

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS PARA A SUSTENTABILIDADE  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PLANEJAMENTO E USO DE RECURSOS  
RENOVÁVEIS

Camila Macedo Teixeira

**REDUÇÃO DO VOLUME DE IRRIGAÇÃO DE PLANTIO DE EUCALIPTO PARA  
GANHOS OPERACIONAIS, SOCIAIS E AMBIENTAIS**

Sorocaba

2022

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS PARA A SUSTENTABILIDADE  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PLANEJAMENTO E USO DE RECURSOS  
RENOVÁVEIS

Camila Macedo Teixeira

**REDUÇÃO DO VOLUME DE IRRIGAÇÃO DE PLANTIO DE EUCALIPTO PARA  
GANHOS OPERACIONAIS, SOCIAIS E AMBIENTAIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis para obtenção do título de Mestre em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis.

Orientação: Prof. Dr. José Mauro Santana da Silva

Financiamento: Suzano S.A.

Sorocaba

2022

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à toda minha família, em especial à minha mãe guerreira Amélia Macedo, que sempre incentivou o meu crescimento e nunca deixou de acreditar no meu potencial;

Ao meu marido Tiago Sartori, que com toda a paciência do mundo sempre apoiou o meu protagonismo como mulher, profissional e pessoa e nunca deixou de me suportar nas decisões mais difíceis;

Às minhas filhas caninas e felinas Millie, Shiva, Kali, Jade e Preta que lamberam muitas lágrimas e roubaram muitos sorrisos meus nesta minha trajetória profissional e pessoal;

A todo o meu time da Suzano, desde pessoas que conheci durante o meu estágio, durante a minha estadia no Maranhão, em São Paulo e agora no Mato Grosso do Sul que sempre me deram todo o suporte e acreditaram no meu trabalho;

Aos meus amigos e amigas que, mesmo distantes, nunca deixaram de me encorajar a aceitar novos desafios ao longo da minha vida;

Ao meu orientador José Mauro, que me incentivou desde a graduação e sempre me apoiou nas decisões acadêmicas e profissionais, proporcionando todo suporte necessário para que as minhas conquistas dessem certo;

A todas as pessoas que, de alguma maneira interferiram de forma positiva na minha vida até aqui.

*“Mãe natureza, tuas raízes são as cicatrizes do nascimento da tua fauna e tua  
flora.*

*Tuas estrelas e constelações gritam toda a tua luz pelo vácuo.*

*E, diante dos teus milagres, cabe a mim, gratidão por ter chegado até aqui.”*

**Camila Macedo Teixeira**



**CAMILA MACEDO TEIXEIRA**

REDUÇÃO DO VOLUME DE IRRIGAÇÃO DE PLANTIO DE EUCALIPTO PARA  
GANHOS OPERACIONAIS, SOCIAIS E AMBIENTAIS

Dissertação/Tese apresentada ao  
Programa de Pós-Graduação em  
Planejamento e Uso de Recursos  
Renováveis para obtenção do título de  
Mestre em Planejamento e Uso de  
Recursos Renováveis.

Orientador

---

Dr. José Mauro Santana da Silva

Universidade Federal de São Carlos

Examinadora

---

Dra Lausanne Soraya de Almeida

Universidade Federal de Viçosa

Examinador

---

Dr. Danilo Ribeiro da Costa

Universidade Federal de São Carlos

## RESUMO

TEIXEIRA, Camila. Redução do volume de irrigação de plantio de eucalipto para ganhos operacionais, sociais e ambientais. 2022. Dissertação/Tese de Mestrado em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis, Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2022.

O mercado florestal tem se expandido globalmente e cada vez mais nos últimos anos. Com este crescimento, surgiram também os desafios de aumento de produtividade e competitividade entre as empresas para formação florestal com base nos conceitos ESG (Environmental, Social and Governance – meio ambiente, social e governança) de base sustentável. Diante deste cenário, este estudo teve como objetivo avaliar o potencial de redução no volume de água de irrigação das atividades de silvicultura de eucalipto. O estudo analisou as operações de plantio irrigado e plantio convencional (plantio desvinculado da irrigação) e foi dividido em cinco principais tratamentos: T0 (sem irrigação), T1 (uma irrigação de 250 ml/planta), T2 (uma irrigação de 4 l/planta), T3 (duas irrigações, sendo a primeira de 250 ml/planta) e T4 (duas irrigações de 4 l/planta). Os experimentos foram conduzidos no Estado de São Paulo no período de maio a dezembro, e os clones utilizados para o plantio não apresentam nenhum tipo de resistência à déficit hídrico. Os resultados foram obtidos por meio da taxa de mortalidade dos diferentes tratamentos não sendo verificada diferença significativa entre T3 e T4 no período de maio a junho, enquanto houve diferença significativa entre T3 e T4 de julho até agosto, ou seja, existe potencial de redução do volume de água durante o plantio para 250 ml/planta na primeira irrigação para períodos mais úmidos do ano. Com isso, foi verificada oportunidades de redução de volume de água de irrigação, com ganhos significativos no uso de recursos renováveis e convergentes às diretrizes ESG.

Palavras-chave: ESG, silvicultura, volume de água

## **ABSTRACT**

Reduction of irrigation volume for eucalyptus plantations for operational, social and environmental gains

The forestry Market has expanded throughout the world significantly in recent years. Because of this growth, the challenges of increasing productivity and competitiveness among companies for forestry training based on sustainable ESG (Environmental, Social and Governance) concepts growth as well. Therefore, this Project aims to assess the potential for reducing the volume of irrigation water from Eucalyptus forestry activities. The Project analyzed the operations of irrigated planting and conventional planting (planting and irrigation independent) and was divided into five main treatments: T0 (no irrigation), T1 (an irrigation of 250 ml/plant), T2 (an irrigation of 4 l/ plant), T3 (two irrigations, the first being 250 ml/plant) and T4 (two irrigations of 4 l/plant). The experiments were executed in São Paulo state between may to december and genetical material does not present any resistance to water deficit. The initial results measured the mortality rate of the different treatments and presented no significant results between T3 and T4 from may to june and significant results between T3 and T4 from july to august. There is a potential to reduce the volume of water during planting to 250 ml/plant in the first irrigation during humid period of the year. As a result, opportunities to reduce the volume of irrigation water were identified, with significant gains in the use of renewable resources and in line with ESG guidelines.

Keywords: ESG, forestry, water volumn

## SUMÁRIO

|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| 1 INTRODUÇÃO                         | 10 |
| 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA              | 12 |
| 2.1 A CULTURA DO EUCALIPTO           | 12 |
| 2.2 MANEJO DO EUCALIPTO              | 13 |
| 2.3 GEL DE PLANTIO E SUAS APLICAÇÕES | 14 |
| 3 MATERIAL E MÉTODOS                 | 16 |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO             | 19 |
| 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS               | 29 |
| 6 CONCLUSÃO                          | 30 |
| REFERÊNCIAS                          | 30 |
| ANEXOS                               | 34 |

## 1 INTRODUÇÃO

O mundo tem mostrado grande expansão em área de floresta plantada na última década, que já aumentou cerca de 31,9 milhões de hectares, principalmente em continentes como a Ásia e América do Sul. Ao todo, são 4,06 bilhões de hectares de florestas plantadas (desde áreas produtivas e áreas de preservação/recuperação), distribuídos em todos os continentes (BRAINER, 2021).

Embora tenha sido observada queda no consumo de produtos florestais entre 2018 e 2019, movida principalmente pela crise em setores como construção civil, movelaria e papel e celulose, atualmente com o aumento da qualidade de vida e fortalecimento do conceito ESG (Ambiental, Social e Governança, do inglês Environmental, Social and Governance), a busca por produtos renováveis, embalagens alternativas e higiene pessoal impulsionaram o mercado florestal (BRAINER, 2021).

O conceito ESG tem como base a responsabilidade ambiental, social e de governança como garantias de um investimento sustentável, servindo como embasamento para decisões por parte de investidores e corporações diante de um determinado negócio. Tais decisões levam em consideração impactos relevantes no crescimento e desenvolvimento de capital de uma empresa a partir dos retornos capturados com ações ambientais, sociais e de governança de riscos (MATOS, 2020).

