






Artigos

Relação entre características fisiológicas, bioquímicas e de coloração das folhas no crescimento inicial de clones de *Eucalyptus* sp.

Relationship between physiological, biochemical and leaf color characteristics in the initial growth of *Eucalyptus* sp. clones

Aderbal Gomes da Silva^I 
Flavia Pandolfi^{II} 
Ricardo Miguel Penchel Filho^{III} 
Edvaldo Fialho dos Reis^{IV} 
Elzimar de Oliveira Gonçalves^V 

^IUniversidade Federal de São João del-Rei, Sete Lagoas, MG, Brasil

^{II}Prefeitura Municipal de João Neiva, João Neiva, ES, Brasil

^{III}Fibria Celulose S. A., Aracruz, ES, Brasil

^{IV}Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, ES, Brasil

^VUniversidade Federal Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES, Brasil

RESUMO

O trabalho objetivou quantificar variáveis fisiológicas e bioquímicas, com potencial de aplicação operacional em viveiros de mudas clonais de eucalipto na fase de expedição e estudar sua relação com variáveis biométricas avaliadas durante o crescimento inicial em campo. Foram utilizadas mudas produzidas por miniestaquia apical de dois clones comerciais híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, cultivadas em tubetes de 53 cm³ com substrato orgânico. O estudo se consistiu de avaliações em viveiro, laboratório e em campo aos 0, 30, 60, 90 e 120 dias, após o plantio. Os dados foram submetidos à análise de variância e quando significativos submetidos ao teste Tukey a 5% de probabilidade. Variáveis relativas ao padrão de rusticidade de mudas, utilizadas de forma subjetiva por viveiristas, foram quantificadas e validadas no viveiro e no campo. Diferenças entre clones foram observadas para as variáveis avaliadas. O teor de carboidratos e o índice de fluorescência foliar não variaram significativamente entre as classes de índice de clorofila. O teor de nitrogênio foliar, proteínas e o potencial hídrico foram diretamente proporcionais ao índice de clorofila. Concluiu-se que a tonalidade da copa das mudas pode ser relacionada com a rusticidade e que a tonalidade esverdeada é mais indicada por possuir uma maior rusticidade.

Palavras-chave: Rustificação de mudas; Qualidade de mudas; Florestas clonais

ABSTRACT

The work aimed to quantify physiological and biochemical variables, with potential for operational application in eucalypt clone seedling nurseries, during the expedition phase and to study their relationships with biometric variables evaluated during the initial growth in the field. Seedlings produced by apical mini-cuttings of two hybrid commercial clones of *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* were used, cultivated in 53 cm³ tubes with organic substrate. The study consisted of evaluations in nursery, laboratory and in the field at 0, 30, 60, 90 and 120 days after planting. The data were submitted to analysis of variance and, when significant, were submitted to the Tukey test at 5% probability. The variables related to the seedling rusticity pattern, used subjectively by nurserymen, were quantified and validated in the nursery and in the field. The differences between clones were observed for the evaluated variables. The carbohydrate content and the leaf fluorescence index did not vary significantly between the classes of chlorophyll index. Leaf nitrogen content, proteins and water potential were directly proportional to the chlorophyll index. It was concluded that the canopy color of the seedlings may be related to rusticity and that the greenish tonality is more indicated because it has greater rusticity.

Keywords: Hardening; Seedlings quality; Clonal forests

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um país com grande vocação florestal, quer seja pelo clima favorável, quer seja pelas técnicas e tecnologias utilizadas no processo produtivo, que são, para algumas espécies, como as do gênero *Eucalyptus*, as mais bem desenvolvidas do mundo (SILVA *et al.*, 2010).

O gênero *Eucalyptus* nas condições climáticas do Brasil apresenta elevada taxa de crescimento. De acordo com a Indústria Brasileira de Árvores - IBÁ (2019), as plantações brasileiras são as mais produtivas do mundo e, em 2018, ocupavam uma área de plantio de aproximadamente 5,7 milhões de hectares.

O aumento na demanda por produtos florestais evidencia a necessidade de serem inseridas nos programas de reflorestamento espécies de alta produtividade, que associadas às boas características silviculturais, possibilitem uma maior resistência das mudas em condições adversas no campo, tornando menor o tempo despendido para a sua completa formação, contribuindo para o êxito do povoamento florestal (OLIVEIRA JÚNIOR *et al.*, 2011; ELOY *et al.*, 2013; LIMA *et al.*, 2018), justificando assim os custos necessários para a melhoria da qualidade das mudas, bem como a verificação contínua

dessa qualidade (FIGUEIREDO *et al.*, 2009). Entende-se por mudas de alta qualidade aquelas que melhor se adaptam às condições adversas pós-plantio, proporcionando uma alta porcentagem de sobrevivência e um rápido crescimento inicial (LIMA *et al.*, 2020).

A identificação do padrão de rusticidade ideal de mudas para implantação é um desafio para muitas empresas florestais, pois, além de verificar se a muda está adaptada para suportar as condições de plantio no campo e sobreviver, tem por objetivo determinar quais parâmetros influenciam na sobrevivência e no crescimento das mesmas.

Acredita-se que o padrão de rusticidade ideal esteja relacionado tanto às características morfológicas como fisiológicas e nutricionais das mudas, além de depender da carga genética (GOMES *et al.*, 2002), mas estudos correlacionando parâmetros morfológicos, fisiológicos e nutricionais de mudas e suas influências na sobrevivência e no crescimento inicial em campo ainda são escassos.

Partindo dessa premissa, seria possível selecionar uma característica ou o grupo de características, no programa de seleção, úteis na identificação da rusticidade. Apesar da importância da rusticidade das mudas, poucos estudos vêm sendo realizados na tentativa de ampliar essa base de conhecimentos. Pois na prática a definição de rusticidade de mudas é feita avaliando-se a coloração de suas folhas, acreditando-se que quanto mais avermelhada, mais rustificada estará a muda, sendo que essa seleção é pura e simplesmente visual, sem qualquer embasamento científico.

