés da tarde às tardes de análises. Obrigada!

RESUMO

Este trabalho investigou o efeito da aplicação foliar de doses crescentes (0, 20, 40, 60, 80, 100 e 120 mg.L⁻¹) de ácidos fúlvicos extraídos do excremento da mosca-soldado-negro (FRASS) e do biossólido (BIO) em mudas de *Eucalyptus Urophylla* x *Eucalyptus grandis* (*E. urograndis*). A pesquisa foi conduzida em um delineamento inteiramente casualizado, com seis tratamentos e a dose controle (0 mg.L⁻¹) e quatro repetições, totalizando 28 parcelas experimentais. Foram avaliados os parâmetros morfológicos de padrão de qualidade de mudas florestais: altura total (H), diâmetro do coleto (DC), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR), massa seca total (MST), relação altura pelo diâmetro do coleto (H:DC) e o índice de qualidade de Dickson (IQD). Os resultados mostraram que a aplicação de ácidos fúlvicos do FRASS e do BIO não promoveram diferenças estatísticas significativas em relação aos seus controles para a maioria das variáveis avaliadas, com exceção da H. Para esta, em função dos resultados das equações e gráficos, observando a tendência dos mesmos (linear), foi entendível que essa significância pode ter sido resultado de um efeito aleatório. Conclui-se que os AF do FRASS e do BIO não acarretaram efeito significativo nas variáveis mensuradas, não afetando significativamente os padrões de qualidade das mudas de *E. urograndis* produzidas.

Palavras-chave: produção de mudas; bioestimulantes; ácidos fúlvicos, *Eucalyptus*.

ABSTRACT

This study investigated the effect of foliar application of increasing doses (0, 20, 40, 60, 80, 100 and 120 mg.L⁻¹) of fulvic acids extracted from black soldier fly excrement (FRASS) and biosolids (BIO) on *Eucalyptus Urophylla* x *Eucalyptus grandis* (*E. urograndis*) seedlings. The research was conducted in a completely randomized design, with six treatments and the control dose (0 mg.L⁻¹) and four replicates, totaling 28 experimental plots. The morphological parameters of quality standard of forest seedlings were evaluated: total height (H), stem diameter (SC), shoot dry mass (SDM), root dry mass (RSM), total dry mass (TSM), height to stem diameter ratio (H:SC) and Dickson quality index (DQI). The results showed that the application of fulvic acids from FRASS and BIO did not promote statistically significant differences in relation to their controls for most of the variables evaluated, with the exception of H. For this, based on the results of the equations and graphs, observing their tendency (linear), it was understandable that this significance may have been the result of a random effect. It is concluded that the AF from FRASS and BIO did not cause a significant effect on the measured variables, not significantly affecting the quality standards of the *E. urograndis* seedlings produced.

Keywords: seedling production; biostimulants; fulvic acids, *Eucalyptus*.

SUMÁRIO

| | |
|--|------|
| LISTA DE TABELAS | vii |
| LISTA DE FIGURAS | viii |
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 2. REVISÃO DE LITERATURA | 3 |
| 2.1 EUCALIPTO | 3 |
| 2.2 <i>EUCALYPTUS UROGRANDIS</i> – <i>EUCALYPTUS UROPHYLLA</i> X <i>EUCALYPTUS GRANDIS</i> | 7 |
| 2.3 PRODUÇÃO DE MUDAS FLORESTAIS – ASPECTOS GERAIS | 9 |
| 2.4 PADRÃO DE QUALIDADE DE MUDAS FLORESTAIS..... | 10 |
| 2.5 BIOESTIMULANTES | 13 |
| 2.6 SUBSTÂNCIAS HÚMICA..... | 15 |
| 2.7 ÁCIDOS FÚLVICOS | 17 |
| 2.8 BIOSSÓLIDO..... | 19 |
| 2.9 EXCREMENTO (FRASS) DA LARVA DA MOSCA-SOLDADO-NEGRO (BLACK SOLDIER FLY - BSF) | 20 |
| 3. MATERIAL E MÉTODOS | 22 |
| 3.3 MONTAGEM EXPERIMENTO | 22 |
| 3.1 COLETA DOS MATERIAIS E OBTENÇÃO DOS AF | 23 |
| 3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS AF..... | 24 |
| 3.4 PARÂMETROS DE QUALIDADE | 25 |
| 3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA..... | 29 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 30 |
| 5. CONCLUSÃO | 36 |
| 6. CONSIDERAÇÕES | 36 |
| 7. REFEERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 37 |

LISTA DE ABREVIações E SÍMBOLOS

AF – Ácido fúlvico

AH – Ácido húmico

BIO - Biossólido

BSF – Black Soldier Fly

DAS – Dias após a semeadura

DC – Diâmetro do coleto

FRASS - Excremento

H – Altura

H/DC – Relação altura/diâmetro do coleto

IQD – Índice de qualidade de Dickson

MSPA – Massa seca da parte aérea

MSPA/MSR – Relação massa seca da parte aérea/massa seca da raiz

MSR – Massa seca da raiz

MST – Massa seca total

SH – Substâncias húmicas

TABELA

| | |
|--|----|
| TABELA 1 – PRINCIPAIS ESPÉCIES DO GÊNERO <i>EUCALYPTUS</i> SPP. PLANTADOS NO BRASIL. | 5 |
| TABELA 2 – RESULTADO DA ANÁLISE QUÍMICA DOS ÁCIDOS FÚLVICOS (AF) DO BIOSSÓLIDO (BIO) E DO EXCREMENTO DA MOSCA-SOLDADO-NEGRO (FRASS-BSF). | 24 |
| TABELA 3 – RESUMOS DOS VOLUMES MÉDIO TOTAL DE CADA APLICAÇÃO (V1, V2, V3, V4, V5 = ML) DE CADA TRATAMENTO (DOSES CRESCENTES = MG.L-1), DE AMBOS OS AF (FRASS E BIO), DO VOLUME MÉDIO TOTAL AO FINAL DE TODAS AS APLICAÇÕES POR TRATAMENTO (MÉDIA.MUDA -1) E A QUANTIDADE MÉDIA DE AF FINAL QUE CADA MUDA RECEBEU DE CADA TRATAMENTO (DOSE REAL = MG.MUDA-1). | 28 |
| TABELA 4 - VALORES DO F CALCULADO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA DAS VARIÁVEIS ALTURA (H), DIÂMETRO DO COLETO (DC), RELAÇÃO ALTURA X DIÂMETRO DO COLO (H:DC), MASSA DE MATÉRIA SECA DE PARTE AÉREA (MSPA), MASSA DE MATÉRIA SECA DE RAIZ (MSR), MASSA DE MATÉRIA SECA TOTAL (MST) E ÍNDICE DE QUALIDADE DE DICKSON (IQD) DAS MUDAS DO HÍBRIDO DE <i>EUCALYPTUS UROPHYLLA</i> X <i>EUCALYPTUS GRANDIS</i> AOS 82 DIAS APÓS A SEMEADURA, EM RELAÇÃO A DOSES CRESCENTES DE ÁCIDOS FÚLVICOS (AF) EXTRAÍDOS DO EXCREMENTO DE LARVA DA MOSCA-SOLDADO-NEGRO (FRASS) E DO BIOSSÓLIDO (BIO) DE LODO DE ESGOTO..... | 30 |

FIGURAS

| | |
|--|----|
| FIGURA 1 – 1A) RECIPIENTE DAS SEMENTES DE <i>EUCALYPTUS UROGRANDIS</i> DO IPEF. 1B) SEMENTES DO <i>E. UROGRANDIS</i> | 22 |
| FIGURA 2 – RECIPIENTE COM COBERTURA DE VERMICULITA PÓS SEMEADURA DA ESPÉCIE <i>E. UROGRANDIS</i> | 23 |
| FIGURA 3 – 3A) PULVERIZADOR MANUAL UTILIZADO PARA A APLICAÇÃO. 3B) PROVETA GRADUADA UTILIZADA PARA A MEDIÇÃO DOS VOLUMES..... | 25 |
| FIGURA 5 – 4A) DISPOSIÇÃO DAS 35 MUDAS DE UMA DAS DOSES DE UMA DAS FONTES DE AF NA BANDEJA PLANA ANTES DA PULVERIZAÇÃO FOLIAR. 4B-C) MOMENTO DA PULVERIZAÇÃO FOLIAR SOBRE AS MUDAS DE UM TRATAMENTO DE UMA DAS FONTES DE AF.NA. 4D) MUDAS PÓS PULVERIZAÇÃO FOLIAR..... | 26 |
| FIGURA 5: 5A-B) BANDEJA BRANCA COLETORA DO VOLUME PERDIDO PELA PULVERIZAÇÃO FOLIAR. 5C-D) VISTA DA BANDEJA PLANA (COM AS MUDAS) ENCAIXADA NA BANDEJA COLETORA.FIGURA 6 – 4A) DISPOSIÇÃO DAS 35 MUDAS DE UMA DAS DOSES DE UMA DAS FONTES DE AF NA BANDEJA PLANA ANTES DA PULVERIZAÇÃO FOLIAR. 4B-C) MOMENTO DA PULVERIZAÇÃO FOLIAR SOBRE AS MUDAS DE UM TRATAMENTO DE UMA DAS FONTES DE AF.NA. 4D) MUDAS PÓS PULVERIZAÇÃO FOLIAR..... | 26 |
| FIGURA 5: 5A-B) BANDEJA BRANCA COLETORA DO VOLUME PERDIDO PELA PULVERIZAÇÃO FOLIAR. 5C-D) VISTA DA BANDEJA PLANA (COM AS MUDAS) ENCAIXADA NA BANDEJA COLETORA. | 27 |
| FIGURA 7 – 1A) RECIPIENTE DAS SEMENTES DE <i>EUCALYPTUS UROGRANDIS</i> DO IPEF. 1B) SEMENTES DO <i>E. UROGRANDIS</i> .FIGURA 5: 5A-B) BANDEJA BRANCA COLETORA DO VOLUME PERDIDO PELA PULVERIZAÇÃO FOLIAR. 5C-D) VISTA DA BANDEJA PLANA (COM AS MUDAS) ENCAIXADA NA BANDEJA COLETORA..... | 27 |
| FIGURA 6 – CRESCIMENTO MÉDIO EM ALTURA (H) (A), DIÂMETRO DO COLETO (DC) (B) E RELAÇÃO ALTURA X DIÂMETRO DO COLO (H:DC) (C) DE MUDAS DO HÍBRIDO DE <i>EUCALYPTUS UROPHYLLA X EUCALYPTUS GRANDIS</i> AOS 82 DIAS APÓS A SEMEADURA EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE DOSES CRESCENTES DE ÁCIDOS FÚLVICOS (AF) DE FRASS (1) E BIOSSÓLIDO (BIO) (2); * SUPERIOR AOS DEMAIS TRATAMENTOS PELO TESTE DE MÉDIAS DE SCOTT KNOTT À 5% . | 31 |
| FIGURA 7 – CRESCIMENTO MÉDIO EM ALTURA (H) DE MUDAS DO HÍBRIDO DE <i>EUCALYPTUS UROPHYLLA X EUCALYPTUS GRANDIS</i> ENTRE 35 E 77 DIAS APÓS A SEMEADURA EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE DOSES CRESCENTES DE ÁCIDOS FÚLVICOS DE EXTRAÍDOS DO FRASS E DO BIOSSÓLIDO (BIO) NAS NAS CONCENTRAÇÕES 0 (A), 20 (B), 40 (C), 60 (D), 80 (E), 100 (F) E 120 (G) MG L ⁻¹ ; ** COEFICIENTES E EQUAÇÕES SIGNIFICATIVAS À 1% | 32 |
| FIGURA 8 – ACÚMULO MÉDIO DE MASSA DE MATÉRIA SECA DA PARTE AÉREA (MSPA) (A), DE MASSA DE MATÉRIA SECA DE RAIZ (MSR) (B), DE MASSA DE MATÉRIA SECA TOTAL (MST) (C) E ÍNDICE DE QUALIDADE DE DICKSON (IQD) (D) DAS MUDAS DO HÍBRIDO DE <i>EUCALYPTUS UROPHYLLA X EUCALYPTUS GRANDIS</i> AOS 82 DIAS APÓS A SEMEADURA, EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE DOSES CRESCENTES DE ÁCIDOS FÚLVICOS (AF) DE FRASS (1) E BIOSSÓLIDO (BIO) (2); * INFERIOR AOS DEMAIS TRATAMENTOS PELO TESTE DE MÉDIAS DE SCOTT KNOTT À 5% . | 33 |

1. INTRODUÇÃO

As espécies do gênero *Eucalyptus* são amplamente preferidas para o plantio devido a sua versatilidade, rápido crescimento e alta produtividade, que atrelada a baixos custos tornam o eucalipto uma escolha econômica viável, com significativas contribuições ao setor florestal brasileiro (VALADARES; LANDAU; MAIA, 2020). Do total da área de floresta plantada no Brasil (9,94 milhões de hectares), segundo IBÁ (2023), 76% é ocupado por eucalipto. Esses plantios ajudam a preservar matas nativas, principalmente pela não exploração de recursos florestais das mesmas, além do seu potencial para capturar até 50 toneladas de CO₂ por hectare por ano (GATTO, 2005 ; GATTO et al., 2010).

No entanto, o sucesso da implantação e produção florestal estão diretamente relacionados à qualidade das mudas utilizadas nos plantios. Mudas com qualidade são capazes de resistir às condições adversas encontradas nas áreas florestadas e reflorestadas, consequentemente apresentam maior taxa de sobrevivência e de crescimento (SCHORN; FORMENTO, 2003), reduzindo a necessidade de replantio e a frequência dos tratos culturais de manutenção (WENDLING et al., 2021), resultando em menores custos.

Diante de sua relevância, encontrar alternativas de manejo que proporcionem melhoria da qualidade das mudas é crucial para manter e elevar a produtividade florestal. Nesse sentido, a utilização de bioestimulantes pode ser uma prática significativa. Os bioestimulantes podem ser compreendidos como substâncias ou microrganismos aplicados às plantas que incluem substâncias húmicas (SH), hormônios, aminoácidos e outros compostos bioativos.

Esses compostos podem aumentar a assimilação de nutrientes, estimular a fotossíntese, melhorar a resposta ao estresse e aumentar a produção de compostos bioativos nas plantas, contribuindo para um crescimento mais vigoroso e saudável das mudas (CASTRO et al., 2020). Possuem potencial para agir como biorreguladores e bioativos nas plantas por poderem interferir nos processos morfológicos e fisiológicos (CASTRO; CAMPOS; CARVALHO, 2019).

As SH são compostos orgânicos complexos originados da decomposição de resíduos orgânicos vegetais e animais, conhecidos por sua capacidade de melhorar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (GARCÍA et al., 2018). Quanto sua solubilidade, podem ser classificados em: ácidos fúlvicos (AF), que são solúveis em meio alcalino e ácido; ácidos húmicos (AH), que são solúveis em meio alcalino e as huminas que não são solúveis tanto em pH ácido quanto alcalino (GARCÍA et al., 2018). Alguns estudos vêm demonstrando os benefícios dos AF em diversas culturas. No trabalho de Abdel-Baky et al. (2019), os autores observaram que maiores concentrações de AF aplicados via foliar em cultivares de fava resultaram em plantas mais altas, com mais folhas, maior peso seco e fresco, além de um aumento na área foliar e taxa de crescimento. A aplicação foliar dos ácidos fúlvicos (AF) pode melhorar significativamente a adubação e os processos metabólicos das plantas ao transportar minerais diretamente para dentro das células vegetais (MARZOUK et al., 2020).

Porém, um dos maiores desafios para a ampla aplicação dos AF está relacionado ao tipo de matéria-prima e ao método de extração adotado. O desenvolvimento de fontes para a produção de ácidos fúlvicos (AF), a partir de resíduos orgânicos, pode evitar a escassez natural de matéria-prima.

No setor florestal, o biossólido oriundo do tratamento de esgoto, rico em matéria orgânica e nutrientes, utilizado como fertilizante e condicionador de solo em plantios comerciais, recomposição florestal, recuperação de áreas degradadas e na produção de mudas

florestais (ABREU, 2014), pode ser uma fonte promissora para extração de ácidos fúlvicos. O mesmo pode ser considerado para outro resíduo que se destaca, o excremento da mosca-soldado-negro (BSF), conhecido como FRASS. É um subproduto da digestão de resíduos alimentares pelas larvas da BSF, rico em nutrientes e compostos orgânicos, que pode ser utilizado como um biofertilizante de qualidade após compostagem adequada e transformação microbiológica. Além de fornecer nutrientes essenciais, o FRASS pode conter compostos bioativos como as SH (GÄRTTLING; SCHULZ, 2022)(LOPES; YONG; LALANDER, 2022).

Portanto, ambos os resíduos podem ser fontes de ácidos fúlvicos para a agricultura e silvicultura, justificando a importância de pesquisas adicionais sobre seus efeitos bioestimulantes na produção de mudas florestais. É importante destacar que há carência de estudos que avaliem esses possíveis efeitos na produção de mudas florestais.