Todo este movimento de mercado e novas diretrizes de produtividade sustentável tem exigido das empresas cada vez mais produtividade e agilidade nos cultivos florestais e alternativas de produção mais tecnológicas, mecanizáveis, ambientais e sustentáveis que apresentem convergência com o conceito ESG, o que abre espaço para expansão principalmente das espécies de rápido crescimento, como é o caso do eucalipto e pinus. Considerando as principais espécies de rápido crescimento, o Brasil possui atualmente mais de 9,93 milhões de hectares de floresta plantada. Com isso, a abrangência nos processos florestais são destaque, sendo a silvicultura um dos processos mais complexos dentro da cadeia florestal produtiva (IBÁ, 2022).

A silvicultura apresenta alto dinamismo e complexidade operacional, uma vez que envolve diferentes processos dentro da produção florestal em todo o

ciclo de desenvolvimento da floresta, desde o plantio até o pré-corte, levando em média 5 a 7 anos para completar o ciclo, se tratando de eucalipto. Dentre estes processos a base inicial de formação de florestas tem como foco os processos de plantio e irrigação. Estas atividades ainda hoje são muito dependentes de mão-de-obra rural, com predominância de execução manual, vinculados principalmente à falta de tecnologia, condições de solo e relevo.

A execução do plantio e irrigação ocorre de forma simultânea para garantir a qualidade e estabelecimento das mudas de eucalipto em campo, uma vez que a espécie se desenvolve bem em condições quentes e úmidas. Ao se comparar com outras culturas, a exigência por irrigação do eucalipto é baixa, uma vez que o processo de irrigação ocorre apenas nos primeiros dias de plantio, não havendo outras irrigações ao longo do ciclo da cultura.

Porém, no intervalo de 10 a 20 dias pós-plantio, pode haver a necessidade de uma ou mais irrigações, dependendo das condições de plantio e climáticas. Por este motivo, é de extrema importância garantir exatidão e qualidade em ambas as operações para reduzir o número de intervenções e, conseqüentemente, o consumo de água (MINETTE et.al., 2010; DOHLER et.al., 2014).

O processo de irrigação da silvicultura comercial normalmente é feito a partir do uso de hidrogel, material com propriedades físico-químicas que permitem que a disponibilidade de água no solo seja estendida, potencializando o seu aproveitamento e, conseqüentemente, reduzindo o número de intervenções e o custo com esta atividade (LOPES et.al., 2010).

Diante do cenário atual que sofre com mudanças climáticas, desigualdade social e impactos ambientais significativos, a sinergia entre alta produtividade, alternativas de mecanização para menor exposição de mão-de-obra, economia e meio ambiente deve ser levada em conta neste tipo de investimento. A busca pela alta produtividade acompanha os desafios econômicos que o setor apresenta e a silvicultura abre oportunidades referentes ao manejo e otimização de recursos renováveis.

É sabido que, desde os primórdios da indústria, as ações corporativas tiveram como foco principal ações legislativas, trabalhistas, jurídicas, tributárias, administrativas, criminais e econômicas, fazendo com que ações ambientais ficassem em segundo plano (SION, 2021). Diante do exposto, o estudo visou

analisar de forma comparativa o uso de diferentes volumes de irrigação em plantio de eucalipto, de forma a determinar seus principais ganhos, gargalos, pontos de melhorias, desafios de operacionalização e potenciais de redução no consumo de água.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 A CULTURA DO EUCALIPTO**

Ao final de 2021, o Brasil encerrou o ano com 9,93 milhões de hectares de florestas plantadas, sendo grande parte representada pelo eucalipto (75,8%) em detrimento de outras espécies, como pinus (19,4%) (IBÁ, 2022). Sua distribuição ao longo do país está mais concentrada na região Sudeste (54,2%), Nordeste (16,4%), Centro-Oeste (12,2%), Sul (11,8%) e Norte (5,5%), embora já seja de conhecimento de mercado, as expansões previstas e em andamento de indústrias de celulose e, conseqüentemente, aumento da base florestal na região Centro-Oeste (ABRAF, 2013 ;BARATELLI et.al., 2021).

A expansão acelerada do cultivo de eucalipto se dá pela sua versatilidade de uso e rápido crescimento, o que viabiliza sua utilização para celulose, madeira serrada, energia, por exemplo (AMORIM et.al., 2021). Estas características do eucalipto já se destacam desde a sua introdução no país, em 1904, pelo pesquisador Edmundo Navarro de Andrade que, diante da necessidade de madeira para o transporte ferroviário de café no Brasil na época, estudou diversas espécies de árvores pelo mundo para tal finalidade e, por fim, definiu o eucalipto como melhor espécie para o uso como dormentes e energia (AMORIM et.al., 2021).

Seu rápido crescimento também reflete diretamente em maior absorção de carbono da atmosfera através da fotossíntese, uma vez que seu ciclo médio de crescimento fica em torno de 7 anos, sendo bem mais curto do que grande parte das espécies nativas (NATIONAL CONFEDERATION OF INDUSTRY, 2012; DI VITA et.al, 2017). Concomitante ao seu metabolismo satisfatório para o sequestro de carbono, o eucalipto também é um grande aliado no combate ao esgotamento de recursos florestais nativos, uma vez que seu uso madeireiro tem mitigado a busca por madeira ilegal, já que sua qualidade e quantidade no mercado tem apresentado

alta viabilidade econômica sendo uma cultura atrativa para fornecedores e empresas (REIS et.al., 2021).

## **2.2 MANEJO DO EUCALIPTO**

A partir de todas as suas características morfológicas de rápido crescimento e produção de madeira, o eucalipto é a cultura florestal mais representativa atualmente no Brasil quando se trata de floresta plantada. Em comparação com culturas agrícolas, suas exigências trato-culturais são bem mais brandas e sua dependência de água também é baixa, sendo uma espécie tolerante a períodos críticos de disponibilidade hídrica (COSTA et.al, 2019).

Todavia, seu crescimento e desenvolvimento rápido é diretamente dependente da disponibilidade de água, já que a formação de meristema e expansão celular depende da água para se multiplicar. Ademais, o estresse hídrico prolongado reduz diretamente a área foliar do eucalipto, reduzindo diretamente sua fotossíntese e metabolismo, o que conseqüentemente reduz o incremento de madeira da árvore (FREITAS et.al., 2015).

Todavia, o consumo de água do eucalipto sempre foi um tema de grande preocupação para o meio ambiental, uma vez que existem mitos sobre sua capacidade de secar o solo e impactar recursos hídricos. Existem algumas espécies específicas da Austrália que apresentam maior consumo de água devido a sua abertura de estômatos ser constantes, porém as culturas utilizadas de forma comercial apresentam grande resistência e crescimento em áreas com déficit hídrico, ou seja, seu consumo de água é eficiente e mais restrito que muitas culturas agrícolas. Ou seja, o eucalipto, se manejado de forma correta, é uma cultura sem impactos no consumo de água (COSTA et.al., 2019).

Por este motivo, faz-se necessário o manejo de irrigação desde o viveiro na produção de mudas até o momento do plantio do eucalipto em campo, podendo ser feito a partir de aspersores (mais comumente utilizados no viveiro) e irrigação operacional com tanque pipa, de forma manual (PEREIRA et.al., 2019).

O formato de irrigação operacional é também denominado sistema semimecanizado, que consiste em uma carreta com tanque de água tracionada por um trator agrícola. Neste tanque, são acopladas mangueiras ligadas às

matracas de plantio, no caso do plantio irrigado e/ou matracas de irrigação no caso da atividade convencional (plantio desvinculado à atividade de irrigação). Esta operação normalmente é realizada por cinco até sete colaboradores, de acordo com a estrutura de mangueiras disposta no tanque (SEREGHETTI, 2016).

Em regiões como o estado de São Paulo, aplicam-se em média duas irrigações semimecanizadas para garantia da sobrevivência do plantio de eucalipto. Conforme já verificado por Bernardino et al. (2019), a taxa de sobrevivência das mudas de eucalipto é diretamente proporcional à disponibilidade de água em seus primeiros meses de vida, atingindo mais de 85% de sobrevivência quando comparado com mudas de eucalipto que não foram expostas à quantidade de água adequada (por volta de 65% de sobrevivência apenas).

Além da sobrevivência, a altura e incremento do caule também são fatores com correlação positiva com a disponibilidade de água para as mudas de eucalipto, o que viabiliza altura de muda ideal para o manejo e produção florestal (entre 15 a 30 cm de altura) e diâmetro do caule rustificado para maior resistência em campo (BERNARDINO et.al., 2019).