Em função da ausência da aplicação de métodos quantitativos adequados para a avaliação da rusticidade em mudas de eucalipto, somada à necessidade de se obter uma definição mais acertada dos indicadores de rustificação, torna-se clara a necessidade de se estudarem as características que possam se correlacionar e serem úteis na identificação do padrão de rusticidade.

Assim, o objetivo deste trabalho foi analisar características fisiológicas e bioquímicas relacionadas à coloração das folhas das mudas de dois clones híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* na fase de expedição, e seu efeito sobre as características biométricas durante o crescimento inicial no campo.

2 MATERIAL E MÉTODO

Este estudo foi conduzido na empresa Fibria Celulose S.A. em Aracruz, Espírito Santo. Os experimentos foram implantados em área de plantio comercial de eucalipto, localizada na latitude 19°47' S e longitude 40°08' W, com solo classificado como Argissolo Amarelo Distrófico (MARTINS *et al.*, 2003).

O clima é classificado como Aw, segundo a Köppen e Geiger, caracterizado como clima tropical com verão chuvoso, inverno seco, apresentando temperatura média de 24.4°C e pluviosidade média anual é 1157 mm. A estação chuvosa no verão vai de novembro a abril e estação seca no inverno vai de maio a outubro, sendo junho e julho os meses mais secos (CLIMATE-DATA.ORG, 2020).

2.1 Produção e seleção das mudas para caracterização das classes de tonalidade da copa

As mudas provenientes de dois clones híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, denominados de clone A e clone B, foram produzidas de acordo com o sistema convencional da empresa, utilizando miniestacas, variando entre 8 e 10 cm de comprimento. Estas foram retiradas da posição apical da brotação das minicepas do jardim miniclinal. Segundo Figueiredo *et al.* (2014), neste sistema, as miniestacas são coletadas a partir de minicepas cultivadas em canaletões contendo areia com solução nutritiva, sob condição de casa de vegetação.

O referido material genético foi selecionado devido a sua representatividade nos plantios comerciais da empresa Fibria Celulose S.A. e pela necessidade de aprofundamento no conhecimento de variáveis não empíricas para caracterização do processo de rustificação destes clones.

As mudas foram produzidas utilizando-se tubetes de polipropileno de 53 cm³. O substrato foi composto pela mistura de 35% do volume com vermiculita expandida fina, 35% do volume com casca de arroz carbonizada e 30% do volume com fibra de coco. Ao substrato foram adicionados 2,5 kg m⁻³ de Osmocote (19-06-10) microgranulado de

liberação lenta e 2,0 kg m⁻³ de superfosfato simples. O ciclo de produção das mudas foi de aproximadamente 80 dias.

As mudas consideradas prontas para expedição foram selecionadas de acordo com critérios visuais e operacionais, embasados na recomendação técnica de avaliação do padrão de qualidade de mudas, conforme gabarito operacional utilizado pela Fibria Celulose S/A e, para tanto, atribuindo-se notas de 1 a 5 para as variáveis de qualidade (PENCHEL *et al.*, 2007), a saber: (1) Altura do broto; (2) Ângulo do torrão; (3) Fitossanidade; (4) Comprimento do torrão; (5) Deformação radicular; (6) Diâmetro do coleto; (7) Idade da muda; (8) Pares de folhas; e (9) Relação copa/broto.

Para a definição das classes de tonalidade, foi realizada uma amostragem com presseleção visual em um lote de mudas, observando a tonalidade das copas, classificando-as em avermelhadas (AVE), amareladas (AMA) e esverdeadas (ESV). Além das classes de coloração citadas, foi considerada também uma classe mista (MIS), sendo considerada como classe-testemunha, apresentando índice de clorofila foliar variável.

Após essa presseleção, quantificou-se o índice de clorofila foliar (ICF) individual de todas as mudas de cada classe e, baseando-se nas médias e desvios padrão, foi definida a subdivisão das classes de acordo com o ICF, o qual foi determinado por meio do medidor portátil do teor relativo de clorofila CCM-200, Opti-Sciences.

2.2 Determinação das variáveis fisiológicas e bioquímicas

Para classificar as mudas de acordo com as classes de coloração definidas anteriormente, o ICF foi mensurado, utilizando-se o medidor portátil CCM-200, Opti-Sciences, em uma das folhas do 2º, 3º e 4º pares contadas a partir do ápice. Foram avaliadas 125 mudas por classe, para cada clone.

Quanto ao índice de fluorescência foliar (IFF) discutir-se-á neste trabalho apenas a relação das fluorescências variável e a máxima (Fv/Fm), pois, segundo Zanandrea *et al.* (2006), esta relação é uma das mais representativas do estado fotoquímico das

folhas e também indicadora de estresses. Assim, o IFF foi mensurado em cada uma das classes de tonalidade das copas, utilizando uma amostragem de 10 repetições, composta por uma muda cada, realizando as medições em uma das folhas do 3º par, contado a partir do ápice, sendo esta a mesma folha do par utilizado para a determinação do ICF.

As emissões de fluorescência da clorofila foram mensuradas às 9, 12 e 16 horas, utilizando um fluorímetro não modulado modelo PEA (Hansatech Instruments Ltd, King's Lynn, Norfolk, UK) com pinças fornecidas pelo fabricante para adaptar o tecido foliar ao escuro (30 min), possibilitando que todos os centros de reação adquirissem a condição de abertos (Qa oxidada). Foram quantificadas a fluorescência inicial (F_0), fluorescência máxima (F_m) e fluorescência variável (F_v), tornando possível a obtenção da relação F_v/F_m , que expressa o rendimento quântico máximo do fotossistema II (BOLHÀR-NORDENKAMPF *et al.*, 1989).

O potencial hídrico foliar foi determinado por meio de uma câmara de pressão tipo Scholander, modelo PMS 1505D, em uma das folhas do 3º par, contado a partir do ápice, sendo esta a mesma folha utilizada na mensuração do ICF. Foi utilizada uma amostra com três repetições de uma muda cada, sendo avaliados quatro horários durante o dia, às 4h30 (antemanhã), 9, 12 e 16 horas. A umidade das mudas foi controlada durante todo o período da avaliação, sendo o substrato mantido em 50% da capacidade de campo, e monitorado através de um sensor denominado Wet-2 Sensor, integrado ao medidor de umidade HH2, ambos fabricados por DELTA-T Devices, o qual foram calibrados para o substrato utilizado.