Diante disso, o objetivo é avaliar a qualidade de mudas da espécie híbrida de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* (*E. urograndis*), em resposta a aplicação via foliar de doses crescentes de ácidos fúlvicos extraídos de biossólido e do excremento (FRASS) da larva da mosca-soldado-negro.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Eucalipto

O gênero *Eucalyptus spp* foi descrito botanicamente pela primeira vez em 1788 pelo botânico francês Charles Louis L' Héritier de Brutelle. Nativo da Oceania, sendo a maioria das espécies da Austrália, é pertencente à família das *Myrtaceas*. São reconhecidas botanicamente aproximadamente 600 espécies do gênero, os quais possuem propriedades químicas e físicas diversificadas que faz com que os “eucaliptos” tenham os mais variados uso como: na fabricação de lenha, de estacas, de moirões, de dormentes, de carvão vegetal, de celulose de papel, de laminados e compensados, de móveis, de medicamentos, de perfumes, entre outros (VALADARES; LANDAU; MAIA, 2020); (OSIPE; OSIPE; ADEGAS, 2021).

As espécies pertencentes ao gênero *Eucalyptus* têm sido amplamente preferidas para o plantio devido ao seu elevado potencial econômico, derivado da sua versatilidade quanto às suas finalidades e usos, rápido crescimento e adaptação a diferentes regiões ecológicas (SANTAROSA et al., 2014); VALADARES et al., 2020). Além disso, sua alta taxa de produção média de madeira, a qual atingiu 32,6 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ em média nacional em 2022, conforme indicado pelo relatório do Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ, 2023) em 2023, também contribui para essa preferência. Adicionalmente, a qualidade da madeira produzida desempenha um papel significativo na atratividade dessas espécies para fins comerciais.

Quanto à introdução do gênero *Eucalyptus* no Brasil, há controvérsias em relação à data específica de sua chegada. Existem relatos que sugerem que os primeiros exemplares foram introduzidos em plantios nas áreas do Jardim Botânico e Museu Nacional do Rio de Janeiro nos anos de 1825 e 1868, respectivamente. Alguns estudiosos têm convicção de que os primeiros plantios podem ter ocorrido no Rio Grande do Sul, em 1868, por iniciativa de Joaquim Francisco de Assis Brasil, um dos primeiros brasileiros a demonstrar interesse pelo gênero (“Eucalipto - Portal Embrapa”, 2019). De qualquer forma, independentemente da controvérsia, é certo que até o início do século XX, as plantas desse gênero eram cultivadas aqui com fins paisagísticos e ornamentais, estando presentes em coleções de jardins botânicos.(“Eucalipto - Portal Embrapa”, 2019);(OSIPE; OSIPE; ADEGAS, 2021).

Os primeiros estudos com o objetivo de avaliar outros usos além dos ornamentais das espécies desse gênero ocorreram em Portugal, em 1865. No Brasil, esses estudos tiveram início nos anos de 1904, sendo liderados pelo engenheiro agrônomo Edmundo Navarro de Andrade. Andrade tinha como objetivo inicial buscar novas alternativas florestais para suprir a demanda por lenha, dormentes, postes, mourões pela Companhia Paulista de Estradas de Ferro (FOELKEL, 2005b).

As espécies desse gênero foram consideradas devido ao seu rápido crescimento e rusticidade. Algumas das espécies que foram introduzidas nos hortos florestais da própria companhia obtiveram resultados satisfatórios quanto à qualidade da madeira produzida (OSIPE et al., 2021). Após os resultados promissores dessas pesquisas sobre a viabilidade e a produção comercial das espécies do gênero *Eucalyptus* no território brasileiro, os primeiros plantios foram estabelecidos no início das primeiras décadas do século XX e expandiram-se consideravelmente a partir da década de 1960, impulsionados pelo Programa de Incentivos

Fiscais ao Reflorestamento de 1966 e pelo I e II Plano Nacional de Desenvolvimento, de 1972 e 1974, respectivamente.

O Programa de Incentivo Fiscais ao Reflorestamento possibilitou que indústrias de base florestal passassem a investir em plantios voltados ao fornecimento de matéria-prima para as indústrias siderúrgicas, visando programas de substituição do carvão mineral pelo vegetal obtido a partir de florestas plantadas. Com a criação do programa, houve uma expansão da área reflorestada/florestada no Brasil saltando de 500 mil hectares (ha) em 1964 para quase 5,9 milhões ha em 1984 (as fases da silvicultura no Brasil). Essas ações estimularam e incentivaram o reflorestamento/florestamento, bem como o Programa Nacional de Papel e Celulose de 1974, o Programa de Siderurgia a Carvão Vegetal e pelo Programa de Substituição Energética (ANTONANGELO; BACHA, 1998).

A partir desse momento, o avanço da eucaliptocultura no Brasil é notavelmente impulsionado pela perspectiva de utilizar a madeira de certas espécies do gênero *Eucalyptus* para fins energéticos, como a geração de lenha e carvão vegetal, juntamente com o sucesso evidente em sua aplicação na indústria de celulose e papel (ANTONANGELO; BACHA, 1998)

Nos últimos 40 anos, vários mecanismos e inovações no campo político, institucional e científico possibilitaram o aumento da área plantada e da produtividade das florestas cultivadas, especialmente as com espécies do gênero *Eucalyptus* (SANTAROSA et al., 2014; (OSIPE; OSIPE; ADEGAS, 2021). Segundo IBÁ (2023), em 2022, a área de florestas plantadas no Brasil era de aproximadamente 9,94 milhões de hectares, sendo 7,6 milhões de hectares cultivados com eucalipto, 1,9 milhões de hectares por pinus e 0,5 milhões de hectares por outras culturas florestais. Em termos percentuais, atualmente, as florestas plantadas de eucalipto correspondem a cerca de 76% da área total das florestas plantadas no Brasil.

De acordo com o relatório do IBÁ (2023), a produtividade média do eucalipto com casca no Brasil em 2022 foi de 32,7 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, variando entre 20 a 42,4 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, com um ciclo médio entre 6 a 7 anos.

Existem benefícios indiretos relativos à presença das árvores no sistema produtivo, como a diminuição da erosão, pela cobertura do solo e aumento da infiltração de água, a ciclagem de nutrientes de camadas mais profundas do solo e o sequestro de carbono atmosférico, o efeito da sombra sobre o conforto de animais criados em sistema silvipastoril (PORFÍRIO-DA-SILVA, 2009), que contribui para a manutenção do potencial produtivo e para a sustentabilidade das propriedades rurais.

Das quase 600 espécies descritas botanicamente do gênero *Eucalyptus spp.*, aproximadamente 20 espécies que são exploradas comercialmente. No Brasil, as principais espécies do gênero plantadas são *Eucalyptus benthamii*, *Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus cloeziana*, *Eucalyptus dunnii*, *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus tereticornis*, *Eucalyptus urophylla* e o híbrido *Eucalyptus urophylla x Eucalyptus grandis* (Tabela 1).

O setor florestal tem se tornado cada vez mais importante no cenário econômico nacional. Segundo o relatório do IBÁ (2023), a receita bruta gerada pelo setor passou de R\$244,6 bilhões em 2021 para R\$260,0 bilhões em 2022. Ainda de acordo com o mesmo relatório, a participação do setor no PIB nacional, em 2022, foi de 1,3%, atingindo sua maior marca desde 2012.

As florestas plantadas provêm entre 30% a 60% da demanda global de madeira em tora para fins industriais. Representam apenas 7% das florestas mundiais, sendo que apenas 3% são florestas de produção (aproximadamente 130 milhões de hectares). O Brasil detém

aproximadamente 7% das florestas de produção mundial (aproximadamente 10 milhões de hectares). As florestas plantadas cobrem cerca de 1% do território nacional e essa pequena fração é capaz de suprimir quase 90% da oferta de madeira em tora industrial, 81,5% do carvão vegetal e 63% da lenha produzida internamente (OLIVEIRA et al., 2022).

Tabela 1 – Principais espécies do gênero *Eucalyptus* spp. plantados no Brasil.

| Espécies | Uso (s) Principal (ais) |
|---|---|
| <i>Eucalyptus benthamii</i> | Lenha, carvão e celulose. Não é recomendado o uso da madeira para serraria por apresentar empenamentos e rachaduras internas durante a secagem, além de rachaduras de topo das toras e tábuas. |
| <i>Eucalyptus camaldulensis</i> | Serraria, dormentes, mourão, postes, lenha e carvão. Possui alta resistência mecânica e baixa permeabilidade. Além de ser muito utilizada na Austrália como fonte de mel, produzindo um alto rendimento de néctar em boas estações, além de fornecer às abelhas pólen de boa qualidade. |
| <i>Eucalyptus cloeziana</i> | Cruzetas, decks, dormentes, mourões, porteiros, playgrounds, ponte e postes (necessário utilizar produtos preservantes) Além de usada na indústria moveleira (maior valor agregado) e ocasionalmente cultivada com árvore de sombra nas zonas rurais ligadas à atividade agrosilvipastoris. |
| <i>Eucalyptus dunnii</i> | Lâminas para painéis compensados, serraria e indústria moveleira. |
| <i>Eucalyptus grandis</i> | Uso geral Porém, é destinado em sua maioria para a produção de celulose e papel, painéis de fibra e aglomerado e produtos de serraria. Também pode ser utilizada na construção civil leve (ripas, tábuas, lambris, andaimes e entre outros). |
| <i>Eucalyptus saligna</i> | Postes, mourões, dormentes, painéis à base de fibra, tacos, moveis e laminados. Além de ser uma espécie potencial para a produção de mel uma vez que possuiu uma quantidade razoavelmente abundante de pólen. |
| <i>Eucalyptus tereticornis</i> | Serraria, estruturas, construção civil, moirões e postes. Além de ser uma espécie com alto potencial na fabricação de celulose e papel por apresentar alto teor de holocelulose (mesmo apresentando elevados teores de extrativos e lignina) e densidade média. |
| <i>Eucalyptus Urophylla</i> | Uso geral Sendo mais indicada para carpintaria (estrutural) do que marcenaria (móveis). |
| <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>Eucalyptus grandis</i> – <i>Urograndis</i> | Papel e celulose, lenha, carvão vegetal, serraria em geral, construção civil, móveis, pontaltes, laminação e postes, estacas. |

Fonte: Gontijo et al. (2018).

O Brasil ocupa a segunda posição no ranking mundial de produção de celulose, ficando atrás dos Estados Unidos, sendo produzido um total de 25 milhões de toneladas em 2022, dos quais 19 milhões foram destinados à exportação e o restante para o mercado interno. Porém, é o principal exportador de celulose a nível mundial, ocupando a 1ª posição no ranking, representando 8,4 bilhões de dólares, enquanto o segundo colocado – Estados Unidos, com 7,7 bilhões de dólares em 2022. Em termos quantitativos, 22 milhões de toneladas de celulose desse total foram produzidas a partir de madeira de folhosas (angiospermas) (IBÁ, 2023).

Também lidera o ranking global de produtores de carvão vegetal, com cerca de 7 milhões de toneladas produzidas em 2022, com quase totalidade da produção voltada para o

mercado interno. Desse total, 6,9 milhões de toneladas de carvão vegetal foram obtidas a partir da madeira extraída de florestas plantadas. Segundo o relatório do IBÁ (2023), para o mesmo ano, foram produzidas 7,8 milhões de toneladas de ferro-gusa a partir de carvão vegetal, de um total produzido de 32,4 milhões de toneladas, representando 24,1% da produção total nacional.

Já em relação a produção de madeira serrada nos últimos anos, o Brasil ocupa a 10ª posição no ranking mundial dos 10 maiores produtores de madeira serrada, produzindo em média 8, milhões de m³, sendo que 5 milhões de m³ são para o mercado interno e 3,2 milhões para exportação (IBÁ, 2023).

Além dos benefícios econômicos dos plantios de eucalipto, especialmente no setor florestal brasileiro, é importante destacar alguns benefícios ambientais que desafiam certos mitos difundidos sobre a cultura. Estes mitos se baseiam em plantios mal implementados e mal manejados entre as décadas de 1960 e 1980, período em que houve incentivos fiscais para os plantios florestais, conforme mencionado anteriormente. Segundo Amorin et al. (2021), um desses benefícios é a proteção das matas nativas contra a supressão, uma vez que existem mais de sete milhões de hectares de florestas plantadas com eucalipto destinadas a indústrias e à produção de subprodutos que seriam explorados das florestas nativas. Conforme os dados do relatório do IBÁ (2023), a área conservada da cadeia de árvores plantadas em 2022 atingiu 6,73 milhões de hectares, incluindo 4,75 milhões de hectares de Reserva Legal (RL) e 1,89 milhão de hectares de Áreas de Preservação Permanente (APP). Além disso, é responsável, direta e indiretamente, pela gestão de cerca de 100 mil hectares de Reservas Particulares do Patrimônio Natural (RPPNs), distribuídas em todos os biomas brasileiros.

Outro benefício ambiental é a proteção do solo contra a erosão hídrica. Em plantios de eucalipto bem manejados, a ação erosiva das gotas de chuva sobre a superfície do solo é amenizada pela presença das copas das árvores, por meio do processo de interceptação, sendo um mecanismo bastante eficiente em relação à quantidade de água interceptada, evitando assim que as gotas caiam diretamente sobre a superfície do solo (AMORIM et al., 2021). No trabalho de (COSTA et al., 2018), em que selecionaram 10 eventos com maiores intensidades de precipitações para um determinado período e mediante coletas de amostras de solo, observaram que nas áreas cultivadas com eucalipto houve uma menor tendência à desagregação/erosão.

No trabalho de (MARTINS et al., 2010), visando determinar as perdas de solo e de água causadas pela erosão hídrica em florestas de produção de eucalipto, floresta nativa e solo cultivado convencionalmente e descoberto, revelou que as perdas de solo das florestas de eucalipto eram próximas às das florestas nativas.

Além disso, a serapilheira presente nas florestas plantadas de eucalipto (que representam aproximadamente 76% da área total de florestas plantadas no Brasil) desempenha um papel importante na ciclagem de nutrientes, sendo uma fonte de matéria orgânica para o solo e contribuindo para a proteção da camada superficial do solo nesses ambientes. Segundo Foelkel (2005a), alguns estudos têm revelado que os plantios de eucalipto retornam para o solo e para a floresta entre 60% a 70% do nitrogênio absorvido do solo, entre 35% a 60% do fósforo, entre 55% a 80% do potássio, entre 40% a 60% do cálcio e 55% a 70% do magnésio, desmistificando dessa a questão de que plantar eucalipto empobrece o solo (AMORIM et al., 2021).

Adicionalmente aos benefícios ambientais, as florestas plantadas contribuem para a mitigação do dióxido de carbono (CO₂), um dos gases do efeito estufa (GEE). O sequestro de CO₂ pelas árvores é um processo natural que ocorre por meio da fotossíntese, sendo bastante intenso nos estágios iniciais do crescimento das árvores (DI VITA et al., 2017); (AMORIM et al., 2021). As florestas em estágios iniciais de crescimento tendem a funcionar como sumidouros de CO₂, enquanto as florestas maduras atuam como reservatórios de carbono. As florestas plantadas desempenham um papel importante, especialmente aquelas formadas com

espécies de eucalipto que possuem um ciclo rápido (entre 6 a 7 anos, dependendo do uso e finalidade).

Foi nesse contexto, quanto ao papel das florestas na retenção de CO₂, que surgiu o Protocolo de Quioto e, em 1997, no Japão, a criação do conceito de crédito de carbono que, inicialmente, tinha como meta a redução de GEEs em 5% em relação aos níveis existentes nos anos 90. Atualmente, o crédito de carbono está relacionado a uma certificação eletrônica emitida quando é comprovada a redução de gases lançados na atmosfera pelas indústrias (AMORIM et al., 2021). Segundo (GATTO et al., 2010), as plantações de eucalipto podem imobilizar pelo menos 50 toneladas de CO₂ por hectare por ano da atmosfera, representando uma opção eficaz para a captura de carbono. Além da remoção e armazenamento de carbono nas florestas, o setor também contribui para evitar emissões por meio do uso de produtos de origem florestal em vez de fontes não renováveis, como por exemplo a geração de energia limpa (IBÁ, 2020); AMORIM et al., 2021).

É possível inferir que o gênero *Eucalyptus* spp. desempenha um papel significativo no contexto botânico, histórico, cultural, comercial e ambiental. Sua ampla utilização em diversos setores econômicos, aliada aos benefícios ambientais proporcionados por plantios bem manejados, reforça a importância dessa espécie no cenário nacional e global.

Considerando a relevância econômica e ambiental das florestas plantadas com espécies de *Eucalyptus*, é fundamental promover práticas de manejo sustentável e investir em pesquisas que visem aprimorar a eficiência produtiva e a mitigação dos impactos ambientais. Além disso, a conscientização sobre os benefícios das florestas plantadas, aliada a políticas públicas eficazes, pode contribuir para a expansão responsável desse setor, garantindo a sustentabilidade econômica e ambiental a longo prazo.