Porém, é importante reforçar que a irrigação tem maior influência significativa no início do ciclo do eucalipto, ainda nos primeiros meses de idade da muda, uma vez que seu metabolismo é mais acelerado. Após o estabelecimento e rustificação do plantio, irrigações realizadas em florestas acima de um ano não apresentam resultados significativos no incremento de madeira (SANTOS et.al., 2020). Ademais, a atividade de irrigação é uma das atividades mais caras dentre os processos silviculturais necessários para a produção de eucalipto, sendo uma das operações onde mais se busca formas de otimização para ganhos em custos de produção florestal.

### **2.3 GEL DE PLANTIO E SUAS APLICAÇÕES**

É clara a importância da irrigação das mudas de espécies florestais durante o plantio, principalmente em seus primeiros dias, já que nesta fase as mudas ainda possuem sistema radicular pouco desenvolvido e alto metabolismo, influenciando diretamente em seu desenvolvimento e

sobrevivência. Além disso, também é uma das operações de maior custo de implantação florestal de eucalipto, deixando os plantios comerciais mais caros em períodos de seca, quando a necessidade de irrigação é maior (BUZETTO et.al., 2002).

Diante deste cenário, empresas tem buscado alternativas para viabilizar economicamente o plantio do eucalipto em períodos mais secos do ano e os polímeros de hidrogel tem sido uma das alternativas exploradas para aumentar a sobrevivência da cultura nestas épocas (NEVES et.al., 2022). Este tipo de polímero auxilia na viabilidade do plantio ao longo de todo o ano, a partir de suas propriedades químicas que aumentam a retenção de água e sua liberação gradativa para a planta, fazendo com que a produção de floresta plantada de eucalipto seja menos dependente das variações climáticas observadas mês a mês (FELIPPE et.al., 2020; DE CARVALHO et.al., 2022).

O uso do hidrogel propicia plantio em períodos mais secos e ajuda nos intervalos entre as irrigações, uma vez que o eucalipto pode exigir mais de uma irrigação durante o seu processo de implantação. Em situações sem o hidrogel, a necessidade de uma segunda irrigação pode ser visível a partir de sintomas de déficit hídrico (mudas secas e murcha das folhas) das mudas de eucalipto entre 24h até 4 dias, enquanto o hidrogel aumenta esse potencial para até 10 dias entre a primeira e segunda irrigação (SANCHES et.al., 2013; LOPES et.al., 2010). Porém, vale ressaltar que o custo do hidrogel é significativo, e sua viabilidade vai de acordo a disponibilidade financeira das empresas em utilizá-lo e da sua eficiência em reduzir intervenções de irrigação para se tornar viável.

Estes ganhos entre o intervalo de uma irrigação à outra tem o potencial de evitar uma possível segunda intervenção, já que o hidrogel tem boa durabilidade em campo e, caso seja exposto à umidade e chuvas, pode expandir novamente (propriedade de reidratação), prolongando o seu efeito de liberação e disponibilidade lenta de água para a planta (SATISHCHANDRA et.al., 2012; VICENTE et al., 2015).

Como complemento, o uso do hidrogel também precisa estar vinculado à sua dosagem no momento da irrigação, condições climáticas da região e tipos de solo, para sua melhor diluição na água e aproveitamento na planta, para que não haja queima das mudas de eucalipto por alta exposição ao polímero (MONTEIRO et.al., 2016). A dosagem de gel também pode variar para outras espécies florestais, porém a média para o eucalipto é entre 2 kg e 4 kg/ha (SHOOSHTARIAN et.al., 2012).

Com isso, a partir de um manejo adequado, com qualidade e tecnologias utilizadas ao seu favor, o cultivo de eucalipto vem se desenvolvendo como uma importante potência econômica para o Brasil e mundo.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo comparou diferentes volumes de água na irrigação de plantio por planta, a partir do uso do plantio irrigado (plantio e irrigação na mesma operação) e plantio convencional (plantio e irrigação em operações diferentes).

Nestes dois métodos de plantio, aplicou-se 250 ml de volume de irrigação e 4 l por planta, para comparar a possível eficácia no volume de irrigação. Todo o processo de irrigação fez uso de hidrogel, conforme recomendação para plantio comercial (Figura 1 e 2).

Figura 1 – Tipos de plantio e irrigação.



Fonte: Acervo particular de TEIXEIRA (2022)

Legenda: plantio irrigado com bomba costal (foco replantio) e plantio irrigado com tanque de irrigação.

Figura 2 – Produto de hidrogel utilizado no experimento.



Fonte: Acervo particular de TEIXEIRA (2022)

Legenda: hidrogel utilizado para as irrigações, com dose de 1g/L.

O hidrogel utilizado foi o Polim-Agri PP, próprio para plantio de culturas florestais e agrícolas. Sua recomendação para eucalipto é de 1 a 2,5 g por litro de água, formando uma textura gelatinosa na forma de pequenos grãos.. Sua composição básica é de um polímero constituído de monômeros de carbono ligados por pontes de hidrogênio, dando a capacidade de absorção de água pelas reações eletrolíticas do composto (ROCHA, 2019).

O projeto foi desenvolvido no estado de São Paulo, nas cidades de Itirapina, Itatinga e São José dos Campos, de abril até dezembro de 2022. O experimento foi dividido em cinco principais tratamentos (todos com o uso do hidrogel e em três fases de projeto:

Os tratamentos foram classificados em:

- T0 Testemunha - sem irrigação;
- T1 - uma irrigação e volume de 250 ml;
- T2 - duas irrigações e volume de 250 ml e convencional de 4 l;
- T3 - uma irrigação com volume convencional de 4 l) e
- T4 - duas irrigações convencionais de 4 l.

Foram avaliados a porcentagem de mortalidade de plantio e o rendimento operacional no intervalo de 30 dias pós-plantio e precipitação total no intervalo de 30 dias pós-plantio.

As fases se dividiram em:

Fase I: Validação de metodologia e análise de impacto de sobrevivência - 1º Teste: Nesta etapa, foi feita uma análise preliminar de risco para andamento do teste, com foco principal em possíveis impactos de sobrevivência com a redução do volume de irrigação com gel. Para menores prejuízos e impactos operacionais, a área analisada e dimensionamento do experimento foi de 0,5 ha, com tratamentos de 64 mudas. Não foram avaliados tratamentos com duas irrigações.

Fase II: Análise de rendimento - 2º Teste: realizada com foco principal em rendimento operacional, pós-validação da análise de risco, possibilitando que os testes ocorressem com uma amostragem de 2.880 mudas por tratamento em uma área total de 17,37 ha.

Fase III: Validação e fechamento do projeto - 3º Teste: A última etapa teve como objetivo principal validar o estudo e ampliar as repetições de rendimento operacional e mortalidade. Para esta fase, foram 155 ha de área total avaliados.

As mortalidades verificadas em todas as fases por motivos diferentes à irrigação foram desconsideradas para a mensuração dos resultados e conclusão do projeto (exemplo: formiga, colete aterrado, substrato exposto).

O rendimento operacional da atividade foi medido por meio de metodologia de tempos e movimentos, a partir da observação de cada etapa da operação e divisão entre tempo produtivo e não produtivo. As medições foram feitas por equipe com o uso de um cronômetro para medir o tempo de cada atividade executada, desde as paradas para refeição, abastecimento de água, manobras e o plantio e irrigação. A amostragem ocorreu ao longo de todo o plantio, até a sua finalização, variando de acordo com o tamanho da área plantada. Com isso, foi estimada a capacidade em ha/h para comparativos posteriores.

Os dados foram avaliados a partir da Análise de Variância (ANOVA) e as médias comparadas a partir do Teste Tukey à 5% de significância.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados encontrados ao longo da Fase I validaram a baixa taxa de mortalidade de plantas, possibilitando a continuidade dos testes das Fase II e Fase III. Para a primeira etapa do estudo, não foram encontradas diferenças significativas de mortalidade de mudas entre T1 e T3 ( $\alpha=0,05$ ), reforçando a viabilidade na redução do volume de irrigação (Tabela 2).