As variáveis teor de Nitrogênio foliar e proteína foram determinados utilizando-se 3 repetições de 7 mudas cada, mensuradas no limbo das folhas nas quais foram quantificados o ICF e a relação F_v/F_m . Ambas as determinações foram realizadas pelo Método Micro-Kjeldahl (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997).

A quantificação dos teores de açúcares livres redutores e não redutores (sacarose), presentes em cada classe de mudas, foi obtida por meio de uma amostra composta

por 3 repetições de 7 mudas cada. A base usada para a respectiva determinação foi a norma técnica MT/TEC-008, desenvolvida internamente pelo Centro de Tecnologia da Fibria Celulose S.A.

2.3 Implantação do experimento no campo e avaliação das características biométricas

Em toda a área de implantação do experimento foi realizado o controle de formigas, antes e após o plantio, utilizando-se 1,5 kg ha⁻¹ de isca granulada com princípio ativo sulfloramida, por meio da utilização de porta-isca de 5 g e 10 g.

Três dias antes do plantio, efetuou-se a adubação, aplicando 150 g por cova de NPK (06-30-06). Em seguida, as mudas foram plantadas no espaçamento 3,0 m x 2,5 m de forma semimecanizada e utilizando hidrorretentor hidratado, sendo as mesmas irrigadas logo após o plantio. Após 90 dias do plantio, foi realizada adubação de cobertura, aplicando-se 120 g por cova, da formulação NPK (12-00-20), mais 0,7% de Boro, na projeção da copa.

As plantas foram avaliadas mensalmente, até os 120 dias, quanto à sobrevivência, à altura da parte aérea e ao diâmetro da base do caule. A altura da parte aérea foi mensurada a partir do coleto até a gema apical dominante no dossel, sendo utilizada uma régua telescópica graduada e o diâmetro da base do caule por meio de um paquímetro digital.

Para o teor de nitrogênio foliar e índice de fluorescência foliar, os dados foram analisados segundo um delineamento inteiramente casualizado, sendo que para o nitrogênio foliar foram utilizadas 3 repetições de 7 mudas e para Índice de Fluorescência, 10 repetições de uma muda cada.

Para as variáveis açúcar livre total, sacarose e teor de proteínas, os dados foram analisados no esquema fatorial 2 x 4 (clones x classes) com 3 repetições de 7 mudas cada.

O experimento de campo foi montado no esquema de parcelas subdivididas

em esquema fatorial, contemplando 2 tipos de clone e 4 classes de mudas, nas subparcelas, 5 tempos de avaliação (0, 30, 60, 90 e 120 dias), em um delineamento inteiramente casualizado com 5 repetições e 25 plantas por parcela. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, utilizando o *software* SAEG 9.1 (Sistema de Análises Estatísticas e Genéticas), e quando significativa foi utilizado o teste Tukey a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Determinação das variáveis fisiológicas e bioquímicas

Houve uma relação entre a tonalidade das copas e o ICF em cada classe, ou seja, mudas de tonalidade Avermelhada apresentaram índices de clorofila menores (5,0 a 7,0), as Amareladas, intermediários (7,1 a 9,0) e as Esverdeadas, maiores (9,1 a 11,0) (Tabela 1).

Tabela 1 – Valores das faixas do índice de clorofila foliar (ICF), médias do teor de nitrogênio foliar total e do índice de fluorescência foliar, para cada classe de mudas de eucalipto dos clones A e B, em condições de viveiro, aos 90 dias

Clones	Classes	ICF	Teor de N Foliar (%)	Fv/Fm
A	Avermelhada	5,0 - 7,0	1,1 b	0,71 a
	Amarelada	7,1 - 9,0	1,4 a	0,70 a
	Esverdeada	9,1 - 11,0	1,5 a	0,70 a
	Mista	5,0 - 11,0	1,5 a	0,68 a
B	Avermelhada	5,0 - 7,0	1,0 b	0,71 bc
	Amarelada	7,1 - 9,0	1,1 b	0,74 ab
	Esverdeada	9,1 - 11,0	1,3 a	0,76 a
	Mista	5,0 - 11,0	1,1 b	0,68 c

Fonte: Autores (2020)

Em que: Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna para classes, para cada clone, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

O teor de nitrogênio foliar apresentou índices diferentes para classificação das tonalidades das mudas de ambos os clones. Para o clone A, apenas a classe Avermelhada mostrou-se diferente, com teor de N foliar inferior às demais, ao contrário do clone B, em que apenas a classe com tonalidade Esverdeada apresentou teor superior às demais, as quais não diferiram entre si. Esse resultado sugere que as classes de mudas com maiores quantidades de moléculas de clorofila apresentam equivalência dos valores de N foliar, conforme verificado por outros autores, como Furlani Júnior *et al.* (1996), em folhas de feijoeiro, e Santos *et al.* (2003), em milho e pimenta.

Essa equivalência dos valores e de N foliar implica ausência de inibição da utilização da luz solar como fonte de energia para a realização de funções essenciais da planta (REIS *et al.*, 2006). E, segundo a Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato (1998), interfere ainda na produção de carboidratos e conseqüentemente no desenvolvimento da planta. Quanto menor a relação IC e N, mais serão afetados o tamanho, a composição e a função dos cloroplastos (LAWLOR, 2002). As plantas com menor teor de N possuem cloroplastos pequenos e achatados, com poucos tilacoides, podendo ter a sua capacidade fotossintética reduzida (LAZA; BERGMAN; VERGARA, 1993; KUTIK *et al.*, 1995). Assim, esse menor teor de N poderá contribuir para um menor vigor vegetativo inicial das plantas, imediatamente pós-plantio.