Nesse sentido, a continuidade de estudos científicos, o fomento à inovação tecnológica e a implementação de boas práticas de manejo florestal são essenciais para assegurar a contribuição positiva do gênero *Eucalyptus* para a economia, o meio ambiente e a sociedade como um todo. A busca por um equilíbrio entre o desenvolvimento econômico e a preservação ambiental é um desafio constante, e o gênero *Eucalyptus* representa uma oportunidade para conciliar esses objetivos de forma sustentável e responsável.

A garantia de que as mudas utilizadas nos plantios apresentem características genéticas desejáveis, aliadas a boas práticas de manejo, é fundamental para assegurar a produtividade e a sustentabilidade dos plantios de eucalipto. Além disso, a qualidade das mudas influencia diretamente a eficiência produtiva, a resistência a pragas e doenças, e a capacidade das florestas plantadas em cumprir seu papel na mitigação dos impactos ambientais.

Investir em pesquisas e tecnologias que visem aprimorar a produção de mudas de *Eucalyptus*, bem como promover a disseminação de conhecimentos sobre a seleção e manejo adequado das mesmas, é crucial. A busca por métodos inovadores de propagação, a seleção de genótipos superiores e a implementação de práticas de produção que garantam a qualidade das mudas são estratégias que podem contribuir significativamente para a maximização dos benefícios econômicos e ambientais proporcionados.

Portanto, a produção de mudas de *Eucalyptus* de qualidade não apenas fortalece a base produtiva do setor florestal, mas também contribui para a preservação e a sustentabilidade dos recursos naturais

2.2 *Eucalyptus urograndis* – *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*

O *Eucalyptus urograndis* é uma espécie híbrida, resultante do cruzamento *E. grandis* x *E. urophylla*, sendo principalmente caracterizado pelo seu desenvolvimento acelerado, tolerante às doenças e às adversidades climáticas e gera produtos de qualidade.

O *E. grandis* tem como características principais o rápido crescimento, aspectos silviculturais desejáveis e alta produtividade de madeira. No trabalho de Gonçalves et al. (2012), em estudo de mapeamento de solos e da produtividade de *E. grandis*, observaram que o incremento médio anual (IMA) da madeira nas plantações variou entre 26 a 52 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ sob diferentes tipos de solo, evidenciando-se sua boa produtividade.

O emprego da madeira proveniente dessas espécies é vasto, predominantemente direcionado para a fabricação de celulose e papel, combustíveis, painéis de fibra e aglomerados, produtos provenientes de serrarias, construção civil leve, entre outros fins. Adicionalmente, destaca-se na indústria moveleira devido à facilidade de usinagem de sua madeira (serrada, torneada, lixada, furada e malhetada), além de apresentar boa aderência à cola e ser prontamente suscetível à pintura e ao polimento (GONTIJO, 2018).

É suscetível a doenças como a ferrugem (*Puccinia psidii*), cancro (*Cryphonectria cubensis*, *Valsa ceratosperma*), oídio (*Oidium* sp.) e entre outras. Contudo, devido à grande variabilidade genética da espécie, é possível a seleção dos genótipos mais resistentes e tolerantes a diversas doenças. Em relação às pragas, é suscetível às saúvas (*Atta* spp.), quenquéns (*Acromyrmex* spp), cupins (famílias: *Kalotermitidae*, *Rhinotermitidae* e *Termitidae*), lagartas desfolhadoras (*Thyrinteina arnobia* e *Glena* spp.), a vespa-da-galha (*Leptocybe invasa*) a qual acarreta danos severos em plantios jovens, e entre outras (SANTAROSA et al., 2014).

Já o *E. urophylla* se destaca pela alta plasticidade, resistência ao déficit hídrico e alta variabilidade clinal — ocorre numa grande faixa de altitude, podendo atingir desde o nível do mar até 3.000 mil metros de altura, a uma distância geográfica muito curta. Essa adaptação proporciona variabilidade suficiente para ocorrer desde solos rasos e pobres até profundos e férteis, além de permitir que a espécie se adapte a uma grande variação de temperatura e precipitação. Adicionalmente, a espécie possui a capacidade de extrair água de grandes profundidades e armazená-la no caule, o que lhe permite manter um ritmo constante de crescimento ao longo do ano, resultando em produtividade elevada, independentemente das precipitações ou do armazenamento de água nas camadas superficiais do solo. As árvores podem atingir 30 a 60 metros de altura, com um fuste bem formado (CRISTINA TORDIN, 2021).

O *E. urophylla* é resistente ao cancro do eucalipto (*Cryphonectria cubensis*), o que, aliado à sua alta plasticidade de adaptação, confere-lhe um grande potencial para as regiões tropicais úmidas. A madeira é de uso amplo, sendo que, sob a ocorrência natural, é empregada em estruturas e construções que requerem grande resistência (GONTIJO, 2018).

Dessa combinação interespecífica, entre essas duas espécies de eucalipto, esperam-se árvores vigorosas, com madeira de maior densidade, o que é eficiente para a produção de energia. Segundo (FARIA et al., 2013), a junção das características de crescimento em altura do *E. grandis* com o crescimento em diâmetro do *E. urophylla* promove melhorias no rendimento e qualidade da madeira do *E. urograndis*. Além de resultar em árvores mais vigorosas e com madeira de qualidade, as espécies de *E. urograndis* conferem maior resistência ao cancro – característica do *E. urophylla* – e são amplamente utilizadas em plantios comerciais para produção de celulose, carvão e madeira serrada (além da maior tolerância ao déficit hídrico, cujo *grandis* é ruim).

2.3 Produção de Mudanças florestais – aspectos gerais

A produção de mudas florestais é uma das mais importantes atividades dentro da silvicultura porque representa o início de uma cadeia de operações que objetivam o estabelecimento de florestas e povoamentos. Deste modo, o sucesso da implantação e produção florestal estão relacionados diretamente a qualidade das mudas produzidas (SCHORN; FORMENTO, 2003). Com isso, torna-se necessário a produção de mudas com características que permitam resistir às condições adversas encontradas nas áreas florestadas/reflorestadas, com crescimento satisfatório.

A produção de mudas de espécies lenhosas pode ser realizada através da propagação sexuada (seminal) e vegetativa (clonal). Atualmente e muito em função dos avanços tecnológicos, a maioria dos plantios de florestas de eucalipto são feitos por mudas clonais.

Embora a produção de mudas clonais seja cada vez mais empregada, há situações em que a produção de mudas por semente é a mais indicada, como por exemplo, a indisponibilidade de clones testados e adaptados às condições de solo e clima da região de plantio. Isso porque as chances de se perder um plantio oriundo de mudas clonais com um clone não adaptado à região de plantio é sensivelmente maior quando comparado com mudas originárias de sementes as quais contém maior variabilidade genética (WENDLING; DUTRA; IVAR WENDLING, 2017); (WENDLING et al., 2021).

A produção de mudas pelo método sexuada tem como principal insumo a semente. A qualidade das mudas está diretamente relacionada à obtenção de sementes de alta qualidade, provenientes de fornecedores confiáveis e credenciados pelos órgãos governamentais competentes, garantindo assim a qualidade das sementes. Porém, se houver dificuldade de encontrar sementes de determinada espécie no mercado, pode-se proceder com a coleta dessas em plantas de matrizes previamente selecionadas, observando certos critérios que corroborem com o objetivo pretendido (WENDLING; DUTRA; GROSSI, 2006).

A produção de mudas via sementes pode ser realizada por meio da semeadura direta ou semeadura indireta. A primeira refere-se à semeadura diretamente no recipiente de cultivo, enquanto a segunda refere-se à semeadura realizada na sementeira para sua germinação e depois realizar o transplante das plântulas (repicagem) para o recipiente de cultivo

Quando a opção é pela semeadura direta, normalmente são colocadas de 2 a 3 sementes para assegurar a germinação de pelo menos uma delas. Contudo, caso todas germinem, torna-se necessário proceder ao desbaste, uma prática de manejo empregada para remover o excesso de plântulas, mantendo apenas uma que apresente vigor nutricional e fitossanitário adequado, que apresenta um caule mais retilíneo, o que favorece um bom crescimento e desenvolvimento durante o ciclo produtivo, essencial para a produção de mudas de qualidade.

Já a semeadura indireta, também conhecida como transplante, é um método que envolve a germinação das sementes e, posteriormente, o transplante das plântulas para o recipiente de cultivo. Essa técnica consiste em utilizar uma infraestrutura conhecida como sementeiras com substrato, o qual será responsável por proporcionar um ambiente (fisicamente falando) favorável à germinação de sementes (areia). É empregada quando não se conhece a viabilidade dos lotes das sementes, percentual de germinação ou se possuem ou não alguma dormência.

Em relação aos recipientes de cultivo, há diversos tipos disponíveis no mercado ou que podem ser confeccionados com certa facilidade, sendo que os mais comuns na produção de mudas de eucalipto são os tubetes de polipropileno de 55 cm³ ou de 55 ml. Uma das vantagens dos tubetes em relação aos demais recipientes é seu menor diâmetro (ocupando menor área no viveiro), menor peso, reutilização, maior possibilidade das operações de produção (como alternarem) e redução considerável no custo de transporte e distribuição das mudas. Quanto ao

substrato, há diversos componentes que podem ser utilizados na mistura como: terra de subsolo, composto orgânico, vermiculita, areia, serragem, moinha de carvão, esterco animal e entre outros. Atualmente, encontram-se no mercado substratos esterilizados, livres de pragas e doenças, formulados especialmente para a produção de mudas. A escolha do substrato irá depender dos recursos disponíveis, da técnica de propagação adotada, dos recipientes disponíveis, do tempo de permanência das mudas no viveiro e entre outros. Na propagação via semente, utilizando-se como recipiente o tubete, deverá ser utilizado substrato leve, evitando substratos densos como terra de subsolo.

Adubações periódicas são realizadas durante o processo de produção de mudas a fim de permitir a produção de mudas de boa qualidade e em menor tempo. São realizadas a adubação de base, referente ao fornecimento de nutrientes na fase inicial de desenvolvimento das mudas, e a adubação de cobertura, a qual é uma adubação de manutenção. Há literaturas que recomendam adubação para mudas florestais e eucaliptos, como os trabalhos de Gonçalves et al. (2000), Wendling et al. (2006) e Wendling et al. (2021).

O local dedicado à produção de mudas florestais em qualidade e quantidade é denominado de viveiro florestal. Trata-se de uma área ou superfície de terreno com características específicas, destinada à produção, manejo e proteção das mudas até que atinjam idade e tamanho suficientes para serem transplantadas para um local definitivo, resistindo às condições adversas do mesmo ao passo que tenham um bom desenvolvimento.

A produção de mudas de espécies florestais em viveiros é importante devido à fragilidade dessas mudas, ao precisarem de proteção durante a fase inicial e de práticas de manejo que permitam um crescimento uniforme, tanto em altura quanto no sistema radicular, bem como uma rustificação tal que, após o plantio no campo, permitam-nas resistirem às condições adversas lá encontradas, sobreviverem e depois crescerem satisfatoriamente (GOMES, 2001).

2.4 Padrão de Qualidade de Mudas Florestais

Nos plantios, a utilização de mudas de baixa qualidade podem resultar em baixo crescimento, menor taxa de sobrevivência, reduzida resistência a pragas e doenças, e, conseqüentemente, menor produtividade. Por outro lado, mudas de alta qualidade apresentam maior resistência às condições adversas do ambiente a qual estão inseridas, contribuindo para a redução da frequência de tratos culturais, aumento da taxa de sobrevivência e, conseqüentemente, menor necessidade de replantio, contribuindo para a redução dos custos de produção (RUDEK et al., 2013 ; WENDLING et al., 2021), além de resultar em plantios menos heterogêneos em termos de crescimento e desenvolvimento.

A determinação da qualidade da muda pode se basear tanto em parâmetros morfológicos quanto em parâmetros fisiológicos (STURION; ANTUNES, 2000); GOMES, 2001 ; (GUIMARÃES, 2023). As características morfológicas são as mais fáceis de mensurar, rápidas, simples, confiáveis, baratas, não destrutivas, e têm sido amplamente utilizadas para a avaliação da qualidade das mudas de espécies florestais, uma vez que tem sido capaz de prever o desempenho em campo de diferentes espécies florestais (GUIMARÃES, 2023). Entre esses parâmetros, destacam-se a altura (H), diâmetro, número de folhas, massa seca e volume da raiz, e os indicadores ou índices de qualidade da muda como a razão altura da parte aérea/diâmetro (H:D), razão massa seca da parte aérea e das raízes (MSPA:MSR) e do índice de qualidade de Dickson (IQD) (GUIMARÃES, 2023). Os parâmetros morfológicos e os índices resultantes desses poderão ser utilizados de forma conjunta ou isolada para a classificação e seleção de mudas seguindo um padrão de qualidade (GOMES, 2001).

Vale ressaltar que, a qualidade morfológica e fisiológica das mudas está em função da qualidade genética e da procedência das sementes ou do material de propagação, das condições ambientais do viveiro, do substrato utilizado, do tipo de recipiente utilizado, dos métodos e das tecnologias empregadas na produção de mudas, dos cuidados para prevenção de incidências de pragas e entre outros (RUDEK et al., 2013).

Segundo Gomes (2001), as características morfológicas para a classificação e seleção das mudas de eucaliptos, com padrão de qualidade desejável são: altura entre 15 a 30 cm e diâmetro do colo de aproximadamente 2 mm, além de apresentar um sistema radicular bem desenvolvido, com raiz principal reta e sem enovelamento, boa agregação das raízes ao substrato, boa rigidez da haste, sem deficiência nutricional visível, bom aspecto fitossanitário e entre outras. Já Wendling & Dutra (2017), para o eucalipto, a altura da parte aérea está entre 15 a 25 cm e um diâmetro de colo maior que 2 mm.

A altura está relacionada com a superfície fotossinteticamente ativa, sendo que uma maior biomassa aérea pode estar relacionada a maior assimilação de carbono. É uma medida que sempre esteve relacionada positivamente com o crescimento e sobrevivência das espécies, entretanto, alguns autores encontraram uma relação negativa ou nula (GOMES, 2001) (GUIMARÃES, 2023). Não se recomenda selecionar mudas considerando apenas um único parâmetro, há risco de selecionar mudas mais altas, porém fracas, em detrimento de mudas menores, mas com maior vigor. Mudas muito altas e com pequeno diâmetro de colo são consideradas de qualidade inferior em relação a mudas menores e com diâmetro de colo maior (STURION; ANTUNES, 2000).

No trabalho de Gomes (2001), o autor observa que, estando definida a altura ideal para o plantio (que pode ser variável em função da espécie, da qualidade do sítio, das práticas adotadas para a implantação do povoamento e afins), as idades das mudas têm relevância na sua qualidade, principalmente na rusticidade e conseqüente sobrevivência e crescimento inicial. Nesse mesmo trabalho, o autor comenta que a recomendação ideal para a produção de mudas seminais (via semente) de eucalipto seja de aproximadamente 90 dias e que, ao considerar essa idade como ideal, as mudas de diferentes alturas terão também qualidades diferentes.

Já o diâmetro do coleto, também é de fácil mensuração e obtido sem a destruição da planta. É considerado como uma medida importante para estimar a sobrevivência em campo após o plantio, de diferentes espécies. Um maior diâmetro do coleto está associado a um desenvolvimento acentuado das partes aéreas e, em especial, do sistema radicular (STURION; ANTUNES, 2000). Como já mencionado, esses parâmetros morfológicos não devem ser utilizados de forma isolada, mas dentre eles, o diâmetro do coleto, sozinho ou combinado com a altura, é uma das melhores características morfológicas para predizer o padrão da qualidade das mudas.

O padrão da qualidade das mudas de várias espécies florestais possui alta correlação com o diâmetro do coleto e isso pode ser observado nos significativos aumentos nas taxas de sobrevivência pós plantio. Contudo, algumas pesquisas têm encontrado resultados contrários, como, por exemplo, os trabalhos de Pezzutti & Caldato (2011) e Budiman et al. (2015), que não encontraram relação do diâmetro do coleto com o crescimento e sobrevivência ao avaliar mudas de *Pinus taeda* e *Anthocephalus cadamba*, respectivamente (GUIMARÃES, 2023). Contudo, é uma variável que possui uma forte correlação com as demais características das mudas, chegando a explicar de 70% a 80% das diferenças do peso da matéria seca que ocorrem entre elas (GOMES, 2001).

A biomassa seca também é parâmetro morfológico importante para a qualidade da muda. Tanto a sobrevivência quanto o crescimento inicial das mudas após o plantio no campo estão diretamente relacionadas com o peso da matéria seca dessas. Quanto à biomassa seca,

deve ser considerado o peso da biomassa seca da raiz, parte aérea e total. O peso da biomassa seca da raiz tem sido recomendado como um dos melhores e mais importantes parâmetros para estimar a sobrevivência e o crescimento inicial das mudas no campo. Já para a biomassa seca da parte aérea, é um bom indicador quanto a resistência (GOMES, 2001).

Com essas informações, é possível obter outros índices como a relação MSPA:MSR, que reflete a capacidade das raízes de suportar a biomassa acima do solo, não apenas para suporte, mas também para absorção de água e nutrientes, pois, geralmente, como essas mudas são plantadas a pleno sol, precisam investir mais em sistema radicular para aumentar a absorção de água em função da maior transpiração. Um balanço equilibrado no investimento entre a parte aérea e o sistema radicular pode ser determinante para o melhor desempenho em campo (GUIMARÃES, 2023). Adicionalmente, quanto menor a razão entre altura e massa seca da parte aérea, mais a planta é lignificada e maior é sua capacidade de sobreviver no campo (GOMES et al., 2002).

Há também a relação altura da parte aérea/diâmetro do coleto (H:DC), o qual é também denominado de quociente de robustez. Em função da fácil medição tanto da altura quanto do diâmetro do coleto e por não ser um método destrutivo, pode ser considerada e aplicada para muitas espécies florestais. É um dos parâmetros morfológicos mais importantes para estimar o crescimento das mudas após o plantio definitivo no campo. O valor resultante dessa divisão indica um equilíbrio de crescimento, pois relaciona dois importantes parâmetros morfológicos em um só índice, além de apresentar informações de quanto a muda está delgada. Quanto menor for o resultado desse índice, maior será a capacidade das mudas sobreviverem e se estabelecerem na área de plantio definitivo (GOMES, 2001; GUIMARÃES, 2023).

Dentre os indicadores preferencialmente utilizados quanto a qualidade das mudas, o IQD é um dos mais completos para a avaliação da qualidade de mudas florestais porque são utilizados para o seu cálculo a robustez (relação H/DC) e o equilíbrio da distribuição da biomassa (MSPA/MSR) (ELOY et al., 2013). Esse índice de qualidade foi desenvolvido estudando o comportamento de mudas de *Picea glauca* e *Pinus monficola*. É calculado através da seguinte fórmula:

$$IQD = \frac{MST}{MST (H/DC) + (MSPA/MSR)}$$

Onde:

IQD: Índice de qualidade de Dickson;

MST: Massa seca total (g);

H: Altura (cm);

DC: Diâmetro do coleto (mm);

MSPA: Massa seca da parte aérea (g);

MSR: Massa seca da raiz (g).

Quanto maior for o IQD, melhor é a qualidade da muda produzida. A literatura evidencia que é uma medida variável, podendo ser em função da espécie, do manejo das mudas no viveiro, do tipo e proporção dos substratos, do volume do recipiente e, principalmente, de acordo com a idade em que a muda foi avaliada. O IQD é um índice importante e é considerado como metodologia ponderada.

A adoção de práticas de manejo e tecnologias que garantam a qualidade das mudas florestais é fundamental para assegurar um desenvolvimento robusto dos plantios. Nesse contexto, a utilização de bioestimulantes emerge como uma estratégia promissora, especialmente quando combinada com o uso de substratos de qualidade, recipientes adequados

para cultivo, seleção de sementes de alto padrão e estacas de material genético superior. Essas medidas são cruciais para otimizar o processo de produção de mudas e garantir plantios florestais mais eficientes e sustentáveis.

2.5 Bioestimulantes

Bioestimulantes, seguindo a definição proposta por Kauffman et al. (2007), são materiais que, além de fertilizantes, quando aplicados em quantidades mínimas, promovem o crescimento de plantas. Adicionalmente, estão disponíveis em uma variedade de formulações e com ingredientes variados. Geralmente, são classificados em três grandes grupos: substâncias húmicas (SHs), produtos contendo hormônios e produtos contendo aminoácidos (DU JARDIN, 2012); (KAUFFMAN; KNEIVEL; WATSCHKE, 2007).

Porém, uma nova definição de bioestimulantes foi proposta por (DU JARDIN, 2015), a qual foi apoiada por evidências científicas. Segundo essa definição, um bioestimulante vegetal é qualquer substância ou microrganismo aplicado às plantas visando melhorar a eficiência nutricional, a tolerância ao estresse abiótico e/ou as características de qualidade da colheita, independente do seu conteúdo de nutrientes (CASTRO et al., 2020).

Segundo Castro et al. (2020), há alguns trabalhos na literatura que afirmam que bioestimulantes são extratos obtidos de matérias-primas orgânicas que contêm compostos bioativos. Seus componentes mais comuns são elementos minerais, substâncias húmicas (SH), vitaminas, aminoácidos, quitina, quitosana, polissacarídeos e oligossacarídeos. Para Du Jardin (2015), a palavra bioestimulantes foi cunhada por especialistas em horticultura para descrever substâncias que promovem o crescimento de plantas sem serem nutrientes, condicionadores de solo ou pesticidas.

A composição dos bioestimulantes é parcialmente desconhecida devido à complexidade desses materiais, abrangendo uma ampla gama de moléculas presentes nessas soluções, dificultando o entendimento de quais são os compostos mais ativos. Devem ser classificados com base nas respostas fisiológicas e nos aspectos morfológicos das plantas, e não com base na sua composição.

O uso de bioestimulantes é comumente empregado nas culturas anuais, proporcionando aumento na produtividade e incremento nas características fitotécnicas. Os bioestimulantes podem atuar diretamente na fisiologia e no metabolismo das plantas, e, por consequência, em seus aspectos morfológicos, ou indiretamente, melhorando as condições do solo ou substratos.

Podem ser aplicados no solo, em substratos ou nas folhas, a fim de tornar, a priori, a fertilização mais eficiente. Vale ressaltar que os bioestimulantes diferem dos fertilizantes porque atuam no metabolismo das plantas, resultando em uma maior capacidade de modificação da fisiologia e morfologia das plantas. Seus efeitos podem variar de espécie para espécie, de cultivar para cultivar, e também dependem de fatores ambientais, da dose aplicada e do tempo de aplicação (SOARES et al., 2021).

Alguns estudos demonstram que os bioestimulantes podem melhorar significativamente a produtividade das plantas, aumentando a assimilação de nitrogênio, carbono e enxofre, estimulando a fotossíntese, melhorando as respostas ao estresse, alterando a senescência e aprimorando o transporte de íons. Além disso, podem aumentar os teores de aminoácidos livres, proteínas, carboidratos, compostos fenólicos, pigmentos e várias enzimas. Seu efeito de proteção contra o estresse biótico e abiótico é associado à regulação dos níveis de espécies reativas de oxigênio induzidas pelo estresse, à ativação do sistema de defesa antioxidante das plantas ou ao aumento dos níveis de compostos fenólicos (CASTRO et al., 2020).

Muitos estudos sobre bioestimulantes focam sua aplicação nas raízes das plantas e investigam seu modo de ação e estímulos, principalmente os que contêm substâncias húmicas. Contudo, a aplicação direta nas folhas apresenta diversos benefícios para as culturas, sendo necessário mais estudos. No trabalho de Kishor et al. (2021), foi demonstrada a eficácia conjunta de ácido húmico aplicado tanto via foliar quanto no solo, juntamente com 100% da dose recomendada de fertilizante (NPK) para plantas de café, resultando em um aumento significativo no rendimento, além de níveis de nutrientes presentes nas folhas superiores ao grupo controle.

Na aplicação via foliar, alguns elementos podem afetar o desempenho da pulverização foliar, como as características hidrofóbicas das superfícies foliares, por ser necessário que haja permeabilidade cuticular para permitir o fluxo dos bioestimulantes foliares. As cutículas são compostas essencialmente por três estruturas distintas: a camada mais externa, a camada central composta pela cutina e/ou cutana e ceras intracuticulares, e, por fim, a camada mais interna que inclui os biopolímeros já mencionados, bem como os polissacarídeos provenientes das paredes celulares das células epidérmicas.

Além disso, outras estruturas superficiais das folhas que facilitam a absorção dos bioestimulantes são os estômatos, pequenos poros especializados que garantem a troca gasosa entre as folhas e a atmosfera; as lenticelas, estruturas epidérmicas macroscópicas presentes nos caules, pedicelos ou frutos, que também absorvem soluções aplicadas via aérea; e os tricomas, apêndices unicelulares ou multicelulares que se projetam da epiderme e podem facilitar a absorção de nutrientes devido à sua reduzida cutinização. (CASTRO et al., 2020).

Uma absorção eficaz por via foliar depende da abertura adequada dos estômatos e de temperaturas moderadas para prevenir danos, como queimaduras nas folhas. Deve-se evitar a aplicação em dias ventosos e durante chuvas até 4 horas após a pulverização. A eficácia da pulverização foliar é influenciada por fatores como espécie vegetal, composição cuticular, tempo de aplicação, condições ambientais e doses utilizadas, necessitando estudos que relacionem esses efeitos nas plantas. (CASTRO et al., 2020).

Em espécies florestais, seu uso vem sendo testado e demonstrado como eficiente. Por exemplo, no trabalho de Prado Neto et al., (2007), avaliaram-se os efeitos de algumas dosagens de dois bioestimulantes, a Giberelina Líquida (4% GA) e o bioestimulante comercial Stimulate® (contém cinetina, ácido giberélico e entre outros compostos), na porcentagem de germinação e no índice de velocidade de germinação de sementes de *Genipa americana*, além do comprimento do hipocótilo, da raiz e do comprimento total das plântulas. Nesse trabalho, as sementes foram embebidas nessas soluções e testadas a partir de diferentes doses dos dois bioestimulantes citados. A conclusão dos autores foi que a pré-embebição das sementes de *Genipa americana* por 12 horas em Giberelina Líquida nas dosagens de 50, 100 e 200 ml L⁻¹ e do bioestimulante comercial a 10 ml L⁻¹ proporcionaram maiores índices de velocidade de germinação e, quanto ao comprimento de raízes e plântulas, os maiores valores foram obtidos quando as sementes foram embebidas por 12 horas com bioestimulante comercial a 10 ml L⁻¹.

No trabalho de Canesin et al. (2012), foram avaliados, em dois experimentos, os efeitos de algumas doses do bioestimulante Stimulate® na porcentagem de emergência e no índice de velocidade de emergência de sementes de *Dimorphandra mollis*, além da altura da parte aérea, do comprimento da raiz e da massa seca das plântulas. Nesse trabalho, as sementes foram embebidas nessas soluções e testadas a partir de diferentes doses do bioestimulante. A conclusão dos autores foi que o tratamento com o bioestimulante influenciou positivamente o desempenho e o crescimento das sementes de *Dimorphandra mollis*. Contudo, o tratamento das sementes com as doses testadas do bioestimulante não influenciou o comprimento e a massa seca das plântulas de *Dimorphandra mollis*.

Há também alguns resultados controversos, como no trabalho de Pierezan et al. (2012), que, trabalhando com *Hymenaea courbaril*, verificaram que o uso de bioestimulantes em elevadas doses inibiu a emergência e o desenvolvimento das mudas. Além disso, no trabalho de Soares et al. (2021), concluiu-se que o uso do bioestimulante Stimulate® e de biochar no tratamento de sementes de *Sapindus 15aponária* não proporcionou incremento significativo em alguns parâmetros e índices morfológicos da qualidade das mudas. Neste trabalho, na proporção de 0% de biochar no substrato, a altura total (HT) média e o diâmetro do coleto (DC) médio das mudas de *Sapindus 15aponária*, aos 110 dias após a semeadura (DAS), foram menores quando suas sementes foram tratadas com bioestimulantes do que quando não foram tratadas. Esse mesmo efeito ocorreu também para os parâmetros massa seca da raiz (MSR), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca total (MST) e área foliar (AF). O mesmo ocorreu com o índice de qualidade de Dickson (IQD), no entanto, não foi tão acentuado quanto os parâmetros mencionados anteriormente. Vale ressaltar que concentrações baixas do bioestimulante podem não ser suficientes para estimular o desenvolvimento de plantas, assim como concentrações muito elevadas (SOARES et al., 2021).

A aplicação de bioestimulantes nos estádios iniciais de desenvolvimento da plântula bem como ao longo da produção de mudas, assim como sua utilização no tratamento de sementes, pode estimular o crescimento radicular, atuando na recuperação mais acelerada das plântulas em condições desfavoráveis

Os bioestimulantes desempenham um papel crucial na produção de mudas florestais, influenciando diretamente sua qualidade. Estudos como os de Prado Neto et al. (200) e Canesin et al. (2012) demonstram que bioestimulantes como o Stimulate® podem melhorar a germinação, o crescimento inicial e as características morfológicas das mudas, incluindo altura total, diâmetro do colo e massa seca. Em espécies como o eucalipto, o uso de bioestimulantes pode potencializar o desenvolvimento inicial das mudas, aumentando sua capacidade de absorver nutrientes e tolerar estresses ambientais. Esses resultados são essenciais para a produção eficiente de mudas de alta qualidade, essenciais para o sucesso de plantios comerciais e restauração florestal.

Há uma variedade de produtos e materiais utilizados como bioestimulantes, conforme exemplificado anteriormente, e no caso das SHs, têm sido amplamente utilizadas na produção agrícola. No que diz respeito às substâncias húmicas, seu efeito bioestimulante está diretamente ligado ao tipo e à qualidade da SHs aplicada (seja isolada ou em mistura), assim como à espécie vegetal ou cultivar que receberá essa aplicação, ao método de aplicação (se por foliar ou diretamente no solo/substrato) e a outros fatores. Por isso, é importante pesquisas sobre essas substâncias e seus efeitos nas plantas ou cultivares, principalmente em culturas florestais, as quais possuem poucos estudos sobre o efeito dessas substâncias quando comparados com culturas agrícolas.

2.6 Substâncias Húmicas

As substâncias húmicas (SH) são compostos orgânicos complexos e heterogêneos. São originadas por meio da deposição e/ou decomposição de resíduos orgânicos vegetais e animais, pelo metabolismo biológico destes compostos, pela ciclagem do C, H, N e O da matéria orgânica do solo, pela biomassa microbiana e pela polimerização microbiológica dos compostos orgânicos cíclicos, resultando em substâncias complexas e de diferentes pesos moleculares (CARON; GRAÇAS; CASTRO, 2015)

De forma simplificada, para (BALDOTTO; BALDOTTO, 2014), pode-se dizer que as SH são compostos orgânicos condensados, produzidos pela ação microbiana, diferindo dos

biopolímeros por sua estrutura molecular e elevada persistência no solo. São substâncias que, do ponto de vista químico, são altamente reativas, mas recalcitrantes do ponto de vista da biodegradação (MUSCOLO; SIDARI; NARDI, 2013). As SH representam cerca de 60% da matéria orgânica, sendo amplamente distribuída sobre o planeta e está presente nos solos, na água e nos sedimentos, além de representar um dos principais reservatórios de carbono orgânico na terra (GARCÍA et al., 2018); (CASTRO; CAMPOS; CARVALHO, 2019); (CASTRO et al., 2020).

Os principais componentes moleculares dessas substâncias são os ácidos alifáticos, os éteres, os ésteres, os álcoois, os anéis aromáticos, os polissacarídeos e os polipeptídios. Há pelo menos quatro vias principais responsáveis pela formação das SH: a partir de açúcares, polifenóis, lignina e ligninas modificadas. O grau de ocorrência cada uma delas está em função das características predominantes do ambiente durante o processo de decomposição. As quatro vias podem ocorrer simultaneamente, porém não com a mesma intensidade (GARCÍA et al., 2018; CASTRO et al., 2020).

As substâncias húmicas possuem quatro principais propriedades de acordo com a estrutura que apresentam: polifuncionalidade, caracterizada por um grande número de grupos funcionais que proporcionam amplo espectro de reatividade; carga molecular negativa, que permite maior reatividade com outras moléculas; hidrofilicidade, que corresponde a inclinação de formar pontes de hidrogênio com a água; e maleabilidade estrutural, que diz respeito a capacidade de associação intermolecular e alteração na conformação da molécula em função da variação do pH, dos valores redox, da concentração eletrolítica e da ligação com grupamentos funcionais (CASTRO et al., 2019; CASTRO et al., 2020).

Podem ser classificadas quanto à sua solubilidade em meio alcalino e ácido, sendo os ácidos fúlvicos (AF) solúveis em meios alcalinos e ácidos, os ácidos húmicos (AH) solúveis em meio alcalino e insolúveis em meio ácido e a humina que é insolúvel em qualquer em meio alcalino e ácido. Em função da possibilidade de isolar essas frações humificadas que permitiu o avanço no estudo e conhecimento sobre suas estruturas, propriedades e funções, sendo os AF e AH os principais alvos. As características relacionadas à estrutura das frações húmicas são dependentes da fonte de origem e do período de formação ou transformação (GARCÍA, 2013); CASTRO et al., 2020).

Os AH constituem a maior fração das SH, sendo precipitados de coloração escura, com elevado peso molecular e capacidade de troca catiônica, com origem na lignina, possuem alto teor de ácidos carboxílicos e significativas quantidades de nitrogênio (CASTRO et al., 2019), maiores teores de C e menor acidez quando comparados aos AF (PRIMO; MENEZES; SILVA, 2011). Já os AF, mesmo possuindo similaridade estrutural aos AH, apresentam menor peso molecular, maior quantidade de compostos fenólicos e de grupos carboxílicos e uma menor quantidade de estruturas aromáticas, bem como maiores teores de oxigênio. Tais características lhes conferem melhor solubilidade em água e maior capacidade de troca catiônica, além de apresentarem mais grupamentos funcionais ácidos por unidade de massa do que os AH.

As SH são consideradas como bioestimulantes por promoverem o desenvolvimento vegetal por meio de pequenas quantidades. Nas plantas modificam a morfologia, crescimento e arquitetura das raízes, atuam sobre o desenvolvimento da planta, aumentam a taxa respiratória e velocidade das reações enzimáticas do ciclo de Krebs, promovem alta produção de ATP nas células radiculares, aumentam os níveis de clorofila e síntese de ácidos nucléicos, bem como o aumento ou redução na atividade de diversas enzimas e entre outros. Há diversos estudos demonstrando benefícios dessas substâncias húmicas para alguns cultivos e, ainda, evidências da sua interação bioquímica e fisiológica com o crescimento das plantas; (CARON; GRAÇAS; CASTRO, 2015); CASTRO et al., 2019; CASTRO et al., 2020).

Devido ao seu papel como promotores de crescimento em plantas, a agricultura tem demonstrado um crescente interesse pela aplicação de SH. Essas moléculas possuem importância ecológica, pois regulam uma série de processos químicos e biológicos ocorrentes em ecossistemas naturais.

2.7 Ácidos Fúlvicos

Os ácidos fúlvicos (AF) são substâncias húmicas que apresentam uma abundância de grupos funcionais oxigenados e são solúveis tanto em meio básico quanto ácido. Alguns pesquisadores demonstram que as características morfológicas das culturas, bem como seus rendimentos de sementes e biomassa, são significativamente melhoradas pela aplicação de AF. Além disso, a sua capacidade de quelar metais pode regular a absorção de metais pelas culturas, influenciando o crescimento e metabolismo das plantas (CARON; GRAÇAS; CASTRO, 2015).

Os ácidos fúlvicos têm maior acidez total, maior número de grupos carboxílicos, maior adsorção e capacidade de troca catiônica dos que os ácidos húmicos e pode desempenhar a função como um quelante natural na mobilização e transporte de micronutrientes. Podem permanecer na solução do solo mesmo que em altas concentrações de sais. O AF promove alguns efeitos em alguns processos fisiológicos dependendo da espécie vegetal, estágio de desenvolvimento e condições de aplicação (ABDEL-BAKY et al., 2019).

No trabalho de (BENTO et al., 2021), relataram melhora significativas nas mudas de cafés que receberam tratamento com AF para todas as variáveis medidas, que foram: Espaçamento entre os nós, altura de plantas (AP), comprimento da raiz (CR), diâmetro do colo (DC), peso seco da parte aérea (PSPA), peso seco da raiz (PSPR). O mesmo foi aplicado via aérea com o auxílio de irrigador até o ponto de encharcamento das mudas. Nesse trabalho, utilizou-se também ácido húmico, que teve também um efeito significativo, porém, menor que os AF.

Segundo Abdel-Baky et al. (2019), além dos efeitos significativos da aplicação foliar dos ácidos fúlvicos na altura de algumas plantas, no aumento do número de raízes e massa seca, alguns trabalhos também tem evidenciado melhora nos conteúdos de clorofila em soja, aumento da concentração de potássio nas folhas de plantas de tabaco, além de aumento na absorção de fósforo e conteúdo de nitrogênio em plantas de milho.

Um dos motivos atrelados aos efeitos provocados pelos AF é sua ação atrelada ao hormônio auxina, um hormônio vegetal associado à expansão da parede celular e iniciação de raízes, entre outros efeitos e as substâncias húmica podem ter a presença de compostos semelhantes às auxinas (BORCIONI; MÓGOR; PINTO, 2016). A promoção de crescimento radicular aumenta a capacidade de absorção e utilização de nutrientes pelas plantas, e, conseqüentemente, em maiores acúmulos de matéria seca (ABDEL-BAKY et al., 2019). No trabalho de Borcioni et al. (2016), os autores encontraram um efeito significativo da aplicação de AF em mudas do cultivar alface americana “Raider Plus” no crescimento inicial, especialmente do sistema radicular, e também maior circunferência das cabeças de alface.

De acordo com (JUSTI; MORAIS; SILVA, 2019), devido à maior solubilidade dos AF em pH baixo, característica da pulverização foliar, eles são agronomicamente mais eficientes que os ácidos húmicos (AH). Esses autores ressaltam que a quantidade de substâncias húmicas (SH) necessárias para o metabolismo e crescimento das plantas é maior quando aplicadas via solo do que quando aplicadas por pulverização foliar. Como a maioria dos estudos foca nas aplicações de SH no solo, é importante definir as concentrações adequadas para a aplicação foliar e considerar o tipo de planta.

Além disso, os ácidos fúlvicos representam uma fração extremamente fina (conseguem atravessar os microporos das membranas biológicas e sintéticas) e em função disso, suas moléculas podem penetrar tanto pelas raízes quanto pelas folhas, sendo grande contribuinte para a adubação foliar, uma vez que essa molécula pode atuar como agente quelatizante (BERNARDES; JÚNIOR, 2018). Adicionalmente, a estimulação conferida pelos por AF nos transportadores de membrana de micronutrientes específicos ou transportadores ativos estimulados pela atividade H^+ - ATPase podem ser uma possível explicação para o efeito positivo do FA nas plantas (JUSTI et al., 2019).

A aplicação foliar dos ácidos fúlvicos não apenas melhora a adubação foliar, mas também otimiza os processos metabólicos das plantas ao transportar diretamente minerais para dentro das células vegetais (MARZOUK et al., 2020). No estudo de Abdel-Bankyet al. (2019), que investigou o efeito de quatro concentrações de ácidos fúlvicos aplicados via foliar em quatro cultivares de *Vicia faba L.*, observou-se que o aumento das concentrações de ácidos fúlvicos resultou significativamente em maior altura das plantas, número de folhas por planta, peso seco e fresco total por planta, área foliar, índice de área foliar e taxa de crescimento da cultura. No trabalho de Bento et al. (2021), onde um dos tratamentos incluiu a aplicação de AF (Fertil solos®, TerraFértil®) em mudas de café, observou-se que os AF proporcionaram efeitos significativos em variáveis como espaçamento entre nós, altura das plantas, comprimento das raízes, diâmetro do colo, peso seco da parte aérea e peso seco das raízes e no trabalho de Justi et al. (2019) onde a aplicação de AF melhorou o desempenho de crescimento de mudas de café.

Contudo, o maior desafio para a ampla aplicação dos ácidos fúlvicos (AF) com qualidade e eficácia reside em dois fatores principais: o tipo de matéria-prima e o método de extração. A depender da fonte dos AF, a quantidade obtida pode não ser satisfatória, o que afeta a eficiência tecnológica da produção dessas substâncias em escala comercial. A linhita, a leonardita, a turfa e os compostos orgânicos são os materiais mais utilizados na produção comercial de AF devido às suas altas concentrações dessas substâncias. Mesmo assim, essas concentrações podem variar significativamente, de 5 a 20% para a linhita e de 25 a 90% para a leonardita, sendo esta última, mesmo um material rico em AF, é ainda relativamente caro e mais difícil de obter. Já em relação aos métodos de extração de AF, os mais comuns utilizam extratores alcalinos, como NaOH ou KOH, e/ou água, além de envolverem ajuste de pH e centrifugação. Alguns métodos, embora eficientes e rápidos, são difíceis de industrializar com a tecnologia atual. Por outro lado, métodos mais fáceis de aplicar industrialmente podem ser ineficientes devido ao tempo necessário (GOENADI, 2021).

Em função de suas características altamente específicas, os AF mostram um grande potencial para melhorar o desempenho agrônomo das culturas e a saúde dos solos, sendo estratégico para apoiar a agricultura sustentável no futuro, pelo alívio do estresse biótico e abiótico, e da obtenção de rendimentos sustentáveis. Para além do campo agrícola-florestal, na medicina, tem demonstrado resultados promissores, especialmente como imunomodulador e no combate de doenças degenerativas. Além disso, existem projeções para um crescimento do mercado futuro de AF, com um valor econômico atrativo. Porém, os dados ainda são limitados e as pesquisas têm se concentrado mais nos AH do que nos AF, o que pode ser explicado pelo rendimento, já que são compostos solúveis em qualquer faixa de pH (GOENADI, 2021).

O desenvolvimento de novos materiais como fontes eficientes para a produção de AF, a partir de carboidratos e resíduos orgânicos, pode evitar a escassez natural de matéria-prima. Os AF têm mostrado ser parte das soluções para a agricultura sustentável, reduzindo a poluição ambiental, promovendo alimentos saudáveis e melhorando o bem-estar dos agricultores.

2.8 Biossólido

As estações de tratamento de esgoto sanitário (ETEs) recebem diariamente esgotos cuja composição média é de 99,9% de água e 0,1% de sólidos, sendo que, destes sólidos, 70% são orgânicos (proteínas, carboidratos, gorduras, etc.) e 30% são inorgânicos (areia, sais, metais, etc.). A água é devidamente tratada e devolvida aos mananciais, enquanto nas estações fica um resíduo conhecido como lodo de esgoto (ANDROELI; PROJETOS; BRASIL; FINEP, 1999; ABREU, 2014)

O lodo de esgoto é rico em matéria orgânica e nutrientes, mas, dependendo da sua origem e do tipo de tratamento, pode conter diversos poluentes, como metais pesados, compostos orgânicos persistentes e organismos patogênicos. Esses fatores levaram à criação da resolução nº 375/2006 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que regulamenta e define critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em ETEs e seus derivados (BRASIL, 2006 ; ABREU, 2014).

Para o uso agrícola, após transformações microbianas, higienização e estabilização adequadas, o lodo de esgoto pode ser denominado biossólido (ABREU et al., 2019). Este termo, adotado na maioria dos países e em várias normas desde o início da década de 80, visa afastar a conotação negativa associada ao termo “lodo de esgoto” e promover o conceito de que este material pode e deve ser reutilizado ou reciclado em sistemas de usos benéficos (GUEDES et al., 2006).

O termo biossólido refere-se exclusivamente ao lodo resultante do tratamento biológico de despejos líquidos sanitários, que atende às normas de segurança para uso na agricultura. Lodos que não receberam tratamento adequado para controle de poluentes e patógenos não são considerados biossólidos (POGGIANI et al., 2000)

As alternativas para a disposição final do lodo de esgoto devem estar contempladas no planejamento das ETE's e devem atender aspectos técnicos, econômicos, ambientais e legais. Contudo, os aspectos técnicos e ambientais muitas das vezes não são priorizados pelas ETE's mas sim alternativas de baixo custo e que atendam a legislação vigente (ABREU, 2014)

A possibilidades de destinação final para o lodo tem sido disposição em aterros sanitários como resíduos sanitários, reciclagem agrícola e florestal, como condicionador de solos para recuperação de áreas degradadas, para a geração de energia, reuso industrial, entre outras. Segundo Abreu (2014), no Brasil, a principal forma de disposição dos lodos de esgotos gerados é em aterros sanitários, e, esta apresenta como potenciais vantagens o baixo custo, flexibilidade de receber quantidades variáveis de lodo, absorção do excedente de outras demandas de destinação final, operação independente de fatores externos, menos exigência em qualidade do lodo. Mas, como desvantagens, apresentam: diminuição da vida útil dos aterros, produção de gases e percolados, dificuldade de reintegração da área após a desativação, além de imobilizar grande quantidade de matéria orgânica e nutrientes essenciais plantas, elementos requeridos em grandes quantidades na produção agrícola e florestal e que atualmente são importados na forma de fertilizantes químicos. Esta última, parece ser a forma mais sustentável pois esse resíduo poderá ser usado como insumo, gerando estímulos para que mais esgotos urbanos sejam tratados e o material resultante seja utilizado para fins agrícolas e florestais.

A reciclagem agrícola e florestal do lodo de esgoto é considerada a forma mais adequada de disposição final em termos técnicos, econômicos e ambientais, ao ser aplicada corretamente. A utilização do lodo de esgoto como biossólido, aproveitando seu potencial como condicionador de solo para promover o crescimento de planta e fertilizante, pode trazer benefícios para o produtor como o aumento da produtividade das culturas e a redução do uso de fertilizantes minerais. Além disso, pode proporcionar vantagens para os geradores de lodo ao adotar um método eficiente, adequado e econômico de disposição final desse resíduo.

No setor florestal, seus principais usos são: fertilizante e condicionador de solo, em plantios comerciais, em recomposição florestal, recuperação de áreas degradadas, na produção de mudas florestais nativas e exóticas. Na produção de mudas de florestas, é comumente utilizado na composição de substratos, atuando como uma fonte facilmente disponível de nutrientes, uma vez que os mesmos estão numa forma orgânica liberados gradativamente, suprimindo mais adequadamente as necessidades nutricionais ao decorrer da produção.

O biossólido apresenta uma composição variável quanto a disponibilidade de nutrientes e metais pesados, risco biológico e matéria orgânica. Por isso é importante estudos que visem a reciclagem segura desse resíduo para o meio ambiente e para a saúde da população (ABREU et al., 2019). Como mencionado, é preferencialmente utilizado na produção de mudas como componente de substratos. Por terem uma composição variável de matéria orgânica, podem ser uma fonte de compostos bioativos, como as substâncias húmicas. Por isso, é importante mais estudos sobre seus usos e aplicações no setor agrícola e florestal.

2.9 Excremento (FRASS) da larva da Mosca-Soldado-Negro (Black Soldier Fly - BSF)

O excremento da mosca-soldado-negro (Black Soldier Fly - BSF) ou FRASS tem ganhado destaque por suas aplicações benéficas, especialmente na agricultura sustentável, desempenhando um papel importante no contexto de economia circular. É composto por excremento das larvas da BSF, restos de substrato e exoesqueletos descartados.

A BSF pode ser criada em diversos tipos de substratos de resíduos orgânicos, até mesmo estrume. Suas larvas são processadas com a finalidade de servir como componente proteico em rações de animais como os animais domésticos, aves, suínos ou na aquicultura (GÄRTTLING; SCHULZ, 2022). Além disso, podem extrair substâncias quitinosas para a bioeconomia a partir de subprodutos da BSF ou utilizar o óleo da extração da larva para produção de biodiesel.

Nos últimos anos, a indústria de BSF tem se expandido e os excrementos derivados da sua produção são considerados um importante produto dentro desses sistemas de produção. O principal produto dessa indústria é a produção de larvas, contudo, o uso do FRASS como uma fonte de biofertilizante tem ganhado interesse (GÄRTTLING; SCHULZ, 2022).

Alguns dados a respeito do uso do FRASS como biofertilizante e seus efeitos no crescimento das plantas são recentes e com pouca clareza quanto aos resultados. No trabalho de Gärttling & Schulz (2022), que reuniram resultados da literatura e coletaram análises de nutrientes de produtores sobre o uso do FRASS como biofertilizante, concluíram que é um composto orgânico promissor, com tendência a valores de pH alcalinos, disponibilidade limitada de nitrogênio no curto prazo e alto teor de matéria seca, levando a altos teores de macronutrientes. Além disso, com informações básicas adicionais sobre o sistema de produção, é esperado que a variação dos parâmetros seja reduzida.

De acordo com Lopes et al. (2022) e Siddiqui et al. (2024), alguns estudos demonstram o potencial uso como biofertilizante, bem como um promissor substituto aos fertilizantes tradicionais, em especial aos fertilizantes nitrogenados os quais apresentam algumas problemáticas em relação ao aquecimento global, como por exemplo: emissões de gases de efeito estufa na sua produção e aplicação, lixiviação e eutrofização, produção intensiva de energia e entre outros. Adicionalmente, (SMETANA; SCHMITT; MATHYS, 2019), demonstraram que o FRASS proporcionou menores impactos ambientais em comparação à produção de outros fertilizantes orgânicos quanto ao uso de água, gastos com energia, potencial de aquecimento global e outras categorias de impacto. É importante destacar que os benefícios ambientais relacionados à produção de excrementos de insetos estão estreitamente ligados à

fonte de substrato utilizado para a alimentação das larvas, sendo que os menores impactos relatados são obtidos ao optar por fluxos de resíduos não utilizados em vez de produtos tradicionais, como farelo de soja (LOPES et al., 2022).

O tratamento de resíduos com as larvas da BSF emergiu como uma solução viável para o tratamento de resíduos biodegradáveis, contribuindo de forma diversificada para a bioeconomia circular. Alguns trabalhos demonstraram que as larvas da BSF reduziram cerca de 75% da matéria seca de esterco de galinhas e transformaram esses resíduos em produtos de valor agregado e uso adequado (BORTOLINI et al., 2020), podendo ser mais rentável o tratamento com as larvas da BSF em comparação a compostagem termofílica (LOPES et al., 2022). Além disso, as larvas da BSF são muito rápidas na redução de volumes de resíduos. É importante destacar que essa rapidez tem relação direta com as características físico-químicas dos resíduos.

Além disso, em função da possível presença de composto biologicamente ativos nos excrementos de insetos, o FRASS também pode desempenhar um papel como bioestimulante. Alguns autores relataram a presença de vários bioestimulantes em excrementos de insetos. No caso das substâncias húmicas (SH), especialmente os ácidos húmicos (AH), é conhecido que eles têm uma forte relação com as mudanças bioquímicas resultantes de seu metabolismo e interação com os microrganismos do solo, liberando vários bioestimulantes como auxinas e citocininas. Portanto, é provável que a ocorrência de bioestimulantes do tipo fito-hormonal em excrementos se deva ao metabolismo dos ácidos húmicos. O FRASS é rico em microorganismos, e alguns podem ter a capacidade bioestimuladora (LOPES et al., 2022).

Conforme apontado por Lopes et al. (2022), há apenas um estudo avaliando o FRASS como bioestimulante, realizado por (ANTONOV et al., 2020). Nesse estudo, foi aplicado um extrato aquoso a 1% do excremento da mosca-soldado-negro (BSF), denominado biohumus, em árvores de pinus envolvidas na sangria. O controle foi composto por árvores submetidas à sangria, mas sem a aplicação do extrato. O objetivo era avaliar se o extrato do excremento da BSF atuava como estimulante na extração de resina de pinus e se o rendimento era satisfatório. Segundo o estudo, a maioria dos produtos utilizados nesse processo de extração de resina são químicos, como ácido sulfúrico, cal clorídrica e ácido clorídrico, que possuem alta eficiência. No entanto, a desvantagem desses produtos é a destruição dos tecidos vegetais das árvores, afetando o metabolismo, crescimento, condição e atividade vital, o que pode levar a um baixo rendimento do povoamento. Como conclusão, o uso do biohumus a base do excremento da BSF proporcionou um rendimento 20% maior na aquisição de resina em comparação às árvores controle. Contudo, os autores não apresentaram as características nutricionais e nem dos compostos bioativos do biohumus do excremento da BSF.

Portanto, é importante realizar pesquisas que avaliem os efeitos de bioestimulantes à base de excremento da mosca-soldado-negro (BSF), bem como identificar os compostos bioativos presentes e quais deles são importantes para a ação bioestimulante em determinadas culturas de interesse

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.3 Montagem Experimento

O experimento foi conduzido entre os meses fevereiro a maio de 2024, no Viveiro Florestal “Fernando Luiz de Oliveira Capellão” da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, localizado no município de Seropédica – RJ. O clima da região segundo a classificação de Koppën é Aw (tropical chuvoso). A precipitação média anual e a temperatura média anual são, respectivamente, 1.260 mm e 24 °C.

A espécie utilizada no experimento foi o *Eucalyptus urograndis*, espécie híbrida resultante do cruzamento entre as espécies de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*. O método de propagação utilizado foi via semente e as mesmas foram adquiridas no Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (IPEF), da safra de 2018, sendo sua procedência de Bofete – SP e o grau de melhoramento é Área de Produção de Sementes – APS (F3), pertencentes ao lote BO0035N01 (Figura 1a-b).



Fonte: autora.

Figura 1 – 1a) Recipiente das sementes de *Eucalyptus urograndis* do IPEF. 1b) Sementes do *E. urograndis*.

A semeadura foi realizada no dia 29 de fevereiro de 2024, diretamente nos recipientes de cultivo. Em seguida, as sementes foram cobertas com uma camada de vermiculita, que é um excelente retentor de água (Figura 2). O desbaste foi realizado quando as plântulas apresentaram 2 a 3 pares de folhas verdadeiras, no dia 14/03/2024, aos 14 dias após a semeadura (DAS) deixando somente uma plântula por tubete.

O recipiente de cultivo utilizado no experimento foi o tubete plástico de polipropileno com capacidade volumétrica de 55 cm³, de formato cônico e coloração preta. O substrato utilizado foi o produto comercial Maxfertil Substratos® - Florestal, o qual apresenta em sua composição casca de pinus, cinzas, vermiculita, turfa, serragem e bioestabilizados. Quanto às suas características, segundo informações fornecidas pelo fabricante, apresenta densidade média de 310 Kg m⁻³, valor de ph de 6,0 (+/- 0,5) e um teor de umidade de 50%.



Fonte: autora.

Figura 2 – Recipiente com cobertura de vermiculita pós semeadura da espécie *E. urograndis*.

O substrato recebeu fertilização de base e de cobertura. A fertilização de base foi realizada com 150 g de N, 300 g P₂O₅, 100 g de K₂O, por meio do sulfato de amônio, superfosfato simples, cloreto de potássio, respectivamente. Além disso, a cada m³, para fornecimento de micronutrientes, foram adicionados 150 g de FTE Br12 (1,8% de B, 0,8% de Cu, 3,0% de Fe, 2,0% de Mn e 0,1% de Mo) de acordo com o protocolo proposto por Gonçalves et al. (2000). A fertilização de cobertura foi realizada aplicando-se 10 ml por muda de uma solução nutritiva, composta por uma solução de 200 g de N e 180 g de K₂O para 100 litros de solução nutritiva, também fornecidos por meio do sulfato de amônio e cloreto de potássio (GONÇALVES, et al., 2000). A primeira fertilização de cobertura ocorreu 21 dias após a repicagem, repetindo-se a cada quinze dias para a fertilização nitrogenada, e a cada trinta dias para fertilização potássica. A irrigação foi realizada por sistema de aspersão, duas vezes ao dia, com volume diário médio de 15 mm.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com seis tratamentos e quatro repetições (totalizando 24 parcelas), sendo duas fontes de ácidos fúlvicos (AF), extraídos do bio sólido (BIO) e do excremento (FRASS) da mosca-soldado-negro (BSF), cada qual com 7 doses (0, 20, 40, 60, 80, 100 e 120 mg L⁻¹), com 5 repetições de 8 mudas cada.

3.1 Coleta dos materiais e obtenção dos AF

O FRASS utilizado no experimento foi disponibilizado pela empresa Lets Fly, localizada no município de Cachoeiras de Macacu, estado do Rio de Janeiro, oriunda da produção de da mosca-soldado-nergro BSF (*black soldier fly*). Após sua chegada no viveiro, o material foi colocado e exposto ao ar durante 2 dias, sendo previamente peneirado. O bio sólido (BIO) foi proveniente da estação de tratamento de esgoto (ETE) Ilha do Governador, localizada no bairro Ilha do Governador, município do Rio de Janeiro, disponibilizado pela Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Rio de Janeiro (CEDAE) em parceria com a empresa privada Águas do Rio. O esgoto tratado na ETE é prioritariamente residencial, sendo seu tratamento realizado a nível primário e secundário pelo sistema de lodos ativados. O lodo proveniente do tratamento primário é misturado ao lodo do tratamento secundário para então passar por

adensamento em centrífuga. Após isso, o material é disposto em leitos de secagem semipermeáveis ao ar livre, onde permanece por 90 dias em média.

Os ácidos fúlvicos foram obtidos por meio da extração de duas matérias-primas distintas, o BIO e o FRASS. A extração e purificação dos ácidos fúlvicos foram realizadas seguindo os protocolos disponibilizados pela Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas (IHSS).

Para a extração, resumidamente, foi adicionada à massa uma solução alcalina de KOH 0,1 M, sob atmosfera de N₂ e agitação por 16 horas. Em seguida, o material foi centrifugado e o sobrenadante, que contém as substâncias húmicas (ácidos húmicos e ácidos fúlvicos), foi recolhido. Para a separação dos ácidos (tanto húmico quanto fúlvico), o pH da solução foi ajustado para 1,5 com HCl 6M e deixado em repouso por 16 horas. Após esse período, o sobrenadante continha o ácido fúlvico (AF), que foi retirado com uma mangueira de sucção.

Para a purificação dos AF, o sobrenadante foi submetido à filtração e posteriormente passado por uma coluna de resina não iônica XAD-7, que adsorve o ácido fúlvico. O conteúdo retido na resina foi eluído com uma solução de KOH 0,1 M, seguida da adição de mais um volume da coluna com a solução alcalina. Em seguida, foi lavado com três volumes de água deionizada e o eluído foi submetido a uma resina de troca catiônica fortemente ácida, Amberlyst 15, na forma protonada. Foram extraídos aproximadamente 1,7 L de ácidos fúlvicos do BIO e 2,5 L de ácidos fúlvicos do FRASS da BSF, a partir de aproximadamente 2,5 kg e 900 g respectivamente de cada matéria-prima.

3.2 Caracterização dos AF

Foi realizada uma caracterização química de N-P-K dos ácidos fúlvicos para conhecer os teores desses nutrientes (essenciais para a nutrição vegetal). Os teores de N, P e K foram determinados conforme a metodologia descrita por (TEDESCO et al., 1995) (Tabela 1).

Para determinar a quantidade correspondente em mg L⁻¹ do produto líquido, foi realizado um cálculo de rendimento para uma alíquota de 15 ml de AF, medida em proveta, sendo posteriormente liofilizada e pesada para obter a quantidade em gramas de AFs em uma alíquota de 15 ml. Foram realizadas 3 repetições para os dois tipos de AF (do BIO e do FRASS). Este procedimento é crucial para determinar a quantidade (em gramas) de ácidos fúlvicos no líquido, permitindo uma dosagem correta para aplicação posterior. A quantidade média de AF no BIO foi de aproximadamente 6,42 mg L⁻¹ e no FRASS de 15,30 mg L⁻¹.

Tabela 2 – Resultado da análise química dos ácidos fúlvicos (AF) do bio sólido (BIO) e do excremento da mosca-soldado-negro (FRASS).

| AF | N | P | K |
|-----------|------|------|------|
| | % | | |
| BIO | 2,38 | 0,37 | 4,97 |
| FRASS-BSF | 0,31 | 0,66 | 0,72 |

Teores totais determinados no extrato ácido (ácido sulfúrico com peróxido de hidrogênio).

O método de aplicação dos AF foi via foliar, utilizando-se um pulverizador manual (Figura 3a). As quantidades aplicadas foram calculadas a partir do ponto de gotejo das mudas, escolhendo aquelas com a altura mais próxima ou igual à altura média das mudas de cada conjunto. Como são 7 doses (sendo a dose 0 o controle) e, cada um com 28 mudas ao total (4

repetições com 7 plantas em cada), representam então um total de 6 conjuntos os quais, cada um, terão uma medida da altura média.

3.4 Parâmetros de Qualidade

A medição das alturas das mudas iniciou aos 35 dias após a sementeira (04/04/2024), sendo realizada semanalmente até a data da coleta (27/05/2024). Isso permitiu a seleção da muda cuja altura estivesse mais próxima da média das alturas das mudas de cada conjunto. Com a média das alturas e a muda média selecionada, com o auxílio de uma proveta (Figura 3b), foi colocado no pulverizador manual um volume conhecido de solução e, em seguida, realizado a pulverização até atingir o ponto de gotejo.

Atingindo o ponto de gotejo, o volume que sobrou no pulverizador foi mensurado, utilizando-se a proveta, e a partir da diferença do volume inicial menos o volume final, foi obtido o volume do ponto de gotejo das mudas selecionadas, e depois extrapolado para todas as mudas do seu respectivo tratamento. Entre as aplicações, foi feita uma limpeza no pulverizador manual com detergente neutro e enxague em água corrente, e posterior enxágue com água destilada.

Vale ressaltar que o ponto de gotejo é a quantidade de solução aplicada nas folhas da muda até o momento em que a solução começa a escorrer ou gotejar das folhas. Essa técnica é usada para garantir que a planta recebe uma aplicação uniforme e adequada de bioestimulantes, sem excessos que possam causar desperdício ou danos.



Fonte: autora.

Figura 3 – 3a) Pulverizador manual utilizado para a aplicação. 3b) Proveta graduada utilizada para a medição dos volumes

Com o volume do ponto de gotejo da “muda de altura média” (sua altura próxima ou igual a altura média de cada conjunto), foi feita uma estimativa simples para saber o volume total a ser aplicado no conjunto de mudas de cada tratamento. Conforme crescem as mudas, aumenta a altura total, a quantidade e o tamanho das folhas, influenciando o ponto de gotejo ao longo do tempo, aumentando-o gradativamente (mesmo que em pequenas quantidades).

A pulverização das soluções de cada dose foi realizada para o conjunto das mudas de cada tratamento, e não individualmente (Figura 4a-b). As mudas foram dispostas de tal forma que diminuísse as perdas e sobreposição entre elas (Figura 4c-d) durante a pulverização.

Contudo, uma parte é perdida, e para estimar a média de quanto da solução está atingindo o conjunto de mudas e, conseqüentemente, cada muda, foi colocado um recipiente abaixo da bandeja plana (que dá suporte aos tubetes) para coletar essa quantidade perdida e, assim, determinar em média quanto o conjunto de mudas por tratamento recebeu de solução pulverizada (Figura 5).

A quantidade de solução perdida ao proceder com a pulverização foi coletada na bandeja branca (Figura 5a-b) e o seu volume foi obtido usando uma proveta graduada (Figura 1b). Com o valor do volume aplicado (estimado a partir do ponto de gotejo da muda de altura média) e do “volume perdido”, foi possível estimar o volume que cada conjunto de mudas do tratamento recebeu a cada aplicação.

Após a aplicação, as bandejas planas com as mudas ficaram pelo menos 4 horas no galpão do viveiro antes de irem para o canteiro suspenso ao ar livre, de modo a tornar mais eficaz a pulverização.

A aplicação foliar foi realizada após a emergência de folhas verdadeiras, ocorrendo aos 46 dias após a semeadura (DAS). As aplicações foram realizadas a cada 7 dias, exceto entre a 4ª e 5ª aplicação, sendo realizadas ao total 5 aplicações durante o período do experimento (82 dias).



Fonte: autora.

Figura 4 – 4a) Disposição das 35 mudas de uma das doses de uma das fontes de AF na bandeja plana antes da pulverização foliar. 4b-c) Momento da pulverização foliar sobre as mudas de um tratamento de uma das fontes de AF.na. 4d) Mudanças pós pulverização foliar.



Fonte: autora.

Figura 5: 5a-b) Bandeja branca coletora do volume perdido pela pulverização foliar. 5c-d) Vista da bandeja plana (com as mudas) encaixada na bandeja coletora.

A cada aplicação era realizado cálculo do ponto de gotejo da muda média de cada tratamento, das duas fontes de ácidos fúlvicos (FRASS e biossólido). Como comentado, a partir deste valor, era extrapolado para o conjunto de mudas de cada tratamento para as duas fontes de AF, bem como a quantidade perdida de solução durante a aplicação (coletada em cada aplicação, para cada tratamento das duas fontes de AF). Com essas informações, foram feitas estimativas do volume de solução total médio de cada muda para cada tratamento de ambos os AF. A partir disso, foi estimada a quantidade média de AF que cada planta recebeu. Na tabela 2 estão resumidos esses valores, tanto do volume médio total aplicado em cada tratamento (V1=1ª aplicação, V2=2ª aplicação, V3=3ª aplicação, V4= 4ª aplicação e V5= 5ª aplicação), quanto da quantidade média de AF final que cada muda de cada tratamento de ambas as fontes de AF recebeu (DOSE REAL) (Tabela 3).

Tabela 3 – Resumos dos volumes médio total de cada aplicação (V1, V2, V3, V4, V5 = ml) de cada tratamento (doses crescentes = mg.L⁻¹), de ambos os AF (FRASS e BIO), do volume médio total ao final de todas as aplicações por tratamento (média.muda⁻¹) e a quantidade média de AF final que cada muda recebeu de cada tratamento (DOSE REAL = mg.muda⁻¹).

| Dias após a semeadura | | 46 | 52 | 59 | 66 | 75 | - | | |
|-----------------------|--------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----------------------------|---------------------------|-----------------------|
| AF | DOSE | V1 | V2 | V3 | V4 | V5 | TOTAL | MÉDIA | DOSE_REAL |
| | mg.L ⁻¹ | ml | | | | | ml.tratamento ⁻¹ | média. muda ⁻¹ | mg.muda ⁻¹ |
| FRASS | 20 | 350 | 260 | 280 | 375 | 425 | 1690 | 48,3 | 0,97 |
| | 40 | 350 | 290 | 260 | 355 | 390 | 1645 | 47,0 | 1,88 |
| | 60 | 385 | 320 | 260 | 335 | 375 | 1675 | 47,9 | 2,87 |
| | 80 | 385 | 310 | 280 | 325 | 380 | 1680 | 48,0 | 3,84 |
| | 100 | 420 | 280 | 330 | 380 | 430 | 1840 | 52,6 | 5,26 |
| | 120 | 420 | 350 | 320 | 330 | 345 | 1765 | 50,4 | 6,05 |
| BIO | 20 | 350 | 240 | 280 | 395 | 395 | 1660 | 47,4 | 0,95 |
| | 40 | 350 | 240 | 210 | 355 | 355 | 1510 | 43,1 | 1,73 |
| | 60 | 385 | 270 | 220 | 365 | 365 | 1605 | 45,9 | 2,75 |
| | 80 | 385 | 320 | 230 | 325 | 325 | 1585 | 45,3 | 3,62 |
| | 100 | 420 | 310 | 330 | 390 | 390 | 1840 | 52,6 | 5,26 |
| | 120 | 420 | 390 | 340 | 370 | 370 | 1890 | 54,0 | 6,48 |

Semanalmente até 82 dias de cultivo, as mudas foram avaliadas quanto à altura da plântula (H), com auxílio de uma régua graduada a partir da marcação no caule até o ápice da gema apical. Aos 82 dias de cultivo foi mensurado o diâmetro do colo obtido com auxílio de paquímetro digital. Nessa mesma data foram selecionadas duas mudas com altura média por repetição, sendo 10 mudas por tratamento, para mensuração do acúmulo de massa de matéria seca da parte aérea (MSPA), do sistema radicular (MSR), e da matéria seca total (MST), por meio da soma de MSPA e MSR. As mudas foram seccionadas na região do colo, separando a parte aérea do sistema radicular, lavadas cuidadosamente com auxílio de peneira fina, para destorroamento e separação do substrato das raízes. Em seguida, a parte aérea e o sistema radicular foram colocados em sacos de papel, e secos em estufa de circulação de ar forçada à temperatura de 65°C durante 48 horas. Depois de secas, mensuradas as respectivas massas utilizando balança digital de precisão de três casas decimais.

A partir das mensurações das matérias secas, foi calculado o índice de qualidade de Dickson (IQD), conforme Dickson et al. (1960), por meio da fórmula:

$$IQD = \frac{MST}{\frac{H}{DC} + \frac{MSPA}{MSR}}$$

em que:

MST - massa de matéria seca total, em g muda⁻¹;

H - altura da parte aérea, em cm;

DC - diâmetro do colo, em mm;

MSPA - massa de matéria seca da parte aérea, em g muda⁻¹;

MSR - massa de matéria seca radicular, em g muda⁻¹.

3.5 Análise Estatística

Os dados foram submetidos ao teste de homogeneidade de variância (Bartlett Test) e ao teste de normalidade (Shapiro-Wilk). Atendida às premissas foi realizada a análise de variância (ANOVA). Quando houve efeito significativo pelo teste F, foi aplicado o teste de médias de Tukey ao nível de 0,05 de significância ou o ajuste de regressões ($p < 0,05$).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os parâmetros avaliados diâmetro do coleto (DC), relação altura/diâmetro do coleto (H:DC), massa de matéria seca da raiz (MSR) e o índice de qualidade de Dickson (IQD) não diferiram em função da aplicação das doses dos ácidos fúlvicos (AF) do FRASS e do bio sólido (BIO) (Tabela 4).

Tabela 4 - Valores do F calculado da análise de variância das variáveis altura (H), diâmetro do coleto (DC), relação altura x diâmetro do colo (H:DC), massa de matéria seca de parte aérea (MSPA), massa de matéria seca de raiz (MSR), massa de matéria seca total (MST) e índice de qualidade de Dickson (IQD) das mudas do híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* aos 82 dias após a semeadura, em relação a doses crescentes de ácidos fúlvicos (AF) extraídos do excremento de larva da mosca-soldado-negro (FRASS) e do bio sólido (BIO) de lodo de esgoto.

| FV | H | DC | H:DC | MSPA | MSR | MST | IQD |
|---------------------|--------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| DOSE_FRASS | 2,634* | 0,346 ^{n.s.} | 1,952 ^{n.s.} | 3,216** | 0,925 ^{n.s.} | 2,530** | 2,139 ^{n.s.} |
| DOSE BIO | 2,499* | 1,656 ^{n.s.} | 0,926 ^{n.s.} | 1,132 ^{n.s.} | 0,782 ^{n.s.} | 1,139 ^{n.s.} | 0,986 ^{n.s.} |
| CV (%) FRASS | 10,41 | 12,56 | 14,01 | 18,03 | 21,05 | 17,34 | 20,72 |
| CV (%) BIO | 13,73 | 13,86 | 14,98 | 25,61 | 24,12 | 24,16 | 26,92 |

** significativo a 1% de pelo teste F; * significativo a 5% de pelo teste F; ^{ns} não significativas pelo teste F

Para as doses de AF de BIO houve efeito apenas para a variável H, enquanto que para as doses de AF de FRASS houve diferença na altura (H), na massa seca da parte aérea (MSPA) e na massa seca total (MST) (Tabela 4).

Em relação às variáveis H (A), DC (B) e H:DC (C) (figura 6), obtidas aos 82 DAS, somente a variável H apresentou diferença em pelo menos uma das doses, tanto para os AF do FRASS (A1) quanto para os AF do BIO (A2). Em relação a aplicação do AF do FRASS, somente as mudas que receberam a dose de 2,97 mg muda⁻¹ foram superiores às demais em H (Figura 6A1), enquanto que o AF do BIO, a superioridade foram das mudas que receberam as doses de 1,73 e 5,26 mg muda⁻¹ (Figura 6A2).

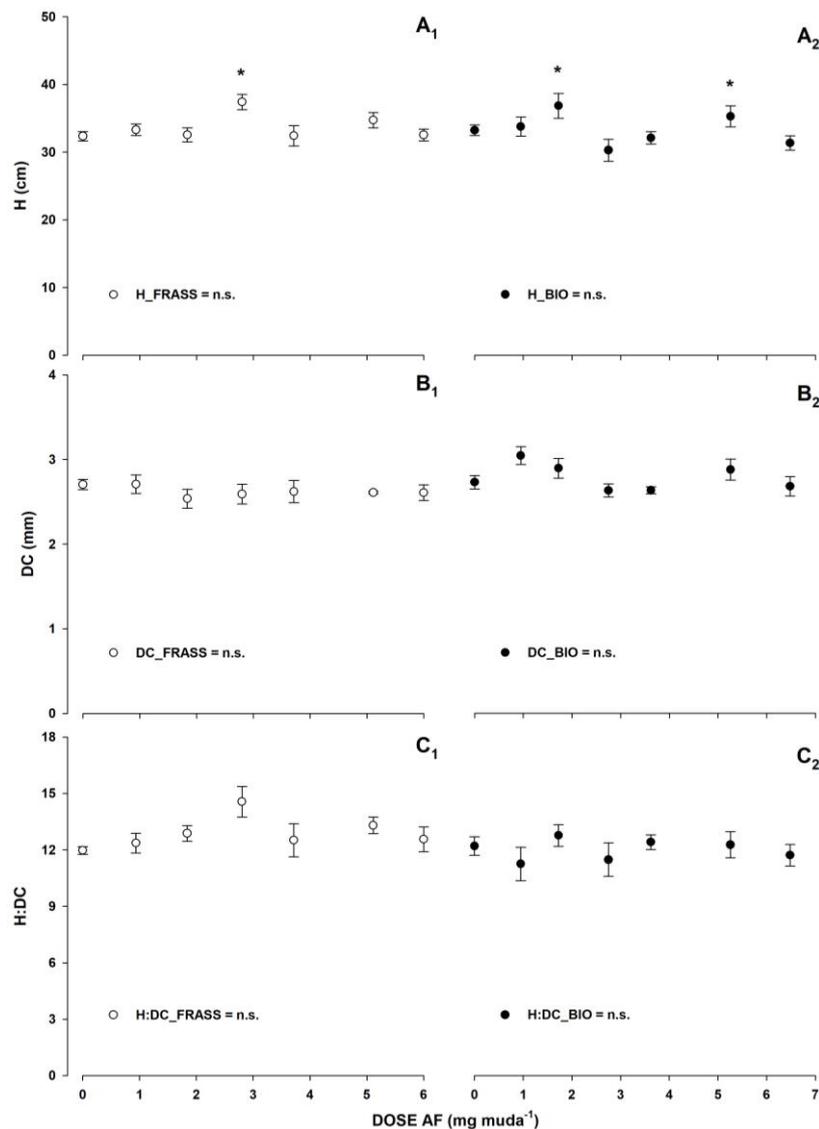


Figura 6 – Crescimento médio em altura (H) (A), diâmetro do coleto (DC) (B) e relação altura x diâmetro do coleto (H:DC) (C) de mudas do híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* aos 82 dias após a semeadura em função da aplicação de doses crescentes de ácidos fúlvicos (AF) de FRASS (1) e biossólido (BIO) (2); * superior aos demais tratamentos pelo teste de médias de Scott Knott à 5%.

O crescimento médio em H das mudas entre 35 e 77 dias após a semeadura (DAS), independente da dose e da origem do AF (FRASS ou BIO), apresentou comportamento linear (Figura 7), demonstrando que as mudas estavam em pleno crescimento. Os coeficientes angulares das equações entre os tipos de AF (FRASS ou BIO) foram muito semelhantes, o que sugere que as equações sejam estatisticamente iguais.

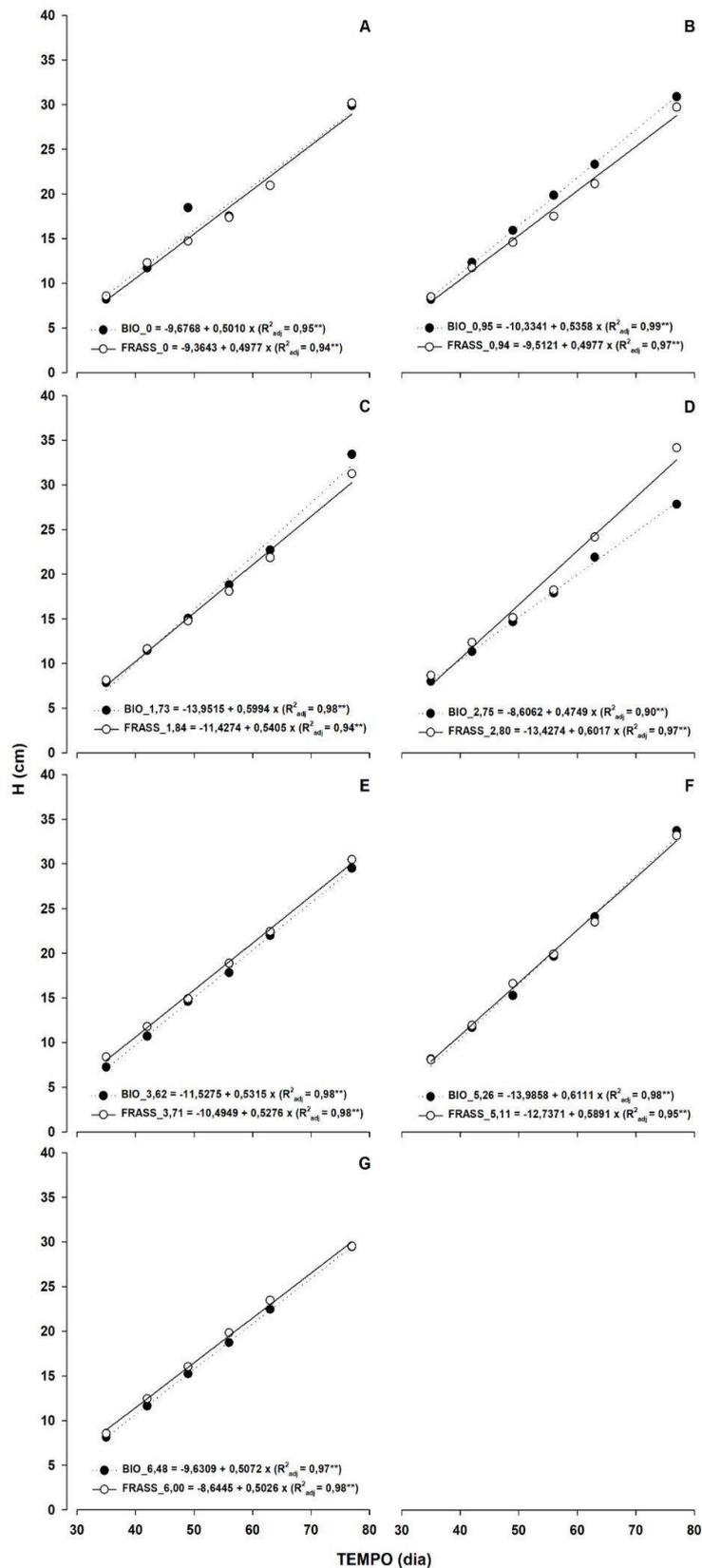


Figura 7 – Crescimento médio em altura (H) de mudas do híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* entre 35 e 77 dias após a semeadura em função da aplicação de doses crescentes de ácidos fúlvicos de extraídos do FRASS e do biossólido (BIO) nas nas concentrações 0 (A), 20 (B), 40 (C), 60 (D), 80 (E), 100 (F) e 120 (G) mg L⁻¹; ** coeficientes e equações significativas à 1%

Quanto a MSPA, MSR e MST e IQD, apenas na dose aplicada de 6,0 mg. muda⁻¹ do AF do FRASS (Figura 8 A1 e C1) as mudas foram inferiores as demais para MSPA e MST. Nas demais comparações não houveram diferenças estatísticas (Figura 8).

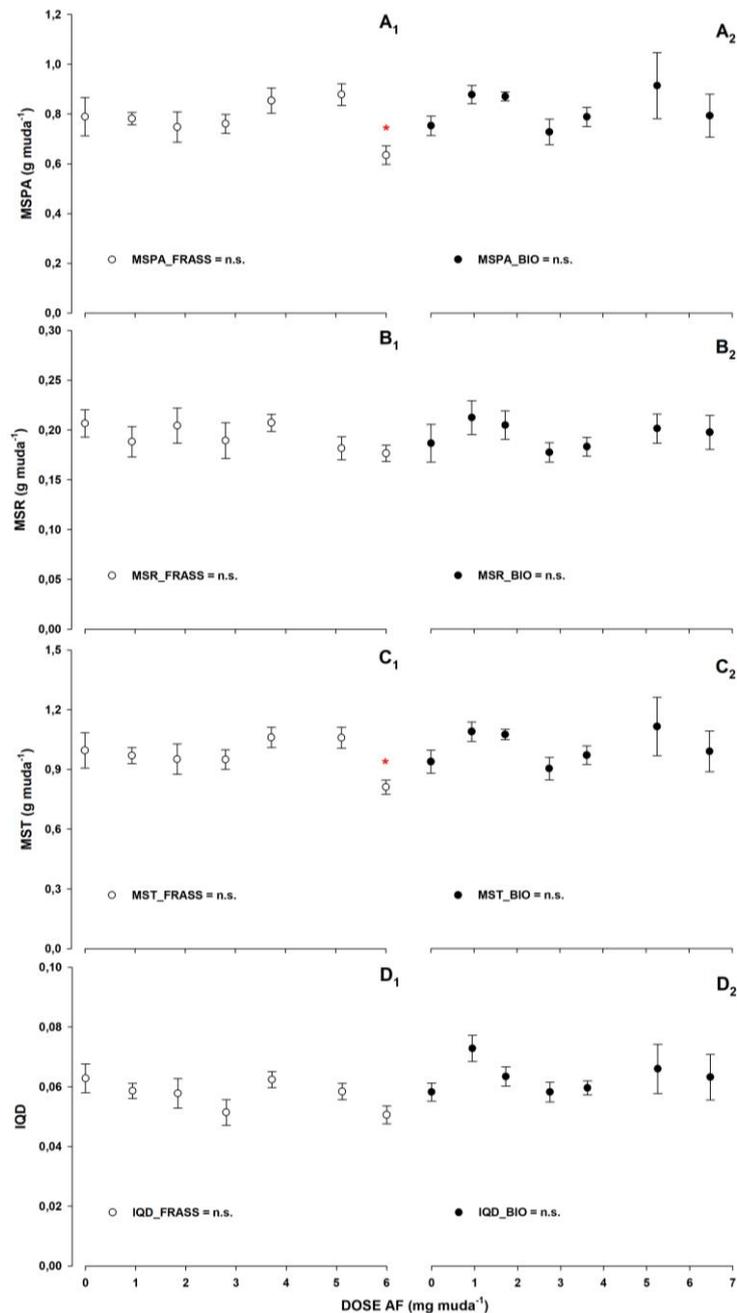


Figura 8 – Acúmulo médio de massa de matéria seca da parte aérea (MSPA) (A), de massa de matéria seca de raiz (MSR) (B), de massa de matéria seca total (MST) (C) e índice de qualidade de Dickson (IQD) (D) das mudas do híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* aos 82 dias após a semeadura, em função da aplicação de doses crescentes de ácidos fúlvicos (AF) de FRASS (1) e biofertilizante (BIO) (2); * inferior aos demais tratamentos pelo teste de médias de Scott Knott à 5%.

Paras as variáveis que são os mais importantes para a avaliação do padrão de qualidade das mudas florestais produzidas, ficou evidente que tanto as doses de AF do FRASS quanto às doses de AF do BIO não contribuíram de forma significativa para os mesmos.

Em contraste com o que foi observado neste trabalho, Bento et al. (2021) obtiveram resultados significativos da aplicação foliar de AF comercial em mudas de café para todas as variáveis avaliadas pelos autores, como por exemplo: altura da parte aérea, diâmetro do colo, massa seca da parte aérea e massa seca da raiz. Nesse trabalho, os autores misturaram 100 ml de ácido fúlvico comercial em 10 L de água e aplicaram a solução nas mudas usando um regador até encharcar. Realizaram 4 aplicações em intervalos de 15 dias, sendo que a primeira foi quando as mudas atingiram o estágio de orelha de onça. Contudo, os autores não mencionaram o produto comercial usado, mas sim o fabricante – Terra Fértil, portanto, não é possível saber a concentração exata de AF nessa solução.

No trabalho de Abdel-Baky et al. (2019), os autores concluíram que a pulverização foliar de ácidos fúlvicos (AF) em cultivares de *Vicia faba* L. (fava) no campo teve um efeito significativo em todos os parâmetros morfológicos avaliados, como altura das plantas, peso dos frutos e rendimento das sementes. As concentrações que apresentaram esse efeito significativo foram nas de 3, 6 e 9 g.L⁻¹.

De acordo com Justi et al. (2019), devido à maior solubilidade dos AF em pH baixo, característica da pulverização foliar, eles são agronomicamente mais eficientes que os ácidos húmicos (AH). Esses autores ressaltam que a quantidade de substâncias húmicas (SH) necessárias para o metabolismo e crescimento das plantas é maior quando aplicadas via solo do que quando aplicadas por pulverização foliar. Como a maioria dos estudos foca nas aplicações de SH no solo, é importante definir as concentrações adequadas para a aplicação foliar e considerar o tipo de planta

Além disso, os ácidos fúlvicos representam uma fração extremamente fina e em função disso, suas moléculas podem penetrar tanto pelas raízes quanto pelas folhas, sendo grande contribuinte para a adubação foliar, uma vez que essa molécula pode atuar como agente quelatizante (BERNARDES; JÚNIOR, 2018). Adicionalmente, a estimulação conferida pelos por AF nos transportadores de membrana de micronutrientes específicos ou transportadores ativos estimulados pela atividade H⁺ - ATPase podem ser uma possível explicação para o efeito positivo do AF nas plantas (JUSTI et al., 2019).

Além desse trabalho, Borcioni et al. (2016) também observaram efeitos significativos da aplicação foliar de ácidos fúlvicos em mudas de alface-americana "Raider Plus" produzidas em casa de vegetação. Eles notaram aumentos na massa seca e fresca das raízes e folhas, bem como no volume e comprimento radicular das mudas. As respostas aos AF foram crescentes (exponenciais-polinomiais). Os autores concluíram que os efeitos dos AF no crescimento inicial, especialmente no sistema radicular, foram significativos. Isso pode estar relacionado aos grupamentos funcionais dos AF, que possuem efeitos semelhantes às auxinas, hormônios vegetais que promovem a expansão celular e a iniciação das raízes. A promoção do crescimento radicular aumenta a capacidade de absorção de nutrientes pelas plantas, resultando em maior acúmulo de matéria seca (ABDEL-BAKY et al., 2019).

Mudas de alta qualidade, apresentam maior resistência às condições adversas do ambiente a qual estão inseridas, contribuindo para a redução da frequência de tratos culturais, aumento da taxa de sobrevivência e, conseqüentemente, menor necessidade de replantio, contribuindo para a redução dos custos de produção (RUDEK et al., 2013; WENDLING et al., 2021), além de resultar em plantios menos heterogêneos em termos de crescimento e de desenvolvimento

No entanto, neste estudo, não foram encontrados os resultados esperados em relação aos efeitos dos ácidos fúlvicos (AF) em mudas de eucalipto, ao contrário de outros estudos que destacaram efeitos positivos em diversos parâmetros morfológicos de culturas agrícolas. A falta de estudos na literatura sobre os efeitos e o modo de ação dos AF em culturas e mudas florestais, especialmente em mudas de eucalipto, dificultou a interpretação dos resultados.

Além disso, não foram realizadas análises para determinar a composição dos AF a nível estrutural. O tipo de AF, da planta receptora, as doses aplicadas, bem como as condições ambientais, são fatores que podem influenciar na variabilidade de seus efeitos.

5. CONCLUSÃO

A aplicação de doses crescentes de ácidos fúlvicos extraídos do excremento da larva da mosca-soldado-negro (FRASS) e do biossólido de lodo de esgoto (BIO) não proporcionou efeito nos parâmetros morfológicos de qualidade das mudas seminíferas do híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*.

6. CONSIDERAÇÕES

A ausência de estudos específicos sobre os efeitos dos AF em culturas florestais, especialmente em eucalipto, e a falta de análise detalhada da composição dos AF, destacam a necessidade de mais pesquisas nessa área para elucidar seu potencial bioestimulante em espécies florestais.

A ausência de efeitos significativos dos ácidos fúlvicos (AF), tanto do FRASS quanto do BIO, nos padrões de qualidade das mudas de *E. urograndis* pode estar relacionada às doses testadas, ao intervalo e estágio de aplicação, bem como às particularidades químico-estruturais desses AF.

São necessários mais estudos para investigar os efeitos dos AF no padrão de qualidade de mudas florestais.

7. REPEFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDEL-BAKY, Y. R. et al. Improve quality and productivity of some faba bean cultivars with foliar application of fulvic acid. **Bulletin of the National Research Centre**, v. 43, n. 1, p. 2, 5 jan. 2019.

ABREU, A. H. M. D. et al. Caracterização de biossólido e potencial de uso na produção de mudas de *Schinus terebinthifolia* Raddi. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 24, n. 3, p. 591–599, maio 2019.

ABREU, A. H. M. DE. **Biossólido na produção de mudas florestais da Mata Atlântica**. Dissertação de Mestrado—Seropédica, RJ: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2014.

AMORIM, V. D. S. S. D. et al. Os benefícios ambientais do plantio de eucalipto: revisão de literatura. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 11, p. e318101119604, 2 set. 2021.

ANTONANGELO, A.; BACHA, C. J. C. As Fases da Silvicultura no Brasil. **Revista Brasileira de Economia**, v. 52, n. 1, p. 207–238, 1 jan. 1998.

ANTONOV, A. et al. Application of a vermicomposter containing biostimulant for pine tapping. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 421, n. 2, p. 022068, 1 jan. 2020.

BALDOTTO, M. A.; BALDOTTO, L. E. B. Ácidos húmicos. **Revista Ceres**, v. 61, n. suppl, p. 856–881, dez. 2014.

BENTO, J. F. A. D. R. et al. Impacto de ácidos húmicos e fúlvicos na produção de mudas de cafeeiro / Impact of humic and fulvic acids on the production of coffee seedlings. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 7, p. 72666–72690, 7 jul. 2021.

BERNARDES, J. V. S.; JÚNIOR, V. O. APLICAÇÃO FOLIAR DE ÁCIDO FÚLVICO E *Azospirillum brasilense* NA CULTURA DA SOJA. **Anais do Seminário de Pesquisa e Inovação Tecnológica - SEPIT**, v. 2, n. n.1, 2018.

BORCIONI, E.; MÓGOR, Á. F.; PINTO, F. Influence of the application of fulvic acid on seedling root growth and yield in lettuce. **REVISTA CIÊNCIA AGRONÔMICA**, v. 47, n. 3, p. 509–515, 2016.

BORTOLINI, S. et al. *Hermetia illucens* (L.) larvae as chicken manure management tool for circular economy. **Journal of Cleaner Production**, v. 262, p. 121289, jul. 2020.

BUDIMAN, B. et al. Effect of initial morphology on field performance in white jabon seedlings at Bogor, Indonésia. **Forest Science and Technology**, v. 11, n. 4, p. 206–211, 2 out. 2015.

CANESIN, Â. et al. Bioestimulante no vigor de sementes e plântulas de faveiro (*Dimorphandra mollis* Benth.). **CERNE**, v. 18, n. 2, p. 309–315, jun. 2012.

CARON, V. C.; GRAÇAS, J. P.; CASTRO, P. R. DE C. E. **Condicionadores do solo: ácidos húmicos e fúlvicos**. USP/ESALQ - Divisão de Biblioteca, 2015.

CASTRO, P. R. DE C. E.; CAMPOS, G. R.; CARVALHO, M. E. A. **Biorreguladores e bioestimulantes agrícolas**. USP/ESALQ - Divisão de Biblioteca, 2019.

COSTA, C. D. D. O. et al. PRODUÇÃO E DEPOSIÇÃO DE SEDIMENTOS EM UMA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA COM SOLOS SUSCETÍVEIS À EROÇÃO. **IRRIGA**, v. 21, n. 2, p. 284, 18 jun. 2018.

CRISTINA TORDIN. **Espécie de eucalipto *urophylla* tem maior plasticidade e produtividade**. Embrapa. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/66939049/especie-de-eucalipto-urophylla-tem-maior-plasticidade-e-produtividade>>. Acesso em: 7 jul. 2024.

DI VITA, G. et al. A Review of the Role of Vegetal Ecosystems in CO₂ Capture. **Sustainability**, v. 9, n. 10, p. 1840, 13 out. 2017.

DU JARDIN, P. The science of plant biostimulants - a bibliographic analysis. **Final Report**, p. 27–30, 1 jan. 2012.

DU JARDIN, P. Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. **Scientia Horticulturae**, v. 196, p. 3–14, nov. 2015.

ELOY, E. et al. AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE MUDAS DE *Eucalyptus grandis* UTILIZANDO PARÂMETROS MORFOLÓGICOS. **FLORESTA**, v. 43, n. 3, p. 373, 13 set. 2013.

Eucalipto - Portal Embrapa. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/florestas/transferencia-de-tecnologia/eucalipto>>. Acesso em: 7 jul. 2024.

FARIA, J. R. et al. Desenvolvimento de *Eucalyptus urograndis* no município de Corumbá-GO. **Ensaios e Ciência C Biológicas Agrárias e da Saúde**, v. 17, n. 2, 2013.

FOELKEL, C. Minerais e nutrientes das árvores dos eucaliptos: 2005a.

FOELKEL, C. E. B. **Revista Visão Agrícola: Manejo Florestal - Florestas Plantadas. Tema: Eucalipto no Brasil, história de pioneirismo**. Disponível em: <<https://www.esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/va04-florestas-plantadas03.pdf>>. Acesso em: 7 jul. 2024b.

GARCÍA, A. et al. SUBSTÂNCIAS HÚMICAS E SEUS EFEITOS SOBRE A NUTRIÇÃO DE PLANTAS. **Nutrição Mineral de Plantas. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, MG. p. 227–277.

GARCÍA, A. C. **Frações sólidas humificadas de vermicomposto: seus efeitos em plantas e capacidade para a retenção de metais pesados**. Tese de Doutorado—Seropédica, RJ: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2013.

GÄRTTLING, D.; SCHULZ, H. Compilation of Black Soldier Fly Frass Analyses. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 22, n. 1, p. 937–943, 2022.

GATTO, A. et al. Estoques de carbono no solo e na biomassa em plantações de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 4, p. 1069–1079, ago. 2010.

GOENADI, D. H. Fulvic acid – a small but powerful natural substance. **E-Journal Menara Perkebunan**, v. 89, n. 1, 2021.

GOMES, J. M. **PARÂMETROS MORFOLÓGICOS NA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE MUDAS DE *Eucalyptus grandis*, PRODUZIDAS EM DIFERENTES TAMANHOS DE TUBETE E DE DOSAGENS DE N-P-K.** Tese de Doutorado—Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2001.

GONÇALVES, J. L. DE M. et al. **Mapeamento de solos e da produtividade de plantações de *Eucalyptus grandis*, com uso de sistema de informação geográfica.** Revista Scientia Forestalis. Disponível em: <<https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr94/cap06.pdf>>. Acesso em: 7 jul. 2024.

GONTIJO, D. DE O. **Silvicultura do eucalipto: principais espécies cultivadas no Brasil e suas características.** Trabalho de Conclusão de Curso (MBA)—Curitiba, PR: Universidade Federal do Paraná, 2018.

GUEDES, M. C. et al. Propriedades químicas do solo e nutrição do eucalipto em função da aplicação de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 2, p. 267–280, abr. 2006.

GUIMARÃES, Z. T. M. **Qualidade de mudas e estabelecimento em campo de espécies florestais de importância econômica em resposta ao sítio de plantio.** Tese de Doutorado—Manaus, AM: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, 2023.

IBÁ, I. B. DE Á. **Relatório Anual 2020: Indústria Brasileira de Árvores IBÁ.** Indústria Brasileira de Árvores. Disponível em: <<https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-iba-2020.pdf>>. Acesso em: 7 jul. 2024.

IBÁ, I. B. DE Á.-. **Indústria Brasileira de Árvores IBÁ: Relatório Anual 2023.** [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-anual-iba2023-r.pdf>>. Acesso em: 4 jul. 2024.

JUSTI, M.; MORAIS, E. G.; SILVA, C. A. Fulvic acid in foliar spray is more effective than humic acid via soil in improving coffee seedlings growth. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 65, n. 14, p. 1969–1983, 6 dez. 2019.

KAUFFMAN, G. L.; KNEIVEL, D. P.; WATSCHKE, T. L. Effects of a Biostimulant on the Heat Tolerance Associated with Photosynthetic Capacity, Membrane Thermostability, and Polyphenol Production of Perennial Ryegrass. **Crop Science**, v. 47, n. 1, p. 261–267, 2007.

KISHOR, M. et al. Humic acid as foliar and soil application improve the growth, yield and quality of coffee (cv. C × R) in W estern G hats of I ndia. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 101, n. 6, p. 2273–2283, abr. 2021.

MARTINS, S. G. et al. Fator cobertura e manejo do solo e perdas de solo e água em cultivo de eucalipto e em Mata Atlântica nos Tabuleiros Costeiros do estado do Espírito Santo. **Sci. For.**, v. 38, n. 87, 2010.

MARZOUK, N. et al. FOLIAR APPLICATION OF FULVIC ACID FOR INCREASING THE PRODUCTIVITY AND FRUIT QUALITY OF SNAP BEAN (*PHASEOLUS VULGARIS* L.) IN SANDY SOIL. **Plant Archives**, v. 20, p. 9175–9182, 2020.

MUSCOLO, A.; SIDARI, M.; NARDI, S. Humic substance: Relationship between structure and activity. Deeper information suggests univocal findings. **Journal of Geochemical Exploration**, v. 129, p. 57–63, jun. 2013.

OLIVEIRA, A. S. DE et al. **Florestas**. In: IBAMA. Relatório de qualidade do meio ambiente: RQMA: Brasil 2020. Brasília, DF, 2022. cap. 5., 2022.

OSIPE, R.; OSIPE, J. B.; ADEGAS, F. S. **AS PLANTAS DANINHAS E A CULTURA DO EUCALIPTO NO BRASIL**. Quintessência: pesquisa e texto, 2021.

PEZZUTTI, R. V.; CALDATO, S. L. SOBREVIVÊNCIA E CRESCIMENTO INICIAL DE MUDAS DE *Pinus taeda* L. COM DIFERENTES DIÂMETROS DO COLO. **Ciência Florestal**, v. 21, n. 2, p. 355–362, 2011.

PORFÍRIO-DA-SILVA, V. et al. **Arborização De Pastagens Com Espécies Florestais Madeireiras: Implantação E Manejo**. 1ª ed. Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2009.

PRADO NETO, M. et al. Germinação de sementes de jenipapeiro submetidas à pré-embebição em regulador e estimulante vegetal. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 3, p. 693–698, jun. 2007.

PRIMO, D. C.; MENEZES, R. C.; SILVA, T. O. Substâncias húmicas da matéria orgânica do solo: uma revisão de técnicas analíticas e estudos no nordeste brasileiro. **Scientia Plena**, v. 7, n. 5, 2 jun. 2011.

RUDEK, A.; GARCIA, F. A.; PERES, F. AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE MUDAS DE EUCALIPTO PELA MENSURAÇÃO DA ÁREA FOLIAR COM O USO DE IMAGENS DIGITAIS. Enciclopédia Biosfera. v. 09, n. Edição Nº 17, 2013.

SCHORN, L. A.; FORMENTO, S. **Silvicultura II: produção de mudas florestais**. Blumenau: FURB, 2003.

SIDDIQUI, S. A. et al. Future opportunities for products derived from black soldier fly (BSF) treatment as animal feed and fertilizer - A systematic review. **Environment, Development and Sustainability**, 2024.

SMETANA, S.; SCHMITT, E.; MATHYS, A. Sustainable use of *Hermetia illucens* insect biomass for feed and food: Attributional and consequential life cycle assessment. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 144, p. 285–296, maio 2019.

SOARES, D. C. O. et al. Uso do biochar e de bioestimulante na produção e qualidade de mudas de *Sapindus saponaria* L. **Ciência Florestal**, v. 31, n. 1, p. 106–122, 15 mar. 2021.

STURION, J. A.; ANTUNES, J. B. M. **Produção de mudas de espécies florestais**. 2000.

TEDESCO, M. J. et al. **ANÁLISE DE SOLO, PLANTA E OUTROS MATERIAIS**. Boletim Técnico de Solo/ UFRGS, Departamento de Solonos; n. 5, 1995. Disponível em: <https://rolas.cnpt.embrapa.br/arquivos/manual_rolas.pdf>. Acesso em: 3 jul. 2024

VALADARES, G.; LANDAU, E.; MAIA, N. L. Evolução da Produção de Eucalipto (*Eucalyptus* spp. e outros gêneros, Myrtaceae). p. 1435–1500.

WENDLING, I.; DUTRA, L. F.; GROSSI, F. **Produção de Mudas de Espécies Lenhosas**. Colombo, PR: Embrapa, 2006.

WENDLING, I.; DUTRA, L. F.; IVAR WENDLING, C. L. F. D. **Produção de mudas de eucalipto**. 2ª ed. Brasília, DF.: Brasília, DF: Embrapa, 2017., 2017.