Tabela 2. Taxa de mortalidade analisada na Fase I

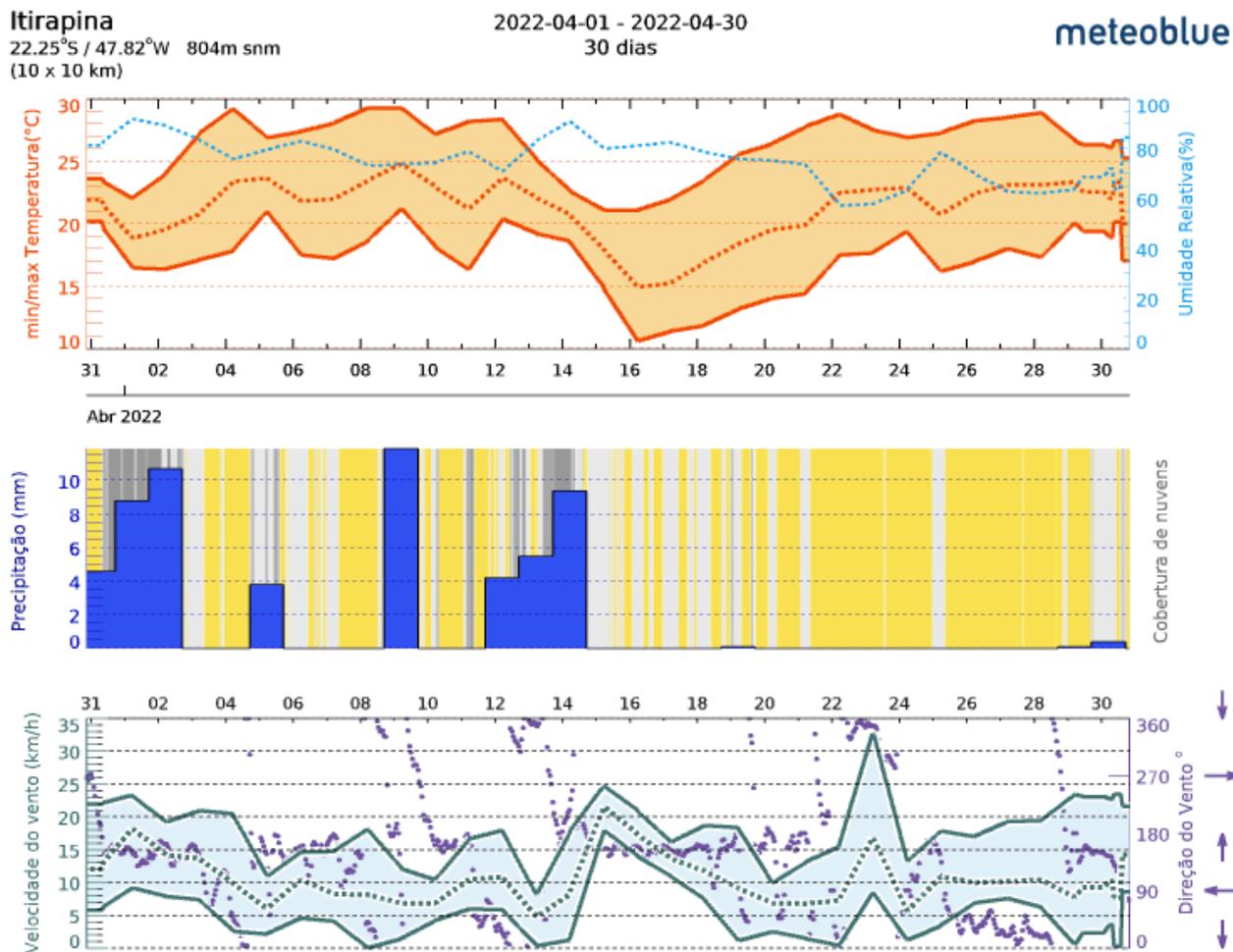
| Tratamento | Volume de água (l/planta) | Mudas mortas (und) | Taxa de mortalidade (%) |
|------------|---------------------------|--------------------|-------------------------|
| T0         | 0,00                      | 5                  | 7,81 <sup>a</sup>       |
| T1         | 0,25                      | 2                  | 1,02                    |
| T3         | 4,00                      | 0                  | 0,00                    |

Fonte: TEIXEIRA (2022)

Legenda: T0 – testemunha sem irrigação; T1 – uma irrigação de 250 ml; T3 – uma irrigação de 4 l  
Teste Tukey ao nível de significância de 5% para Fase I

Embora tenha sido verificada baixa precipitação no período de teste, as chuvas não atingiram a fazenda onde o estudo foi realizado. Os picos de temperatura atingiram entre 29°C e 30°C e a velocidade do vento com médias de 15 km/h (Figura 3).

Figura 3 – Precipitação e temperatura na região de estudo da Fase I.



Fonte: Meteoblue (2022)

Já na Fase II do projeto, foram introduzidos T2 e T4 com duas irrigações em escala operacional, sem diferença significativa entre os tratamentos ( $\alpha=0,05$ ) (Tabela 3).

Tabela 3 – Taxa de mortalidade analisada na Fase II

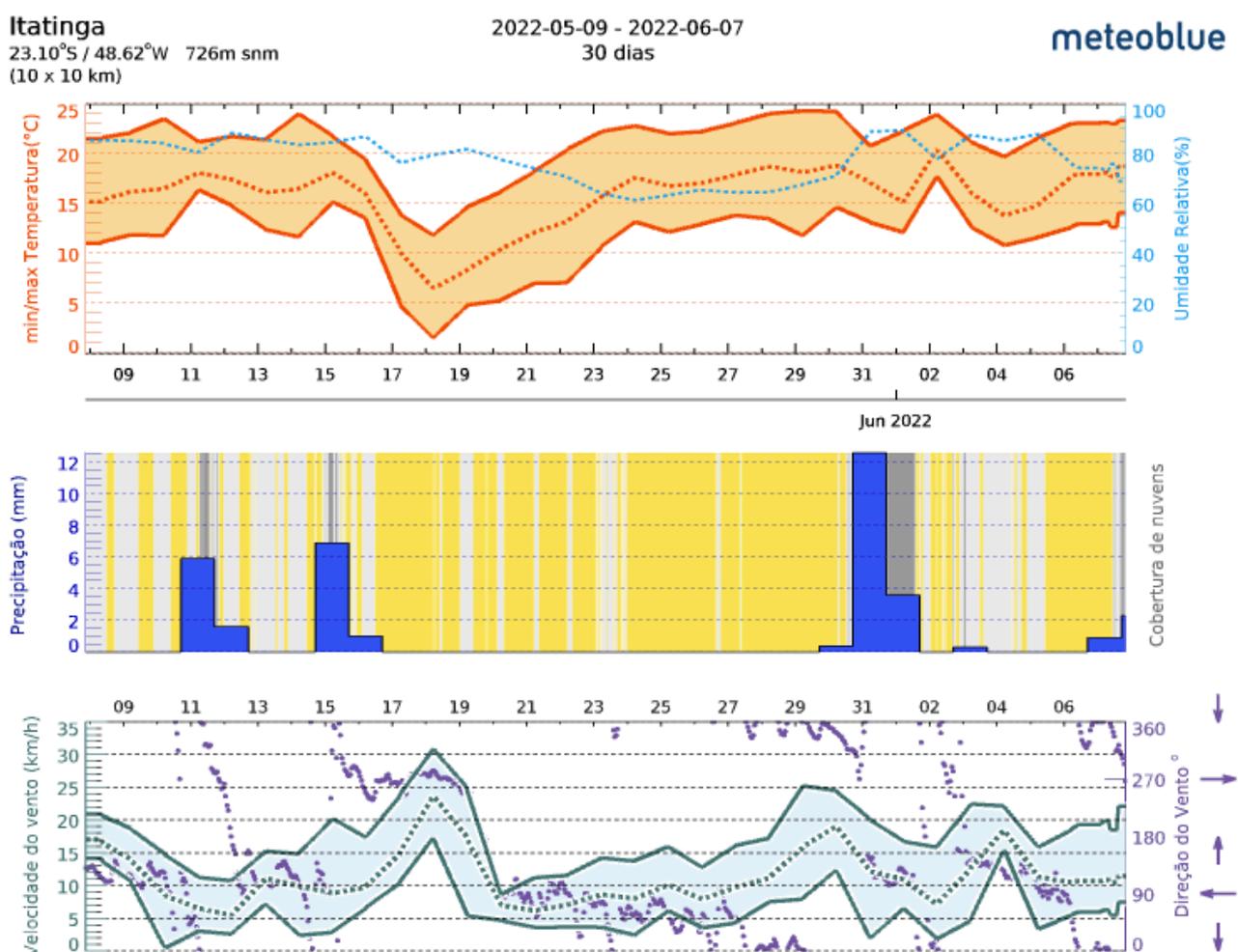
| Tratamento | Volume de água (l/planta) | Mudas mortas (und) | Taxa de mortalidade (%) |
|------------|---------------------------|--------------------|-------------------------|
| T0         | 0,00                      | 239                | 8,29 <sup>a</sup>       |
| T1         | 0,25                      | 19                 | 0,65                    |
| T2         | 0,25 + 4,00               | 6                  | 0,20                    |
| T3         | 4,00                      | 4                  | 0,14                    |
| T4         | 4,00 + 4,00               | 37                 | 1,28                    |

Fonte: TEIXEIRA (2022)

Legenda: T0 – testemunha sem irrigação; T1 – uma irrigação de 250 ml; T2 – duas irrigações (1 250 ml + 4 l); T3 – uma irrigação de 4 l; T4 – duas irrigações de 4 l  
Teste Tukey ao nível de significância de 5% para Fase II

Para a Fase II do projeto, houve interferência de precipitação de 46,2 mm acumulados entre o dia 30/05/2022 e 01/06/2022, após 6 dias de plantio. Os picos de temperatura não passaram dos 25°C (Figura 4).