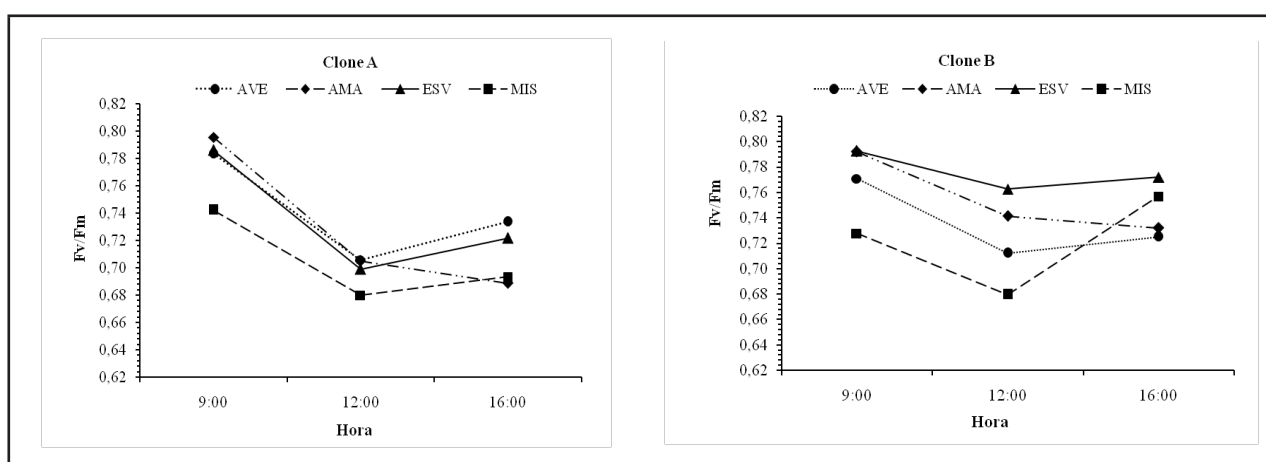
Mudas que passam por intenso processo de rustificação apresentam menores teores de N comparativamente àquelas não rustificadas (SILVEIRA *et al.*, 2001). Esse fato foi confirmado para as classes decoloração estudadas, ou seja, os menores teores de clorofila estavam associados a menores teores de N, implicando menor capacidade fotossintética, portanto não sendo desejáveis quando se busca o melhor desenvolvimento inicial das plantas no campo.

As mudas do clone A não apresentaram diferenças estatísticas significativas quanto ao índice de fluorescência foliar (Tabela 1), não evidenciando maior ou menor eficiência do aproveitamento da energia luminosa. Em relação ao clone B, a fluorescência das folhas da classe Esverdeada foi significativamente superior à

fluorescência das classes Avermelhada e Mista, evidenciando maior eficiência das folhas da referida classe na utilização da energia solar. Os resultados obtidos neste estudo para a fluorescência do clone A, divergem de algumas literaturas, uma vez que relatam que um baixo teor N provoca o decréscimo do rendimento quântico relacionado ao transporte de elétrons do FSII e na eficiência quântica máxima desse sistema (NUNES; RAMALHO; DIAS, 1993; VERHOEVEN; DEMMING-ADAM, 1997). Entretanto, segundo Bolhàr-Nordenkampf *et al.* (1989), em geral, quando uma planta não está submetida ao estresse abiótico, a razão F_v/F_m deve estar entre 0,75 a 0,85, o que sugere que no caso em questão pode ter ocorrido algum tipo de estresse abiótico, como por exemplo, limitação física dos tubetes restringindo o crescimento radicular.

Na Figura 1, são ilustrados os rendimentos quânticos do FSII (F_v/F_m) avaliados em três horários do dia, em condições de viveiro, contemplando as quatro classes de mudas dos clones A e B.

Figura 1 – Rendimento quântico máximo do FSII (F_v/F_m) em três horários do dia, em mudas de diferentes classes de coloração das folhas (avermelhadas = AVE; amareladas = AMA; esverdeadas = ESV; mista = MIS), avaliadas em condições de viveiro para os clones A e B



Fonte: Autores (2020)

Os diferentes horários do dia influenciaram o rendimento quântico do FSII para todas as classes de coloração de mudas. Observa-se uma diminuição da eficiência

intrínseca do respectivo sistema pela manhã até atingir seu menor valor às 12h e uma tendência de recuperação no período da tarde, com exceção da classe Amarelada do clone A.

Ao final da tarde, os valores da relação F_v/F_m se aproximam daqueles obtidos ao alvorecer, caracterizando uma curva côncava ao longo do dia. Ressalta-se que cada uma das classes apresentou um comportamento individualizado ao longo do dia, mas com tendências semelhantes, exceto a classe Amarelada do clone A, que não esboçou recuperação até as 16h, horário da última avaliação do dia.

As classes de mudas, em condições de viveiro, apresentaram diferenças entre si em relação à eficiência fotoquímica do FSII. Para o clone A, a classe Mista foi a de menor eficiência ao longo do dia, seguida pela classe Amarelada, cuja eficiência, embora alta no período da manhã, seguiu em queda até o final do dia. A classe Avermelhada seguida da classe Esverdeada apresentou melhor recuperação ao final da tarde. Folhas classificadas de acordo com a tonalidade (IC) apresentaram maior eficiência de rendimento quântico máximo do FSII em relação às mudas não classificadas (classe Mista). Para o clone B, a classe Esverdeada obteve o rendimento quântico mais elevado ao longo do dia e a classe Mista apresentou um rendimento quântico baixo na primeira metade do dia, porém iniciou um processo contínuo de elevação a partir das 12h até às 16h. Mesmo assim, a classe Esverdeada prevaleceu como a de melhor eficiência intrínseca do fotossistema II, evidenciando uma maior eficiência em captar luz e convertê-la em energia.

Não houve diferença estatística significativa entre as classes de mudas de ambos os clones com relação ao conteúdo de carboidratos (Tabela 2). Segundo McNabb (1985), a definição da qualidade da muda deve levar em consideração a quantidade de carboidratos. Da mesma forma, Silva (2003) afirma que o acúmulo de carboidratos pode propiciar um melhor desempenho das mudas no campo. Partindo dessa premissa, e tendo como base os teores de carboidratos, nas formas de açúcar solúvel e sacarose, observados nas folhas dos dois clones, não há diferença em escolher qualquer tonalidade de folhas.

O conteúdo de proteína diferiu significativamente entre as classes de mudas de ambos os clones (Tabela 2). Para o clone A, as classes Avermelhada, Amarelada e Esverdeada diferiram estatisticamente entre si; a classe Esverdeada apresentou valores superiores de acúmulo de proteínas em relação às demais. Para o clone B, houve diferença estatística somente para a classe denominada Esverdeada, a qual foi superior às demais. Este experimento evidenciou que quanto maior o índice de clorofila, maior o teor de proteínas presentes, mas não foi detectada nenhuma relação com os teores de carboidratos.

Tabela 2 – Valores das faixas do índice de clorofila e valores médios de carboidratos (açúcar livre total e sacarose) e proteínas para cada classe de mudas de eucalipto dos clones A e B, na fase de expedição para plantio no campo, aos 90 dias

Clones	Classes	IC	Carboidratos		Proteínas (%)
			Açúcar Livre Total (mg/g)	Sacarose (mg/g)	
A	Avermelhada	5,0 - 7,0	53,7 a	7,2 a	8,9 c
	Amarelada	7,1 - 9,0	56,8 a	6,1 a	10,7 b
	Esverdeada	9,1 - 11,0	61,2 a	7,8 a	12,4 a
	Mista	5,0 - 11,0	60,9 a	8,6 a	8,6 c
B	Avermelhada	5,0 - 7,0	57,1 a	6,1 a	7,8 b
	Amarelada	7,1 - 9,0	54,1 a	7,1 a	8,4 b
	Esverdeada	9,1 - 11,0	57,8 a	8,2 a	9,7 a
	Mista	5,0 - 11,0	59,6 a	7,3 a	8,3 b

Fonte: Autores (2020)

Em que: Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna, para cada clone, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Em relação ao teor de proteínas, espera-se que mudas de tonalidade Esverdeada de ambos os clones, obtenham um melhor estabelecimento e desenvolvimento no campo, e que o índice de clorofila, relacionado diretamente como teor de proteínas, possa ser um indicador de rusticidade de mudas de eucalipto.

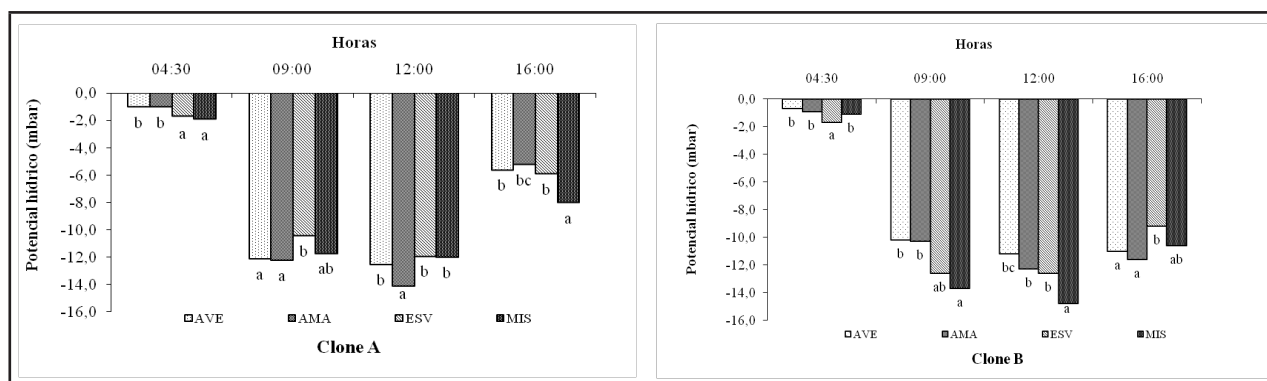
Em função de ter demonstrado uma relação direta com o teor de proteínas, o

índice de clorofila pode ser uma variável sensível e prática no processo de seleção das mudas para plantio. Uma vez que o índice pode ser determinado por meio de uma análise relativamente simples, ele apresenta potencial para ser utilizado em escala operacional, desde que haja uma amostragem adequada. Ao contrário da informação difundida na área silvicultural, mudas mais avermelhadas não apresentaram maior rustificação.

O potencial hídrico foliar (ψ_f) foi avaliado em viveiro para todas as classes de mudas dos clones A e B (Figura 2).

As medições de potencial hídrico refletem o grau de tensão hídrica que as folhas estão sofrendo e, segundo Larcher (2004) e Taiz *et al.* (2017), o potencial hídrico indica o grau de hidratação de uma planta. Daí a sua importância como parâmetro indicador da qualidade de mudas.

Figura 2 – Potencial hídrico foliar (ψ_f) de mudas de diferentes classes de coloração das folhas (avermelhadas = AVE; amareladas = AMA; esverdeadas = ESV; mista = MIS), avaliadas em condições de viveiro para os clones A e B



Fonte: Autores (2020)

O potencial hídrico foliar antemanhã do clone A foi ligeiramente mais negativo para as classes Esverdeada e Mista (Figura 2). Ao longo do dia, nos horários mais quentes foram obtidos os potenciais mais negativos, sendo que a classe Esverdeada foi a menos sensível ao estresse hídrico no horário das 9h. Às 12h, a única classe a se diferir das demais foi a Amarelada, sendo a mais afetada. Ao final do dia, às 16h,

observa-se uma recuperação das mudas em relação ao estresse hídrico, ou seja, os valores de potencial hídrico se tornam menos negativos. Nesta fase, a recuperação das classes se mostrou semelhante, exceto a classe Mista que se diferiu das demais por apresentar menor capacidade de recuperação.

Segundo Ferreira, Davide e Carvalho (1999), os valores mais negativos de potencial hídrico registrados para as classes Amarelada e Avermelhada podem ter ocorrido em função de taxas transpiratórias mais elevadas, apresentadas pelas plantas dessas classes, tendo em vista que taxas de transpiração mais elevadas permitem a manutenção de um menor potencial hídrico do tecido, favorecendo redução do potencial hídrico foliar e, conseqüentemente, estimulando a absorção de água retida a maiores tensões. Menores valores de potencial hídrico indicam que a planta está em uma condição em que as células estão sofrendo desidratação do protoplasma, o que prejudica todos os seus processos vitais (KOZLOWSKI; PALLARDY, 1996; LARCHER, 2004; TAIZ *et al.*, 2017). Segundo Pereira *et al.* (2006), quanto menor o potencial de água na folha, maior a resistência dos estômatos, existindo uma relação direta entre esses fatores.

A variação do potencial hídrico entre as classes do clone B não seguiu a dinâmica apresentada pelo clone A, principalmente em relação a sua capacidade de reidratação, inferior à do clone A, como pode ser observado no horário das 16h. Observando o potencial hídrico antemanhã do clone B, apenas a classe Esverdeada se diferiu das demais. Já nos horários das 9h e 12h, a classe Mista foi a que apresentou potencial hídrico mais negativo. Isso é um indicativo de que para o clone B, a classe de coloração Mista é a mais impactada nas horas mais quentes do dia, o que, de acordo com Menzies (1992), está diretamente ligado à sobrevivência e crescimento das mudas em campo.

Em termos de recuperação do clone B, observando o horário das 16h, a classe Esverdeada foi ligeiramente melhor, ou seja, apresentou potencial hídrico menos negativo que as demais e, mesmo não sendo a classe mais tolerante nos horários mais quentes do dia, mostrou maior potencial de recuperação. Isso poderá representar

uma vantagem fisiologia para a referida classe no processo de estabelecimento das mudas em campo.

Por meio da análise gráfica pode-se observar que ocorreram variações de potencial hídrico entre os clones A e B, semelhante ao registrado por Fernandes, Cairo e Novaes (2015), estudando as respostas fisiológicas de clones de eucalipto cultivados em casa de vegetação. No caso deste trabalho, a diferença mais claramente expressada se refere ao horário das 16h, no qual se pode avaliar a capacidade de recuperação dos clones, evidenciando uma superioridade do clone A em relação ao clone B, quanto a essa característica.

3.2 Avaliação das características biométricas

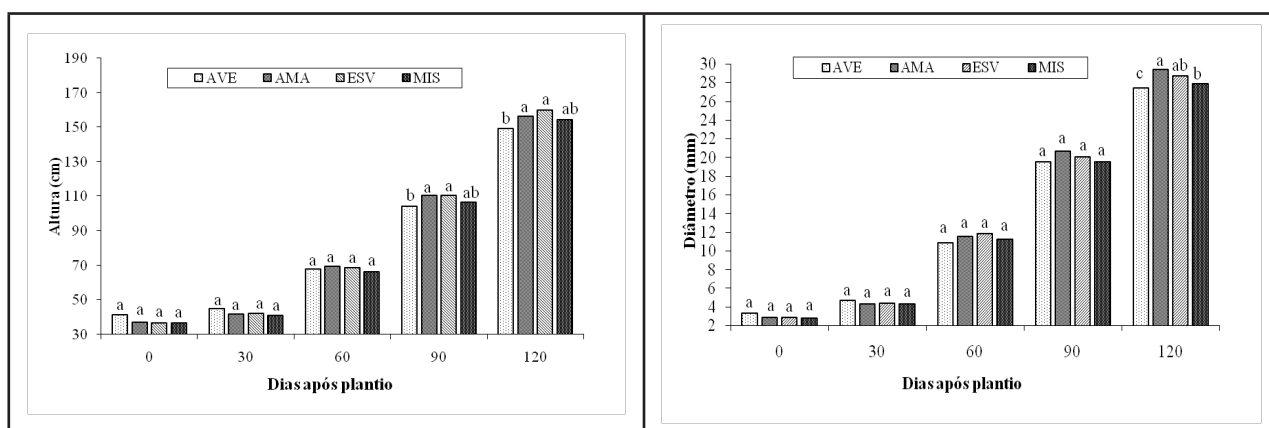
Para ambos os clones estudados, não houve mortalidade de mudas no campo. De acordo com Stape, Gonçalves e Gonçalves (2001), a sobrevivência e o desenvolvimento das plantas no campo dependem das interações entre os atributos morfofisiológicos das plantas e as características do sítio, sendo que quanto mais severas forem as condições de campo, maior a importância dos atributos morfofisiológicos das plantas. A ausência de mortalidade de mudas neste estudo indica que as mesmas apresentaram condições morfológicas e fisiológicas adequadas para suportar as condições de campo.

Quanto ao desenvolvimento inicial, o período avaliado foi de 120 dias (Figuras 3 e 4).

Até os 60 dias após o plantio, as plantas do clone A não apresentaram diferenças significativas de altura em função da classificação realizada no viveiro com base na tonalidade da copa (Figura 3). Aos 90 dias, as classes apresentaram diferença significativa, mantendo comportamento semelhante aos 120 dias, ou seja, as classes Amarelada e Esverdeada apresentaram maior altura. As mudas avermelhadas, tendo como base avaliações empíricas, geralmente são consideradas mais resistentes e com maior grau de rustificação, mas, para efeito deste trabalho, essas não apresentaram crescimento superior em altura, em nenhuma das fases do estabelecimento inicial em campo.

O crescimento em diâmetro não variou entre classes até os 90 dias de plantio em campo. Foram registradas diferenças significativas apenas aos 120 dias, em que a classe Avermelhada apresentou crescimento inferior às demais, sendo consistente com o seu crescimento em altura.

Figura 3 – Crescimento da parte aérea e diâmetro da base do caule das plantas de eucalipto do clone A em cada período de avaliação, em função das classes de coloração das folhas das mudas (avermelhadas = AVE; amareladas = AMA; esverdeadas = ESV; mista = MIS)



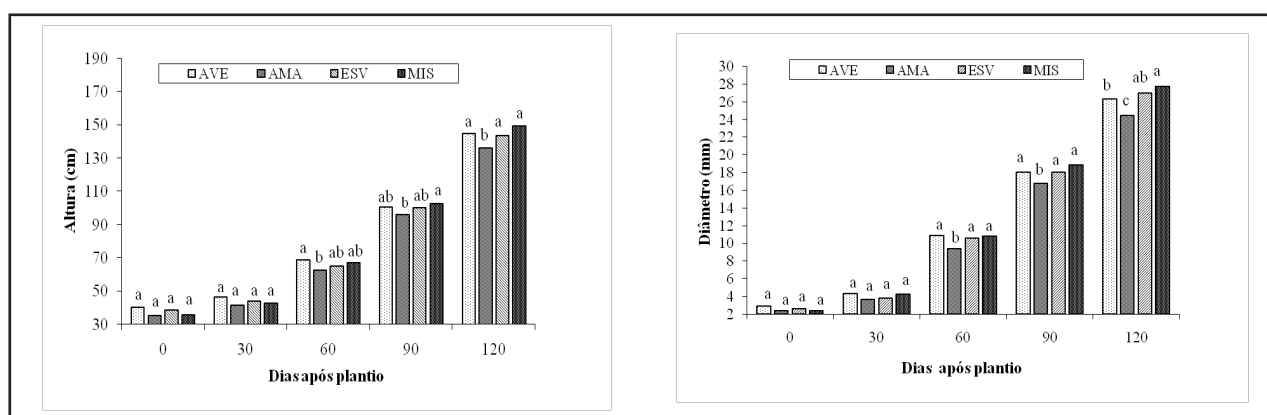
Fonte: Autores (2020)

O crescimento em altura no campo do clone B variou significativamente a partir dos 60 dias de plantio, indicando, em relação ao clone A, maior sensibilidade quanto às alterações nos teores de clorofila na fase inicial de desenvolvimento. Entretanto, aos 120 dias, verificou-se diferença somente em relação à classe Amarelada, cujo crescimento foi menor que o das demais classes. O crescimento em diâmetro seguiu a mesma tendência do crescimento em altura, ou seja, as plantas da classe Amarelada tiveram desenvolvimento inferior quando comparadas às demais classes (Figura 4), a partir de 60 dias.

Com base na análise do desenvolvimento inicial dos clones A e B, mesmo estes apresentando diferentes níveis de sensibilidade, pode-se observar que a coloração mais avermelhada não foi um indicativo de mudas mais rustificadas, ao contrário,

a classe de mudas com maior índice de clorofila (Esverdeada) apresentou o melhor desenvolvimento em campo.

Figura 4 – Crescimento da parte aérea e diâmetro da base do caule das plantas de eucalipto do clone B em cada período de avaliação, em função das classes de coloração das folhas das mudas (avermelhadas = AVE; amareladas = AMA; esverdeadas = ESV; mista = MIS)



Fonte: Autores (2020)

4 CONCLUSÕES

A rusticidade das mudas pode ser relacionada com a coloração foliar das mudas e com o Índice de Clorofila Foliar, o que possibilita a implementação desse tipo de avaliação na linha de produção, no momento da expedição, em função da praticidade do método de determinação do Índice de Clorofila.

Indicadores de rusticidade como o teor de nitrogênio foliar e teor total de proteínas podem ser recomendados, operacionalmente, para assegurar a uniformidade do crescimento vegetativo das mudas no campo.

Não é indicado selecionar as mudas para expedição para o campo tendo como base a tonalidade da copa avermelhada, pois isso não garante uma maior rusticidade. Por isso, é melhor utilizar mudas com tonalidade das folhas mais esverdeadas, que possuem maiores teores de clorofila.

AGRADECIMENTOS

À empresa Fibria Celulose S.A., pelo apoio financeiro e tecnológico para a realização dessa pesquisa e à bolsa de estudos concedida.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA PESQUISA DA POTASSA E DO FOSFATO. **Manual internacional de fertilidade do solo**. 2. ed. Piracicaba, 1998. 177 p.

BOLHÀR-NORDENKAMPF, H. R. *et al.* Chlorophyll fluorescence as a probe of the photosynthetic competence of leaves in the field: a review of current instrumentation. **Functional Ecology**, [s. l.], v. 3, p. 497, 1989.

CLIMATE-DATA.ORG. **Aracruz clima (Brasil)**. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/espírito-santo/aracruz-27788/#:~:text=O%20clima%20%C3%A9%20classificado%20como,m%C3%A9dia%20anual%20%C3%A9%201157%20mm>. Acesso em: 10 jan. 2020.

ELOY, E. *et al.* Avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis* utilizando parâmetros morfológicos. **Floresta**, Curitiba, v. 43, n. 3, p. 373-384, 2013.

FERNANDES, E. T.; CAIRO, P. A. R.; NOVAES, A. B. Respostas fisiológicas de clones de eucalipto cultivados em casa de vegetação sob deficiência hídrica. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 1, p. 29-34, 2015.

FERREIRA, C. A. G.; DAVIDE, A. C.; CARVALHO, R. R. Relações hídricas em mudas de *Eucalyptus citriodora* Hook, em tubetes, aclimatadas por tratamentos hídricos. **Cerne**, Lavras, v. 5, n. 2, p. 95-104, 1999.

FIGUEIREDO, F. A. *et al.* Idade de mudas clonais de eucalipto: efeito sobre trocas gasosas, potencial hídrico e emissão de fluorescência. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FISILOGIA VEGETAL, 12., 2009, Fortaleza. **Resumos** [...]. Fortaleza: [s. n.], 2009. p. 131.

FIGUEIREDO, F. A. M. M. A. *et al.* Condutividade hidráulica de raiz e capacidade fotossintética de mudas clonais de eucalipto com indução de deformações radiculares. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 2, p. 277-287, 2014.

FURLANI JÚNIOR, E. *et al.* Correlações entre leituras de clorofila e doses de nitrogênio aplicados em feijoeiro. **Bragantia**, Campinas, v. 55, p. 171-175, 1996.

GOMES, J. M. *et al.* Parâmetros Morfológicos na Avaliação da Qualidade de Mudas de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 26, n. 6, p. 655-664, 2002.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório Anual**. São Paulo, 2019. 79 p.

KOSLOWSKI, T. T.; PALLARDY, S. G. **Physiology of woody plants**. 2th ed. San Diego: [s. n.], 1996. 411 p.

KUTIK, J. *et al.* Chloroplast ultra structure of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) cultivated in normal and elevated CO₂ concentrations with two contrasted nitrogen supplies. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 53, n. 370, p. 773-787, 1995.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima, 2004. 531 p.

LAWLOR, D. W. Carbon and nitrogen assimilation in relation to yield: mechanisms are the key to understanding production systems. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 53, n. 370, p. 773-787, 2002.

LAZA, R. C.; BERGMAN, B.; VERGARA, B. S. Cultivar differences in growth and chloroplast ultrastructure in rice as affect by nitrogen. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 44, p. 1643-1648, 1993.

LIMA, R. P. *et al.* Estímulos químico e mecânico na rustificação de mudas de eucalipto. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 65, n. 5, p. 424-432, 2018.

LIMA, R. P. *et al.* Lignina e flexibilidade caulinar em mudas de eucalipto submetidas a rustificação. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 30, n. 2, p. 352-366, 2020.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.

MARTINS, S. G. *et al.* Perdas de solo e água por erosão hídrica em sistemas florestais na região de Aracruz- ES. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 3, p. 395-403, 2003.

MCNABB, K. L. **The relationship of carbohydrate reserves to the quality of bare-root *Pinnus elliottii* var. *elliottii* (Engelm.) seedlings produced in a northern Florida nursey**. 1985. Tese (Doutorado) - Florida University, Florida, 1985.

MENZIES, M. I. Seedling quality and seedling specifications of radiata pine. **Forestry Abstracts**, Oxford, v. 53, p. 1196, 1992.

NUNES, M. A.; RAMALHO, J. C.; DIAS, M. A. Effect of nitrogen supply on the photosynthetic performance of leaves from coffee plants exposed to bright light. **Journal Experimental Botany**, Oxford, v. 262, p. 893-899, 1993.

OLIVEIRA JÚNIOR, O. A. *et al.* Características morfofisiológicas associadas à qualidade de mudas de *Eucalyptus urophylla* produzidas em diferentes substratos. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 35, n. 6, p. 1173-1180, 2011.

PENCHEL, R. M. *et al.* **Recomendação técnico-operacional do padrão de qualidade de mudas clonais de eucalipto**: instrução normativa da Aracruz Celulose, Documento CPT-P2005-05-2007, 7 de dezembro de 2007. Aracruz, ES: Sistema de Gestão On-Line, 2007. 8 p.

PEREIRA, M. R. R. *et al.* Comportamento fisiológico e morfológico de clones de *Eucalyptus urograndis* submetidos a diferentes níveis de água no solo. **Irriga**, Botucatu, v. 11, p. 518-531, 2006.

REIS, A. R. *et al.* Diagnóstico da exigência do cafeeiro em nitrogênio através da avaliação pelo medidor portátil de clorofila. **Bragantia**, Campinas, v. 65, p. 163-171, 2006.

SANTOS, T. S. *et al.* Utilização do clorofilômetro como ferramenta auxiliar na fertirrigação nitrogenada no cafeeiro (*Coffea arabica* L. cv. Catuaí). In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNESP, 15., 2003, Marília. **Resumos** [...]. São Paulo: UNESP, 2003. 1 CD-ROM.

SILVA, A. G. *et al.* Qualidade de mudas de essências florestais. In: CHICHORRO, J. F. *et al.* (org.). **Tópicos em Ciências Florestais**. 1. ed. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2010. v. 544, p. 83-105.

SILVA, M. R. **Efeitos do manejo hídrico e da aplicação de potássio na qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis* W. (Hill ex. Maiden)**. 2003. Tese (Doutorado em Agronomia - Irrigação e Drenagem) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2003.

SILVEIRA, R. L. V. A. *et al.* Seja o doutor do seu eucalipto. **Arquivo do Agrônomo**, Piracicaba, v. 12, p. 1-32, 2001.

STAPE, J. L.; GONÇALVES, J. L. M.; GONÇALVES, A. N. Relationships between nursery practices and field performance for Eucalyptus plantations in Brazil. **New Forests**, Netherlands, n. 22, p. 19-41, 2001.

TAIZ, L. *et al.* **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 954 p.

VERHOEVEN, A. S.; DEMMING-ADAMS, W. W. III. Enhanced employment of the xanthophylls cycle and thermal energy dissipation in spinach exposed to high light and N stress. **Plant Physiology**, Oxford, 113, p. 817-824, 1997.

ZANANDREA, I. *et al.* Efeito da salinidade sob parâmetros de fluorescência em *Phaseolus vulgaris*. **Revista Brasileira de Agrociência**, [s. l.], v. 12, p. 157-161, 2006.

Contribuição de Autoria

1 – Aderbal Gomes da Silva

Engenheiro Florestal, Dr., Professor

<https://orcid.org/0000-0002-9915-9550> • aderbalsilva@ufsj.edu.br

Contribuição: Conceituação, Curadoria de dados, Obtenção de financiamento, Metodologia, Administração do projeto, Escrita – primeira redação, Escrita – revisão e edição

2 – Flavia Pandolfi

Engenheira Florestal, Ma.

<https://orcid.org/0000-0003-3160-2912> • pandolfiflor@yahoo.com.br

Contribuição: Conceituação, Curadoria de dados, Investigação, Visualização, Escrita – primeira redação

3 – Ricardo Miguel Penchel Filho

Engenheiro Agrônomo, Dr., Pesquisador Sênior

<https://orcid.org/0000-0002-0960-9440> • ricardop@suzano.com.br

Contribuição: Conceituação, Obtenção de financiamento, Investigação, Metodologia, Supervisão, Escrita – primeira redação

4 – Edvaldo Fialho dos Reis

Engenheiro Agrícola, Dr., Professor

<https://orcid.org/0000-0003-3823-1472> • edreis@cca.ufes.br

Contribuição: Conceituação, Curadoria de dados, Análise Formal

5 – Elzimar de Oliveira Gonçalves

Engenheira Florestal, Dra., Professora

<https://orcid.org/0000-0001-7675-2493> • elzimarog@yahoo.com.br

Contribuição: Conceituação, Curadoria de dados, Escrita – primeira redação

Como citar este artigo

Silva, A. G.; Pandolfi, F.; Penchel Filho, R. M.; Reis, E. F.; Gonçalves, E. O. Relação entre características fisiológicas, bioquímicas e de coloração das folhas no crescimento inicial de clones de *Eucalyptus* sp. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 31, n. 2, p. 569-589, 2021. DOI 10.5902/1980509815840. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509815840>. Acesso em: xx mês-abreviado 2021.