Figura 4 – Precipitação e temperatura na região de estudo da Fase II.



Fonte: Meteoblue (2022)

Na Fase III do projeto foram intensificadas as amostragens de medição para análise de mortalidade e rendimento, apresentando resultados diferentes aos verificados nas etapas anteriores. No caso da mortalidade, foi obtido perda média de 1,6% para o tratamento T1 em relação aos tratamentos T2, T3 e T4 ( $\alpha=0,05$ ) para o período do experimento, instalado em junho (Tabela 4).

Tabela 4 – Taxa de mortalidade analisada na Fase III de junho

| Tratamento | Volume de água (l/planta) | Mudas mortas (und) | Taxa de mortalidade (%) |
|------------|---------------------------|--------------------|-------------------------|
| T0         | 0,00                      | 3.964              | 50,1% <sup>a</sup>      |
| T1         | 0,25                      | 97                 | 1,23%                   |
| T2         | 0,25 + 4,00               | 160                | 2,02%                   |
| T3         | 4,00                      | 154                | 1,94%                   |
| T4         | 4,00 + 4,00               | 182                | 2,23%                   |

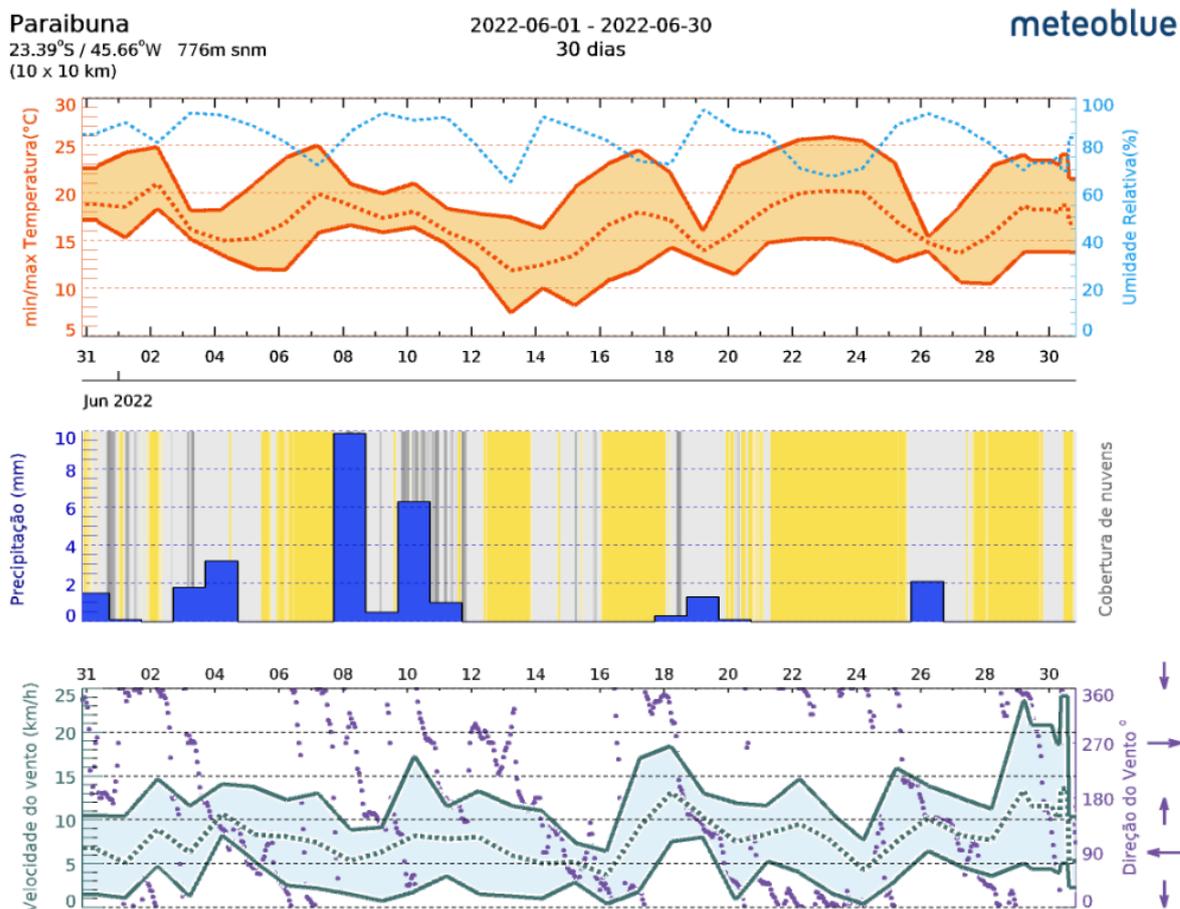
Fonte: TEIXEIRA (2022)

Legenda: T0 - testemunha sem irrigação; T1 - uma irrigação de 250 ml; T2 - duas irrigações (1 250 ml + 4 l); T3 - uma irrigação de 4 l; T4 - duas irrigações de 4 l

Teste Tukey ao nível de significância de 5% para Fase III de junho

Os picos de temperatura chegaram a 25°C durante o período, atingindo uma média de 23,6°C dentro do mês do experimento. Ademais, houve intervenção de 2,5 mm chuva entre os dias 18/06/2022 e 21/06/2022, após 6 dias de plantio (Figura 5).

Figura 5 – Precipitação e temperatura na região de estudo da Fase III



Fonte: Meteoblue (2022)

Foi realizada outra medição em agosto e, no caso da mortalidade, foi encontrada perda média de 20% para o tratamento T1 em relação aos tratamentos T2, T3 e T4. ( $\alpha=0,05$ ) (Tabela 5).

Tabela 5 – Análise da taxa de mortalidade da Fase III de agosto

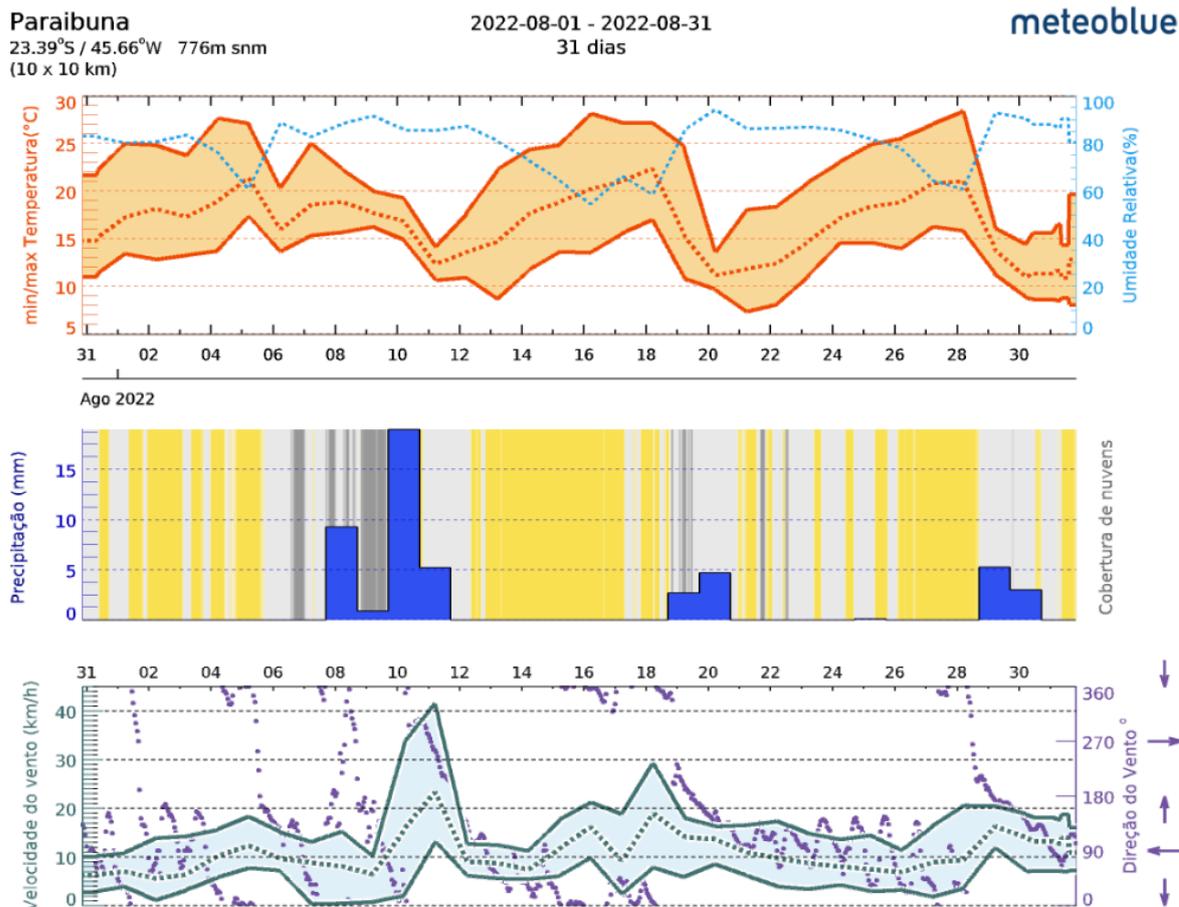
| Tratamento | Volume de água (l/planta) | Mudas mortas (und) | Taxa de mortalidade (%) |
|------------|---------------------------|--------------------|-------------------------|
| T0         | 0,00                      | 66.287             | 30,2% <sup>a</sup>      |
| T1         | 0,25                      | 47.631             | 21,7% <sup>a</sup>      |
| T2         | 0,25 + 4,00               | 8.011              | 3,65%                   |
| T3         | 4,00                      | 20.743             | 9,45% <sup>a</sup>      |
| T4         | 4,00 + 4,00               | 6.629              | 3,02%                   |

Fonte: TEIXEIRA (2022)

Legenda: T0 - testemunha sem irrigação; T1 - uma irrigação de 250 ml; T2 - duas irrigações (1 250 ml + 4 l); T3 - uma irrigação de 4 l; T4 - duas irrigações de 4 l  
Teste Tukey ao nível de significância de 5% para Fase III de agosto

Os picos de temperatura chegaram a 30°C durante o período, atingindo uma média de 25,3°C dentro do mês do experimento. Embora tenha sido constatada precipitação entre os dias 19/08/2022 e 21/08/2022, foram chuvas isoladas que não atingiram a área do experimento, não havendo intervenção de chuva nesta análise (Figura 6).

Figura 6 – Precipitação e temperatura na região de estudo da Fase III



Fonte: Meteoblue (2022)

Os resultados mostraram que a redução de disponibilidade de umidade e volume de água para as mudas de eucalipto atua diretamente na sua mortalidade, reforçando a necessidade de irrigação para garantir a produtividade do plantio.

De acordo com Lopes et al. (2007), ainda na formação da muda de eucalipto em viveiro, já se observa correlação positiva entre a disponibilidade de água e crescimento da parte aérea em sua primeira etapa de desenvolvimento. Isto ocorre uma vez que a água está diretamente ligada à expansão e produção celular da planta, o que influencia em crescimento e sobrevivência.

Mesmo após o período de formação do viveiro, durante sua rustificação em campo, as mudas de eucalipto também necessitam de umidade e água para direcionar toda sua expansão celular, principalmente para a produção de folhas e raiz que, conseqüentemente, quanto melhor desenvolvidas, maior a captação de luz para fotossíntese (parte aérea) e maior captação de água e nutrientes (parte radicular) (BUTRINOWSKI et.al., 2013).

Além de todo o processo morfológico da muda de eucalipto, há também a influência dos fatores externos que facilitam ou dificultam a disponibilidade de umidade e água no ambiente, como temperatura, precipitação e tipo de solo.

Para o estado de São Paulo, tem-se características que transitam entre o clima subtropical e tropical, atingindo de 12°C a 25°C médios de acordo com as regiões e uma alta variação nas características de relevo e solo. Além disso, para a região tem-se os maiores picos de chuva entre dezembro e fevereiro e, ao final de abril, a intensidade pluviométrica reduz com a chegada do outono. A média do Estado chega a 1500 mm, atingindo picos de 3000 mm em áreas próximas a Serra do Mar e menos de 1000 mm em regiões mais à oeste (NOVAIS et al., 2022).

Vale destacar também que os solos do estado de São Paulo são predominantemente Latossolos e possuem teor de argila entre 15% a 80%, o que facilita a retenção e disponibilidade de água no solo. Para as localidades onde os experimentos foram instalados, este percentual atingiu média de 40% (EMBRAPA, 2013). Ou seja, nos intervalos do experimento, trabalhou-se com picos de temperatura entre 25°C até 30°C, baixa pluviosidade (período seco) e solos parcialmente argilosos.

Nessa condição, embora tenha ocorrido intervenção de chuva em algumas repetições, estas ocorreram após 6 dias de plantio, mostrando a maior durabilidade das mudas sem a necessidade de irrigação (no modelo convencional, uma segunda intervenção já é necessária 24h depois do plantio e 1ª irrigação). Todavia, a redução do volume de água em conjunto com a aplicação via plantio irrigado com hidrogel permitiram manter a disponibilidade de água para a muda de eucalipto, uma vez que a água é incorporada junto à operação de plantio, ficando abaixo da terra junto ao substrato, impedindo a perda de água que ocorre no plantio convencional, no qual a água é aplicada acima do plantio com a muda já plantada (Figura 7) (VICENTE et al., 2015).

Figura 7 – Características do plantio irrigado em comparação ao plantio convencional com irrigação posterior.



Fonte: TEIXEIRA (2022)

Legenda: Figura A – plantio irrigado com hidrogel incorporado no plantio (0,25 l); Figura B – irrigação convencional pós-plantio (4,00 l).

Diferentes metodologias de plantio irrigado e plantio convencional, vinculados à qualidade operacional, influenciam diretamente as possibilidades de otimização do processo e, conseqüentemente, redução de volume de água de plantio (DOHLER et.al., 2014).

Com a redução da primeira irrigação, de 4 l para 0,25 l por planta, o potencial de redução de volume de água em um plantio operacional pode chegar a 53%, considerando uma média de duas irrigações para a região de São Paulo (Tabela 5).

Tabela 5 – Potenciais de redução em plantio operacional de eucalipto.

| Tratamento           | Volume de água (l/planta) | Hectare operacional (plantas) | 1º irrigação (l totais) | 2º irrigação (l totais) | Volume de água total (l totais) |
|----------------------|---------------------------|-------------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------------|
| Plantio convencional | 4,00                      | 1.380                         | 5.520                   | 5.520                   | 11.040                          |
| Plantio irrigado     | 0,25                      | 1.380                         | 345                     | 5.520                   | 5.865                           |

Fonte: TEIXEIRA (2022)

Nos principais relatórios de fechamento e divulgações corporativas feitas na bolsa de valores de São Paulo (ISE B3) em 2020, informações de consumo de água como as obtidas neste estudo se fazem presente em apenas 29,4% das divulgações, não sendo um item avaliado em 70,6% das análises publicadas. Diante deste fato, a questão do consumo de água entrou como critério métrico nas práticas ESG, fomentando ações voltadas para este quesito (COSTA, 2022).

Estas ações voltadas para melhores práticas sustentáveis e de cunho ambiental tem mostrado correlação positiva com o desempenho financeiro das empresas de acordo com Martínez-Ferrero e Frías-Aceituno (2015), diante de uma avaliação feita em mais de 1960 multinacionais de 25 países.

Esta relação positiva é notória ao se extrapolar os resultados encontrados neste estudo de redução do consumo de água para a escala florestal de plantio de eucalipto no Brasil. Considerando os dados do relatório do IBA do ano de 2022 de 7 milhões de hectares plantados e uma média de 1.380 plantas por hectare, o potencial de redução do volume de água na primeira irrigação sai de 38.640.000.000 litros de água para 2.415.000.000 litros de água (IBÁ, 2022).

Esta redução expressiva de consumo de água na irrigação de plantio de floresta plantada de eucalipto é capaz de abastecer mais de 770 mil habitantes ao longo de 12 meses, de acordo com os dados de consumo médio por habitante (DIAS et.al., 2010). Este potencial de redução reflete diretamente em um dos principais pilares de compromisso ambiental determinado pelas práticas ESG de redução do uso de água (VIEIRA, 2022).

O rendimento operacional também apresentou resultados promissores, uma vez que, a partir da conjugação das atividades, o rendimento se manteve em linha com o esperado para as operações de plantio, o que mostra potencial de redução com custos da atividade de irrigação para a primeira irrigação.

O rendimento médio com o plantio irrigado com gel foi de 1,30 ha/colaborador/dia, enquanto o plantio convencional apresentou rendimento médio de 0,70 ha/colaborador/dia, 42% menor. O comparativo entre os tratamentos T1 e T2 com os tratamentos T3 e T4 foram significativos, o que evidencia a diferença de rendimento entre o método de plantio irrigado e plantio convencional.

Tabela 6 – Comparativo de rendimento operacional entre o plantio irrigado e plantio convencional

| Tratamento | Número de árvores plantadas | Rendimento        |
|------------|-----------------------------|-------------------|
| T0         | 1200                        | 1,41              |
| T1         | 1200                        | 1,33 <sup>a</sup> |
| T2         | 1200                        | 1,23 <sup>b</sup> |
| T3         | 1200                        | 0,70 <sup>a</sup> |
| T4         | 1200                        | 0,72 <sup>b</sup> |

Fonte: TEIXEIRA (2022)

Legenda: T0 – testemunha sem irrigação; T1 – uma irrigação de 250 ml; T2 – duas irrigações (1 250 ml + 4 l); T3 – uma irrigação de 4 l; T4 – duas irrigações de 4 l  
 Teste Tukey de 5% de significância para rendimento operacional

Além do rendimento, o fato de realizar atividades desvinculadas reflete diretamente na necessidade de maior mão-de-obra para sua execução, uma vez que o plantio necessita que a primeira irrigação seja feita imediatamente após o plantio para que não haja perdas de qualidade e mortalidade das mudas. Por esta razão, a realização do plantio irrigado apresenta, além de vantagens diretas de rendimento em uma única atividade, a possibilidade de otimização de mão-de-obra e, conseqüentemente, redução dos custos operacionais (SILVA et.al., 2004; SIMÕES et.al, 2012), além de suportar de forma significativa as grandes dificuldades de formação de equipes manuais e trabalhadores rurais pela baixa disponibilidade e alta competitividade no mercado. A otimização de mão-de-obra não se dá somente a sua redução e exposição em campo, mas também pela abertura da possibilidade de formação de carreira de ajudantes rurais para operadores de máquinas, refletindo em maior qualidade de vida pela mecanização do processo (SOLER et.al., 2019).

Não somente a mão-de-obra, toda a estrutura dedicada para a irrigação de plantio pode sofrer impacto com a redução ou aumento de seu rendimento operacional, como pode ser observado para as estruturas de caminhão pipa/tanques para esta atividade. Para cada dia produtivo, o rendimento irá interferir diretamente no abastecimento de água para a irrigação e, conseqüentemente, na necessidade de maior ou menor quantidade de caminhões/tanques (Tabela 7).

Tabela 7 – Potencial de otimização de estrutura de caminhão/tanque pipa pela redução no consumo de água durante a irrigação de plantio a partir do reflexo da quantidade de abastecimentos por dia produtivo.

| Tratamentos | Produtividade (ha/h) | Horas trabalhadas | Produção/dia | Árvores/hectare | Árvores totais | 1ª e 2ª irrigação (L/planta) | Irrigação total (L) | Pipa (Capacidade L) | Abastecimento (quantidade) |
|-------------|----------------------|-------------------|--------------|-----------------|----------------|------------------------------|---------------------|---------------------|----------------------------|
| T0          | 1,41                 | 6,80              | 9,59         | 1.200           | 11.506         | -                            | -                   | 12.500              | -                          |
| T1          | 1,33 <sup>a</sup>    | 6,80              | 9,04*        | 1.200           | 10.853         | 0,25                         | 2.713               | 12.500              | 0,22 <sup>a</sup>          |
| T2          | 1,23 <sup>b</sup>    | 6,80              | 8,36**       | 1.200           | 10.037         | 4,25                         | 42.656              | 12.500              | 3,41                       |
| T3          | 0,70 <sup>a</sup>    | 6,80              | 4,76*        | 1.200           | 5.712          | 4,00                         | 22.842              | 12.500              | 1,83 <sup>a</sup>          |
| T4          | 0,72 <sup>b</sup>    | 6,80              | 4,90**       | 1.200           | 5.875          | 8,00                         | 47.002              | 12.500              | 3,76                       |

Fonte: TEIXEIRA (2022)

Legenda: T0 – testemunha sem irrigação; T1 – uma irrigação de 250 ml; T2 – duas irrigações (1 250 ml + 4 l); T3 – uma irrigação de 4 l; T4 – duas irrigações de 4 l

Teste Tukey de 5% de significância para abastecimento

Ao observar os potenciais em redução operacional com a otimização da atividade, o principal reflexo se dá pela redução da estrutura de irrigação necessária, uma vez que, com menor volume de água, os caminhões pipa e seus tanques podem ser reduzidos e/ou aproveitados para outras atividades, já que a necessidade de abastecimento ao longo do dia será menor. Para os resultados avaliados, é possível irrigar o dobro de árvores nos tratamentos T1 e T2 e realizar menos ou a mesma quantidade de abastecimentos em comparação aos tratamentos T3 e T4.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os potenciais de otimização de irrigação a partir da redução do volume de água com o plantio irrigado na primeira irrigação para 0,25 l apresentaram resultados positivos em relação ao plantio convencional, porém reforçaram a necessidade de, pelo menos, duas irrigações em período mais quente para São Paulo que, mesmo diante de suas características climatológicas favoráveis ao desenvolvimento do eucalipto, com temperaturas médias de 25°C, solos mais argilosos (Latosolos) e precipitação média anual de 1.300 mm, apresentam picos desfavoráveis de altas temperaturas de 30°C e baixa precipitação no segundo e terceiro trimestre do ano.

Porém, mesmo o potencial sendo visto inicialmente apenas para a primeira irrigação, a redução do volume de necessidade de água para a operação de plantio de eucalipto é expressiva quando colocada em escala operacional, processo este que caminha de forma congruente às práticas ESG para redução do uso de água e maior mecanização e otimização da mão-de-obra rural, a fim de aumentar a qualidade de vida nas atividades manuais da silvicultura. Além disso, a operação de plantio irrigado de eucalipto por si só já apresenta ganhos operacionais diante de melhor rendimento, o que reforça o potencial de redução de custos e estruturas dedicadas em campo para esta atividade.

Com isso, os ganhos ESG e operacionais são significativos para a redução do volume de água na primeira irrigação de plantio de eucalipto, porém ainda é preciso explorar novas tecnologias e técnicas para reduzir a intensidade de irrigação (apenas uma irrigação diante da média de duas irrigações necessárias atualmente para o estado de São Paulo. Assim, é possível ter ganhos sustentáveis consideráveis de redução do uso de recursos naturais, resultados estes que vão ao encontro das tendências de mercado ESG para as grandes empresas do setor florestal, além de reflexos positivos operacionais com potenciais de redução de custo a partir do melhor rendimento operacional verificado para a atividade de plantio irrigado.

## **6 CONCLUSÃO**

A partir dos resultados, foi verificado que o tratamento T3 apresentou potencial operacional de utilização, a partir da redução do volume de água na primeira irrigação, mantendo uma segunda irrigação convencional. Em termos de mortalidade e rendimento, mostrou resultados positivos em relação ao T4. Para os comparativos com apenas uma irrigação, observou-se impactos significativos de mortalidade, o que necessita de maiores estudos em tecnologias e manejos para que sua viabilidade seja possível.

## **REFERÊNCIAS**

ABRAF - Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. (2013). **Anuário estatístico da ABRAF 2012**: ano base 2011

BARATELLI, A. E. S. et.al. A expansão do eucalipto e a dinâmica da pecuária no município de Três Lagoas/MS. **Pegada – A Revista da Geografia do Trabalho**, 21(3), 161–182, 2021.

BERNARDINO, L. T. et.al. Desenvolvimento inicial de mudas de eucalipto sob diferentes lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 13, n. 1, p. 3169-3179, 2019.

BRAINER, M. S. C. P. Silvicultura. **Banco do Nordeste do Brasil**, n. 154, 2021.

BUTRINOWSKI, R. T. et al. Disponibilidade hídrica no desenvolvimento inicial de mudas de *Eucalyptus grandis* em ambiente protegido. **Acta Iguazu**, v. 2, n. 3, p. 84-93, 2013.

BUZETTO, F. A. et.al. Avaliação de polímero adsorvente à base de acrilamida no fornecimento de água para mudas de *Eucalyptus urophylla* em pós-plantio. **Circular Técnica IPEF**, no. 195, 2002.

CALDERAN, A. M. et. al. **Encontro Internacional de Gestão, Desenvolvimento e Inovação (EIGEDIN)**, v. 5, n. 1, 2021.

COSTA, B. et.al. Florestas plantadas de eucalipto no Brasil: uma cultura nociva aos recursos hídricos? **Veredas do Direito: Direito Ambiental e Desenvolvimento Sustentável**, v. 16, n. 36, p. 123-141, 2019.

COSTA, L. et al. Os impactos econômicos do ESG (Environmental, Social and Governance) no mercado financeiro brasileiro. **Fundação Getúlio Vargas**, 2022.

DE CARVALHO, J. M. et al. Crescimento inicial de mudas de *Sapindus saponária* com uso de hidrogel e lâminas de água. **Scientific Electronic Archives**, v. 15, n. 1, 2022.

DIAS, D. M. et.al. Avaliação do impacto da variação da renda no consumo domiciliar de água. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 15, p. 155-166, 2010.

DI VITA, G., P. M. et. al. A review of the role of vegetal ecosystems in CO2 capture. **Sustainability**, 9(10), 2017.

DOHLER, R. et. al. Análise temporal da necessidade de irrigação para o *Eucalyptus grandis* no município de São Mateus-ES. **Enciclopédia biosfera**, v. 10, n. 19, 2014.

FELIPPE, D. et al. Crescimento, sobrevivência e trocas gasosas de mudas de *Eucalyptus dunnii* Maiden submetidas a regimes de irrigação e aplicação de hidrogel. **Revista Forestal Mesoamericana Kurú**, v. 17, n. 40, p. 11-20, 2020.

FREITAS, P. C. et al. Efeito da disponibilidade hídrica e da aplicação de potássio e sódio nas características anatômicas do lenho juvenil de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 39, n. 2, p. 405-416, 2015.

IBÁ - Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório Anual da Indústria Brasileira de Árvores**. Ano base 2020.

LOPES, J. L. W. et.al. Qualidade de mudas de eucalipto produzidas sob diferentes lâminas de irrigação e dois tipos de substrato. **Revista Árvore**, v. 31, p. 835-843, 2007.

LOPES, J. L. W et.al. Uso de hidrogel na sobrevivência de mudas de *Eucalyptus urograndis* produzidas com diferentes substratos e manejos hídricos. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 2, p. 217-224, 2010

LORENZI, H. **Manual de identificação e controle de plantas daninhas**. Nova Odessa, H. Lorenzi, 2014.

MAPA (Ministério da Agricultura e Pecuária). **PORTARIA MAPA Nº 298**, Diário Oficial da União, 2021.

MARTÍNEZ-FERRERO, J. et.al. Relationship Between Sustainable Development and Financial Performance: International Empirical Research. **Bus. Strat. Env.**, 24, p. 20– 39, 2015.

MATOS, P. **ESG and responsible institution al investing around the world: A critical review**. 2020.

MINETTI, L. J.et. al. **Avaliação ergonômica do protótipo de um motocoveador hidráulico, utilizado em atividades de silvicultura florestal**. 2010.

NATIONAL CONFEDERATION OF INDUSTRY. Brazilian Pulp and Paper Association. Forest plantations: opportunities and challenges for the brazilian pulp and paper industry on the path of sustainability. Brasília: CNI; **National Confederation of Industry**, Brazilian Pulp and Paper Association, 57 (Rio+20 Sectorial fascicle), 2012.

NEVES, O. S. C. et al. Retenção de água em substratos com hidrogel: influência das características do material e nível de adubação. **Ciência Florestal**, v. 31, p. 1751-1767, 2022.

NOVAIS, G. T. et.al. Uma tipologia de classificação climática aplicada ao estado de São Paulo. **Revista do Departamento de Geografia da Universidade de São Paulo**, v. 42, 2022.

PEREIRA, V. G. M. F. et al. Irrigação e fertirrigação no desenvolvimento de eucalipto. **Ciência Florestal**, v. 29, p. 1100-1114, 2019.

REIS, C. A. F. et. al. Contribuições das pesquisas com eucaliptos para a expansão de fronteiras das florestas plantadas brasileiras. **Embrapa**, cap. 9, 2021.

ROCHA, I. G. da. **Comportamento da condutividade elétrica do lixiviado em função de doses de hidrogel**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2019.

SANTOS, P. M. et al. Necessidade de se irrigar a fase inicial de floresta de Mogno-Africano no cerrado. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 6, p. 41399-41409, 2020.

SATISHCHANDRA, K. M. Planting Eucalyptus using hydrogel during dry season. **IPPTA**, v.24, n.2, p.51-52, 2012.

SEREGHETTI, G. C. et.al. An evaluation of the economics and productivity of fully mechanised tree seedling planting in Brazil. **Southern Forests: a Journal of Forest Science**, V.81, n.3, p.281 - 284. 2019.

SHOOSHARIAN, S et.al. Evaluation of Application of Superabsorbent Polymers in Green Space of Arid and Semi - Arid Regions with emphasis on Iran. **International Journal of Forest, Soil and Erosion**, v. 2, n. 1, p. 24-36, 2012.

SILVA, K. R. et. al. Custos e rendimentos operacionais de um plantio de eucalipto em região de cerrado. **Revista Árvore**, v28, 2004.

SIMÕES, D. et. al. Desempenho operacional e custos de um trator na irrigação pós-plantio de eucalipto em campo. **Revista Ceres – Engenharia Agrícola**, 2012.

SION, A. O. et. al. ESG: novas tendências do direito ambiental. **Synergia**, 2021.

SOLER, R. R. et. al. Avaliação econômica da operação de plantio mecanizado de eucalipto em dois diferentes espaçamentos. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 34, n. 4, p. 462-470, 2019

SOLOS, Embrapa. Sistema brasileiro de classificação de solos. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos: Rio de Janeiro**, v. 3, 2013.

SOUSA, G. T. O. et.al. Incorporação de polímero hidroretentor no substrato de produção de mudas de *Anadenanthera peregrina* (L.) SPEG. **Enciclopédia Biosfera**, v. 9, n. 16, p. 1270- 1278, 2013.

VICENTE, M. R. et. al. Uso de gel hidroretentor associado à irrigação no plantio do eucalipto. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada-RBAI**, v. 9, n. 5, p. 344-349, 2015.

VIEIRA, C. G. et. al. **Mecanização e Silvicultura de Precisão na Eldorado**. Série Técnica IPEF, Piracicaba, v. 24, n. 45, 2016.

VIEIRA, G. V. Eficiência energética através da implementação da cultura ESG. **Universidade Estadual Paulista (Unesp)**, 2022.

## ANEXOS

Figura 8 – Equipamentos do plantio irrigado.



Fonte: TEIXEIRA (2022)

Figura 9 – Colaboradores de plantio.



Fonte: TEIXEIRA (2022)

Figura 10 – Atividade de plantio irrigado com uso de gel de plantio.



Fonte: TEIXEIRA (2022)

Figura 11 – Plantio da fase III do tratamento T1 (1 irrigação de 250 ml) e T3 (1 irrigação de 4 l).



Fonte: TEIXEIRA (2022)

Figura 12 – Mudanças testemunhas da fase III (sem irrigação)



Fonte: TEIXEIRA (2022)

Figura 11 – Plantio da fase III do tratamento T1 (1 irrigação de 250 ml) e T3 (1 irrigação de 4 l).



Fonte: TEIXEIRA (2022)

Figura 12 – Croqui de divisão dos tratamentos e metodologia de amostragem da avaliação



Fonte: TEIXEIRA (2022)



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**  
Centro de Ciências e Tecnologias Para a Sustentabilidade  
Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis

---

**Folha de Aprovação**

---

Defesa de Dissertação de Mestrado da candidata Camila Macedo Teixeira, realizada em 07/03/2023.

**Comissão Julgadora:**

Prof. Dr. Jose Mauro Santana da Silva (UFSCar)

Profa. Dra. Lausanne Soraya de Almeida (UFV)

Prof. Dr. Danilo Ribeiro da Costa (UFSCar)

O Relatório de Defesa assinado pelos membros da Comissão Julgadora encontra-se arquivado junto ao Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis.