



INFLUÊNCIA EM CURTO PRAZO DE DIFERENTES MÉTODOS DE RESTAURAÇÃO FLORESTAL NA DISPONIBILIDADE E QUALIDADE DE NASCENTES NA REGIÃO SUL DE MINAS GERAIS

Dr. Vinícius Barros Rodrigues^{1*}, Dr. Fillipe Tamiozzo Pereira Torres²
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4196-8088>, <https://orcid.org/0000-0002-6196-4730>

¹Professor, da Universidade Federal Viçosa, Departamento de Engenharia Florestal, Viçosa, Minas Gerais, Brasil. ²Pós-doc, da Universidade Federal Viçosa, Departamento de Engenharia Florestal, Viçosa, Minas Gerais, Brasil.

*viniciusbrbio@gmail.com

Recebido em: 15/01/2024; Aceito em: 13/06/2024; Publicado em: 30/07/2024

DOI: <https://doi.org/10.29327/2463817.6.1-3>

RESUMO

Diversos estudos comprovam a relação entre as alterações no uso e cobertura da terra e a qualidade e quantidade das águas que compõem uma mesma bacia hidrográfica. Desta forma, o objetivo deste estudo foi analisar o impacto, em curto prazo, de dois diferentes métodos de plantio na restauração florestal sobre as características do solo do entorno, vazão e turbidez de 121 nascentes de reservatórios para geração de energia elétrica no sul de Minas Gerais. No primeiro método foram utilizadas espécies nativas e exóticas com interesse econômico de ciclo curto, no segundo foram utilizadas espécies nativas de ciclo longo para fins únicos de restauração. Após um ano de plantio não houveram alterações nas características do solo e turbidez das águas em ambos os tratamentos, mas houve alteração na vazão, enquanto as áreas com plantio de espécies de interesse econômico a vazão não alterou, nas áreas de plantio de espécies para restauração houve um aumento na vazão das nascentes. As características físico-químicas do solo, mortalidade/replanteio das mudas e precipitação acumulada não foram fatores influentes no resultado. Apesar da situação da vazão poder ser alterada com o passar do tempo, outros serviços ambientais promovidos pela restauração florestal poderão ser observados, como regulação do fluxo sazonal dos tributários dos reservatórios, diminuição dos processos erosivos em áreas de transmissão e de assoreamento dos reservatórios, melhoria dos habitats e do microclima e geração de renda para os proprietários do entorno.

Palavras-chave: Vazão; turbidez; recuperação de áreas degradadas; serviços ecossistêmicos.

SHORT-TERM INFLUENCE OF DIFFERENT METHODS OF FOREST RESTORATION ON THE AVAILABILITY AND QUALITY OF SPRINGS IN THE SOUTHERN REGION OF MINAS GERAIS

ABSTRACT

Several studies confirm the relationship between changes in land use and cover and the quality and quantity of water within a given watershed. Thus, the objective of this study was to analyze the short-term impact of two different forest restoration planting methods on soil characteristics, flow, and turbidity of 121 springs in reservoirs for electricity generation in the southern region of Minas Gerais. The first method involved the use of native and exotic species with short economic cycles, while the

second method utilized native species with long cycles for the sole purpose of restoration. After one year of planting, there were no changes in soil characteristics and water turbidity in both treatments, but there was a change in flow. In areas with the planting of economically valuable species, the flow remained unchanged, while in areas with species for restoration, there was an increase in spring flow. Soil physicochemical characteristics, seedling mortality/replanting, and accumulated precipitation were not influential factors in the results. Although the flow situation may change over time, other environmental services provided by forest restoration may be observed, such as regulation of the seasonal flow of reservoir tributaries, reduction of erosive processes in transmission areas, and reservoir siltation, improvement of habitats and microclimate, and income generation for surrounding landowners.

Keywords: Water flow; turbidity; degraded area recovery; ecosystem services.

INFLUENCIA A CORTO PLAZO DE DIFERENTES MÉTODOS DE RESTAURACIÓN FORESTAL EN LA DISPONIBILIDAD Y CALIDAD DE NACIENTES EN LA REGIÓN SUR DE MINAS GERAIS

RESUMEN

Diversos estudios confirman la relación entre las alteraciones en el uso y cobertura del suelo y la calidad y cantidad de las aguas que componen una misma cuenca hidrográfica. De esta manera, el objetivo de este estudio fue analizar el impacto, a corto plazo, de dos métodos diferentes de plantación en la restauración forestal sobre las características del suelo circundante, el caudal y la turbidez de 121 nacientes de embalses para la generación de energía eléctrica en el sur de Minas Gerais. En el primer método se utilizaron especies nativas y exóticas con interés económico de ciclo corto, mientras que en el segundo se emplearon especies nativas de ciclo largo con el único propósito de restauración. Después de un año de la plantación, no hubo alteraciones en las características del suelo y la turbidez del agua en ambos tratamientos, pero sí hubo cambios en el caudal. Mientras que en las áreas con la plantación de especies de interés económico el caudal no cambió, en las áreas con especies para restauración se observó un aumento en el caudal de las nacientes. Las características físico-químicas del suelo, la mortalidad/replantación de las plántulas y la precipitación acumulada no fueron factores influyentes en los resultados. Aunque la situación del caudal puede cambiar con el tiempo, otros servicios ambientales promovidos por la restauración forestal pueden ser observados, como la regulación del flujo estacional de los afluentes de los embalses, la reducción de los procesos erosivos en áreas de transmisión y de sedimentación de los embalses, la mejora de los hábitats y el microclima, y la generación de ingresos para los propietarios circundantes.

Palabras clave: Caudal; turbidez; recuperación de áreas degradadas; servicios ecosistémicos.

1. INTRODUÇÃO

A substituição das paisagens naturais por diversos tipos de usos da terra, sobretudo pelos modelos econômicos exploratórios dos recursos naturais, e os diferentes ciclos de crescimento e dispersão populacional, têm contribuído para o aumento da fragmentação florestal. Esta dinâmica resulta em fragmentos menores frequentemente inseridos em matrizes de áreas degradadas não florestais (CERQUEIRA et al., 2021).

Por sua vez, diversas pesquisas corroboram a relação entre as mudanças no uso e cobertura da terra e a qualidade e quantidade das águas que compõem uma mesma bacia. Esses estudos indicam que vários fatores afetam as características e disponibilidade das águas, tais

como os usos antrópicos (rurais e urbanos), que tendem a influenciá-las negativamente, e a vegetação natural, que, no geral, tem efeitos positivos sobre elas (KÄNDLER et al., 2017; LIU et al., 2019; COSTA et al., 2022).

Com base nisso, considerando que 71% da geração de energia no Brasil provêm de hidrelétricas (BRASIL, 2020), torna-se crucial investigar as inter-relações entre o uso da terra, a cobertura vegetal e a qualidade hídrica nas áreas de captação de bacias energéticas. Essa relevância está relacionada ao estabelecimento de ferramentas e metodologias mais assertivas de conservação dos recursos hídricos e não se restringe apenas às suas funções ecológicas, mas também se configura como um elemento fundamental para o desenvolvimento social e econômico nacional.

Embora o plantio de espécies arbóreas não signifique obrigatoriamente o aumento da vazão em uma bacia hidrográfica, se o benefício esperado é a qualidade da água e regulação da vazão, as intervenções de restauração devem priorizar a recuperação do solo e da vegetação nos locais mais frágeis, nas áreas descobertas e nos trechos da bacia sujeitos a maior escoamento superficial e, portanto, expostos a maiores riscos de erosão e assoreamento. Desta forma, nascentes e terrenos inclinados devem ser prioritariamente protegidos. Para esta finalidade, florestas, savanas ou campos, se devidamente restaurados, podem igualmente exercer a função de proteção, que será mais efetiva quanto maior a largura da faixa restaurada ao redor do corpo d'água (HONDA; DURIGAN, 2017).

PIAIA et al. (2021) e PERINI et al. (2023) examinaram diversos métodos e abordagens para a restauração florestal em áreas de nascentes. Entre os métodos, pode-se destacar semeadura direta, plantio de mudas, regeneração natural e técnicas de nucleação. Os autores observaram que o plantio de mudas, embora seja uma das abordagens mais custosas, é reconhecido como altamente eficaz na restauração e é amplamente utilizado. A integração de diversas espécies e culturas agrícolas em consórcio também se mostra uma alternativa viável para a recuperação de matas ciliares. Esses métodos visam à conciliação entre conservação e produção, uma vez que podem gerar renda e, nesse contexto, diminuir a resistência por parte dos agricultores e produtores rurais em relação aos projetos de restauração (RODRIGUES et al., 2008; DARONCO et al., 2012; OLIVEIRA et al., 2016).

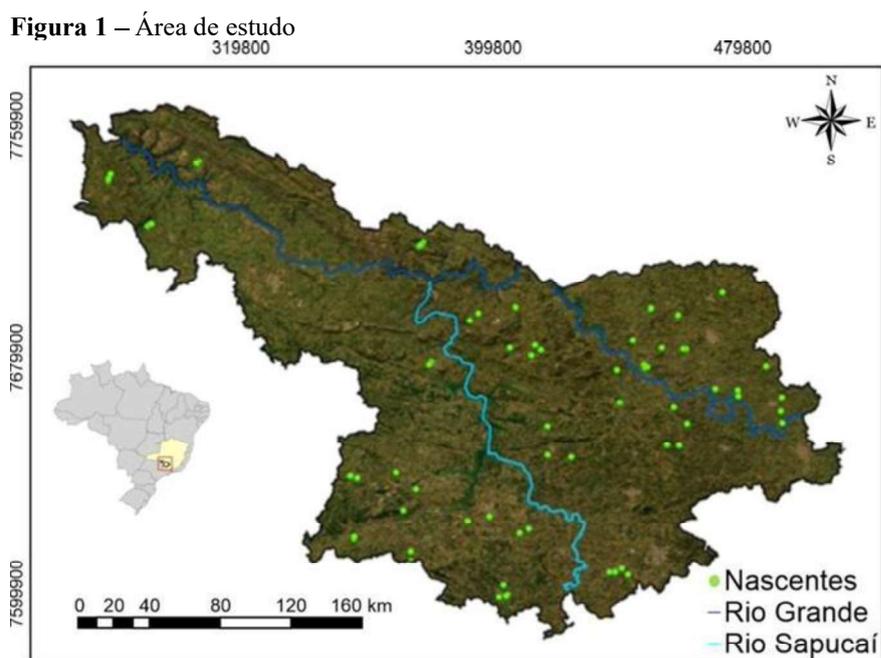
Diante do exposto, o objetivo deste estudo foi analisar o impacto em curto prazo de dois métodos distintos de plantio na restauração em áreas de nascentes, com um foco específico na vazão e turbidez das nascentes e nas características do solo de seu entorno. A hipótese inicial se baseia na premissa de que, dentro do período de um ano entre o plantio e as medições, não

haveria diferenças significativas na vazão e turbidez ou do solo entre os tipos de plantio. Eventuais mudanças, caso ocorressem, poderiam ser atribuídas à maior demanda hídrica associada ao crescimento inicial das mudas ou nas características do solo das parcelas experimentais.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Descrição das áreas

O estudo foi realizado na Sub-bacia Hidrográfica do Rio Grande, na região sul do estado de Minas Gerais (Figura 1). Foram escolhidas 121 parcelas que representam as áreas de recarga dos aquíferos que contribuem para os reservatórios das Usinas Hidroelétricas de Furnas e Peixoto. A seleção dessas parcelas levou em consideração a disponibilidade e o interesse dos proprietários em participar do projeto.



As parcelas experimentais foram distribuídas em 37 municípios e possuíam um tamanho médio de 1,27 ha: Aguanil - 10 parcelas; Alfenas - 2 parcelas; Alpinópolis - 6 parcelas; Alterosa - 3 parcelas; Areado - 6 parcelas; Boa Esperança - 2 parcelas; Cabo Verde - 5 parcelas; Campo Belo - 4 parcelas; Campos Gerais - 3 parcelas; Cana Verde - 4 parcelas; Candeias - 2 parcelas; Capitólio - 4 parcelas; Carmo do Rio Claro - 2 parcelas; Cássia - 6 parcelas; Conceição da Aparecida - 2 parcelas; Coqueiral - 4 parcelas; Cristais - 4 parcelas; Delfinópolis - 1 parcela; Divisa Nova - 4 parcelas; Elói Mendes - 2 parcelas; Fama - 1 parcela; Guapé - 3 parcelas; Ibiraci

- 1 parcela; Ilicínea - 4 parcelas; Lavras - 1 parcela; Machado - 4 parcelas; Monte Belo - 7 parcelas; Nepomuceno - 1 parcela; Paraguaçu - 1 parcela; Passos - 5 parcelas; Perdões - 3 parcelas; Ribeirão Vermelho - 2 parcelas; Serrania - 4 parcelas; São José da Barra - 4 parcelas; São João Batista do Glória - 2 parcelas; Três Pontas - 2 parcelas; Varginha - 1 parcela.

Plantio

Na primeira etapa do projeto foram identificadas as áreas com possibilidade de implantação do empreendimento, na Etapa 2 foram elaborados os Projetos Executivos para o plantio de mudas e muvuca e na Etapa 3 foi realizado o cercamento das parcelas para garantir a proteção das áreas de estudo de eventuais estressores. Além disso, foi feito o enriquecimento do solo com NPK, calcário dolomítico, fosfato bicálcico e adubo orgânico nas parcelas. Por fim, também foram utilizadas iscas formicidas granuladas para controle de formigas cortadeiras.

As parcelas experimentais foram divididas em dois tratamentos. No primeiro, optou-se pelo plantio de espécies nativas buscando a restauração da área, promovendo a intercalação estratégica com espécies lenhosas, perenes e de ciclo longo. No segundo, foi priorizada a utilização de espécies florestais com relevância econômica, biológica e cultural, como condimentos (pimenta rosa e urucum), palmito e frutíferas. A diversificação incluiu espécies semi-perenes, como café sombreado, cravo e diversas frutíferas, tanto nativas quanto exóticas. A escolha das espécies se deu de acordo com a disponibilidade local.

Nos dois tratamentos foram utilizadas técnicas de adensamento e enriquecimento, como plantio de mudas e/ou sementes. O espaçamento utilizado foi 3x2 m, com uma densidade média de 1.667 plantas por hectare, onde em metade da área foi utilizada a técnica de plantio de muvuca e na outra metade o plantio direto de mudas. Nas parcelas em que a mortalidade das mudas foi superior a 10%, houve um trabalho de replantio.

Dentre as 121 parcelas experimentais, 69 receberam o tratamento de espécies nativas e exóticas para preservação com interesse econômico (IE), enquanto 52 receberam o tratamento de plantio de espécies com finalidade única de preservação (P). Os cercamentos, plantios e manutenção das parcelas experimentais foram realizados entre os meses de agosto de 2021 e abril de 2022.

Características físico-químicas do solo

As amostras de solo foram coletadas de acordo com as diretrizes recomendadas por TEIXEIRA et al. (2017). Em cada parcela, foram escolhidos pontos que apresentavam alguma homogeneidade do ponto de vista vegetacional, topográfico e de cobertura. Após a seleção dos locais de amostragem, as superfícies do solo foram cuidadosamente limpas, removendo quaisquer folhas e detritos. Utilizando uma pá, foram coletadas amostras representativas do solo, que foram posteriormente acondicionadas em sacos plásticos. Os parâmetros analisados incluíram os níveis de fertilidade convencionais (pH, Ca, Mg, Al, H+Al, K, Na e P), teor de matéria orgânica, índice de saturação do sódio e soma de bases trocáveis.

Vazão e turbidez

O monitoramento da vazão foi realizado nas nascentes por meio do dispositivo FlowTracker 2, que utiliza o método Doppler Acústico de Velocidade para quantificação. Da mesma forma, a medição da turbidez da água foi conduzida por meio de amostras coletadas em tubos plásticos e avaliadas com um turbidímetro portátil Akso TU-430, que possui uma faixa de medição que varia de 0 a 1.000 unidades de turbidez nefelométrica (NTU).

Monitoramentos

O primeiro monitoramento foi realizado entre os meses de junho e outubro de 2022 (logo após o plantio), enquanto o segundo monitoramento foi realizado entre os meses de maio e julho de 2023 (um ano após o plantio).

Análises estatísticas

O objetivo foi analisar os efeitos das variáveis explicativas plantio e monitoramento nas variáveis respostas vazão e turbidez da água das nascentes e características do solo de seus entornos.

Utilizamos Modelos Lineares Generalizados (GLM). O GLM é eficaz com dados não gaussianos e quando a variabilidade dos erros não é constante em todos os níveis da variável independente (heterocedásticos), sendo robusto para diferentes distribuições de probabilidade. Foram realizados testes de Shapiro Wilk (“shapiro.test”) para verificar a distribuição das variáveis respostas e testes de superdispersão para melhor adequação dos modelos, como sugerido por Crawley (2002). A precipitação mensal (INMET) foi adicionada como uma co-variável nos modelos.

A verificação das diferenças das análises físico-químicas do solo entre os plantios e entre os monitoramentos foi realizada através de uma análise multidimensional de agrupamento cluster, seguindo recomendações de Kassambara (2017). O cluster foi calculado com a função “kmeans”, que utiliza o algoritmo K-means, e o número ótimo de cluster foi calculado com a função “fviz_nbclust” e método “wss” (“total within sum of square”). Para verificar as contribuições das variáveis e reduzir a dimensionalidade dos dados para cada componente principal, foi realizada uma Análise dos Componentes Principais (PCA) com a função “prcomp”. O objetivo da realização do PCA foi investigar a presença de diferenças substanciais entre os tratamentos e avaliar se essas variações resultariam na formação de agrupamentos distintos. A análise também buscou examinar se ocorreram alterações significativas ao longo do tempo, comparando os resultados dos dois períodos de monitoramento.

Por fim, para análise da mortalidade das mudas do plantio foram utilizadas as variáveis explicativas “proporção de mudas regeneradas/plantadas” e “plantio” na variável resposta vazão, também utilizando GLM. Todas as análises e gráficos foram realizados no programa R (R CORE TEAM, 2021) com os pacotes “ggplot2”, “factoextra” e “FactoMineR”.

3. RESULTADOS

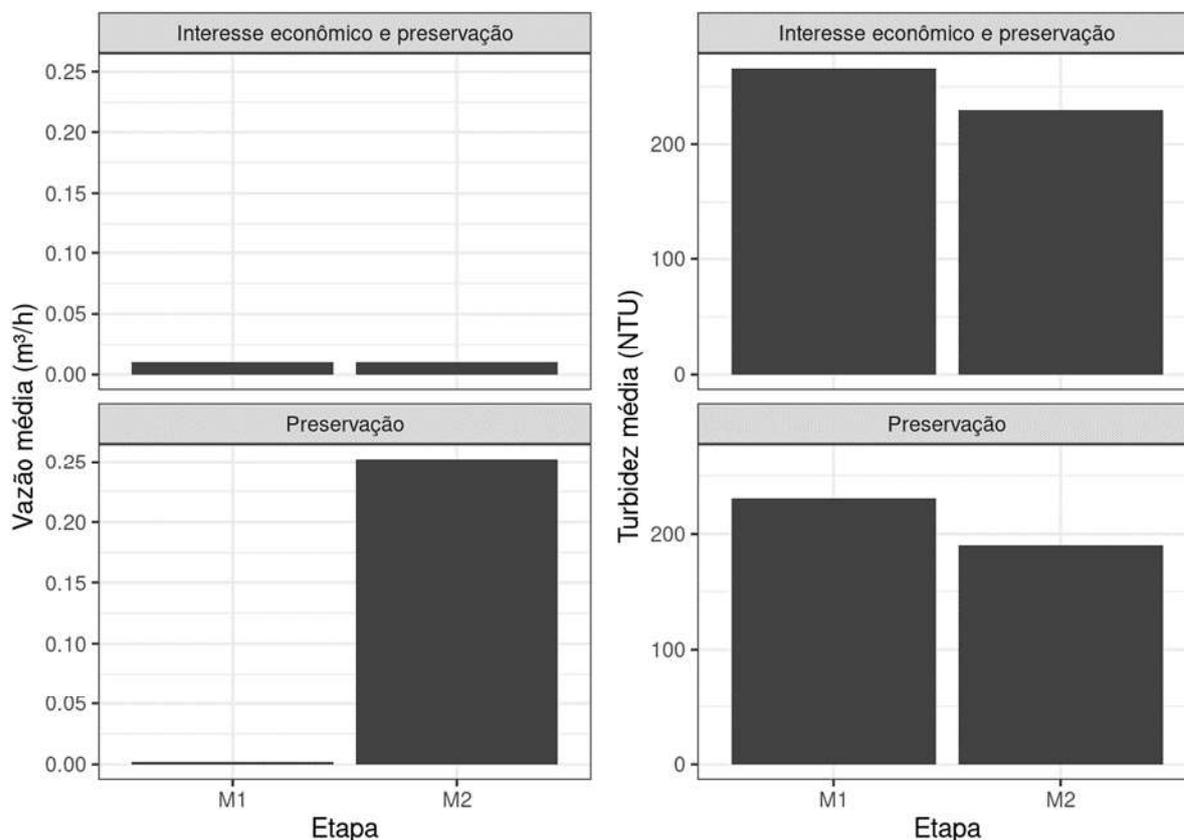
A vazão média total foi de 0,07209 m³/h, com média de 0,0100 m³/h para IE e 0,127 m³/h para P. A turbidez média foi de 228,18 NTU, com média de 248 NTU para IE e 211 NTU para P. A precipitação nos períodos amostrados teve média de 0,02 mm, com máxima de 0,6 mm.

Em relação à turbidez (Figura 2), não houve diferença significativa entre o modelo completo e o modelo nulo ($p=0.16$, $F= 1.7284$). Portanto, não houve efeito do tratamento, etapa do monitoramento, características do solo ou precipitação na turbidez das nascentes. A turbidez média total foi de 228,18 NTU, enquanto dos plantios IE foi de 248 NTU, e nos plantios P foi de 211 NTU.

No entanto, foi observado um efeito significativo do tratamento ($p<0.05$, $F=14.064$) e da etapa de monitoramento ($p<0.05$, $F=18.162$) (Figura 2) sobre a vazão. Ou seja, a maneira como as áreas foram tratadas (Interesse Econômico vs. Preservação) e as diferentes etapas de monitoramento tiveram impactos estatisticamente significativos na vazão das nascentes.

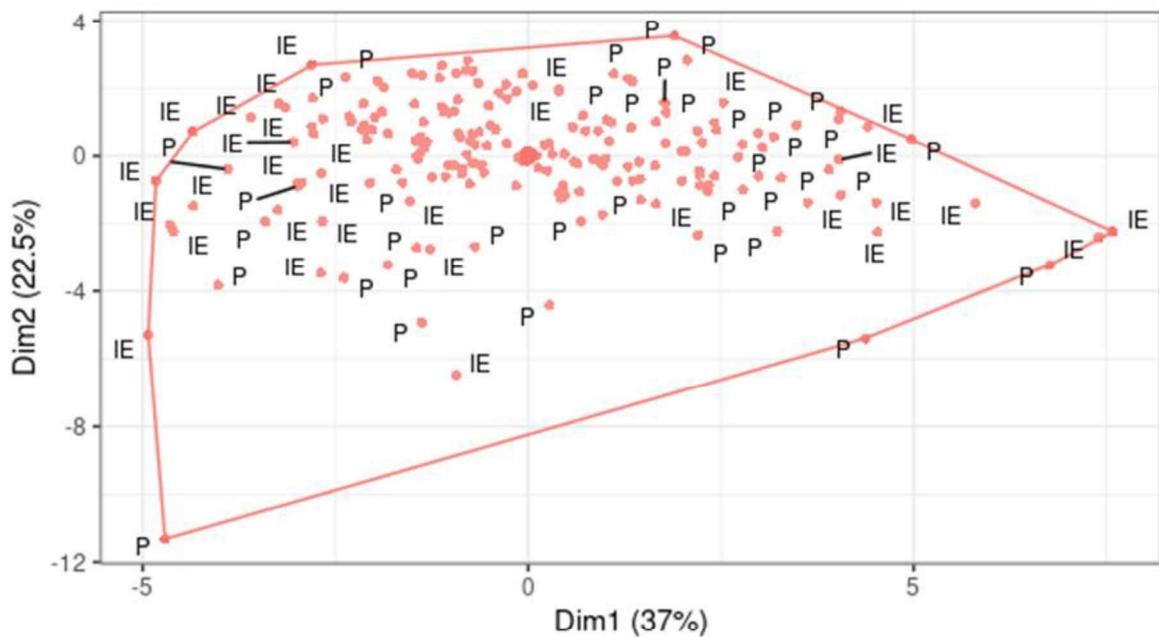
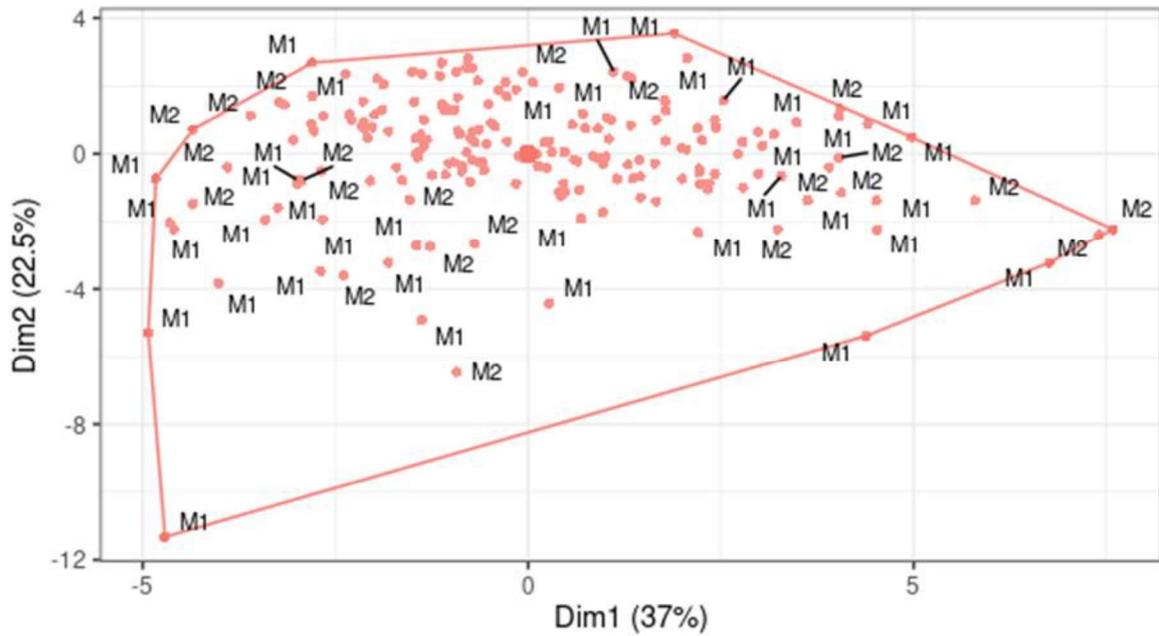
Não houve efeito da precipitação na vazão das nascentes ($p=0.6884$, $F=0.1608$). Isso sugere que, nos períodos avaliados, a quantidade de chuva não influenciou de maneira estatisticamente significativa a diferença da vazão observada.

Figura 2 - Vazão média (esquerda) e turbidez média (direita) entre os monitoramentos M1 e M2 e entre os plantios IE (cima) e P (baixo).



Para investigar se as flutuações na vazão poderiam ser atribuídas às variações nas propriedades dos solos, ou se os plantios alteraram as características dos solos, foi realizada uma análise de agrupamento. A aplicação do algoritmo K-Means resultou na sugestão de um único cluster como o número ótimo, composto por 198 observações. A soma dos quadrados internos para o cluster definido foi de 2.177,90. Esse resultado implica que não ocorreu uma distinção significativa entre diferentes categorias de tipos de plantio ou monitoramento com base nas características do solo, indicando uma homogeneidade substancial no que diz respeito a essas propriedades (Figura 3).

Figura 3 - Cluster dos dados físico-químicos do solo. Cima: M1 e M2 indicam os monitoramentos; baixo: IE indica os plantios de interesse econômico e P os de preservação. Cada ponto representa uma parcela experimental.



Em relação às características do solo, estatisticamente, não houve diferença, apresentamos na Tabela 1 os resultados médios das análises das propriedades do solo para os dois tipos de plantio considerados neste estudo: 'IE' (Interesse Econômico) e 'P' (Preservação) e em suas respectivas fases de monitoramento.

As variáveis com as principais contribuições na variabilidade total dos dados no PCA foram pH, P e K, com valores de 9782,74, 608,58 e 332,52. As menores contribuições foram

percentual de matéria orgânica (m), índice de saturação do sódio (ISNa) e matéria orgânica (MO), com valores 0,11, 0,06, 0,02.

Em relação às características do solo, estatisticamente, não houve diferença, apresentamos na Tabela 1 os resultados médios das análises das propriedades do solo para os dois tipos de plantio considerados neste estudo: 'IE' (Interesse Econômico) e 'P' (Preservação) e em suas respectivas fases de monitoramento.

As variáveis com as principais contribuições na variabilidade total dos dados no PCA foram pH, P e K, com valores de 9782,74, 608,58 e 332,52. As menores contribuições foram percentual de matéria orgânica (m), índice de saturação do sódio (ISNa) e matéria orgânica (MO), com valores 0,11, 0,06, 0,02.

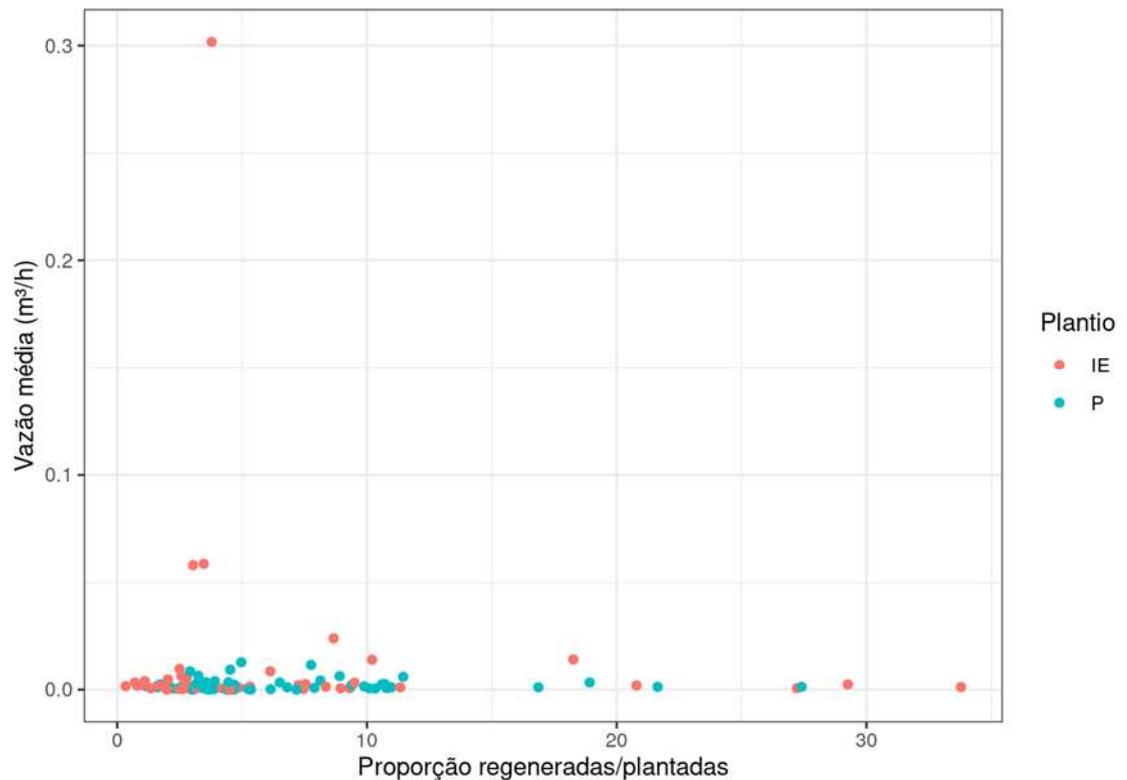
Tabela 1 – Valores médios das propriedades do solo por tipo de plantio e etapa de monitoramento

Propriedades do Solo	Plantio "IE" (Interesse Econômico)		Plantio "P" (Preservação)	
	M1	M2	M1	M2
pH	5,49	5,55	5,65	5,59
P (fósforo) mg/dm ³	3,57	3,99	7,37	7,90
K (potássio) mg/dm ³	102,72	110,71	112,04	102,39
Na (sódio) mg/dm ³	9,53	9,79	8,99	8,4
Ca (cálcio) cmol _c /dm ³	2,21	2,27	2,48	2,46
Mg (magnésio) cmol _c /dm ³	0,80	0,75	0,81	0,90
Al (alumínio) cmol _c /dm ³	0,25	0,20	0,20	0,27
H+Al (hidrogênio de alumínio) cmol _c /dm ³	3,93	4,39	3,79	3,02
SB (soma de bases) cmol _c /dm ³	3,54	3,34	3,60	3,93
Sbt (soma de bases trocáveis) cmol _c /dm ³	3,56	3,54	3,81	3,90
SBT (soma de bases totais) cmol _c /dm ³	7,25	7,73	7,50	6,81
V (percentagem de saturação por bases) %	44,48	44,66	51,02	52,77
m (matéria orgânica) %	12,43	9,31	7,42	10,77
ISNa (índice de saturação por sódio) %	1,65	1,55	1,36	1,42
MO (matéria orgânica) dag/kg	3,20	3,40	3,14	2,80

Devido à mortalidade, foram replantadas em média 95 mudas em cada área, sendo que em 22 parcelas não houve a necessidade. Não houve efeito do replantio ou da proporção de

mudas regeneradas/plantadas entre os plantios e na vazão, pois o modelo não diferenciou do modelo nulo ($p=0,85$, $F=0,155$) (Figura 4).

Figura 4 - Relação entre a proporção de mudas regeneradas e plantadas com a vazão média e os plantios de interesse econômico (IE) e preservação (P). Cada ponto representa uma parcela experimental.



4. DISCUSSÃO

Este trabalho teve como objetivo analisar o impacto, em curto prazo, de dois diferentes métodos de plantio na restauração de nascentes. A hipótese inicial sugeria que, devido ao intervalo entre as medições (um ano) não haveria diferenças na vazão e turbidez ou das características do solo em função dos tipos de plantio. Esperava-se que quaisquer variações pudessem ser predominantemente atribuídas à mortalidade das mudas do plantio, e/ou pelo aumento da demanda hídrica promovida pelas mudas.

Apesar da diminuição da turbidez em ambos os tratamentos, os resultados não foram estatisticamente significativos, provavelmente devido ao curto período entre o plantio e os monitoramentos. Surpreendentemente, houve uma diferença significativa na vazão das nascentes entre os tratamentos: o plantio de preservação (P) apresentou aumento na vazão, enquanto o plantio de espécies com interesse econômico (IE) permaneceu estável.

Não foram identificadas diferenças significativas nas propriedades físico-químicas dos solos entre os métodos de plantio ou entre períodos de monitoramento. A duração necessária

para detectar essas mudanças é incerta, uma vez que fatores como geologia, perturbações prévias e o histórico de uso do solo antes do plantio podem ter influência direta sobre essas mudanças (RYGIEWICZ et al., 2010). Portanto, é provável que as alterações que possam surgir nas características do solo só poderão ser observadas ao longo do tempo e nos próximos monitoramentos.

Em processos de reflorestamento, no geral, são adotadas medidas para a melhoria das propriedades do solo, como na capacidade de retenção e infiltração da água (PRUSKI, 2009). Contudo, apesar de tais medidas, o aumento do consumo de água pelas plantas pode superar a disponibilidade, pois a evapotranspiração representa cerca de 70% do ciclo hidrológico (MELLO; SILVA, 2013). Este aumento na evapotranspiração, por sua vez, dificilmente aumenta o volume de chuva na mesma bacia hidrográfica, a menos que a área da bacia hidrográfica seja muito extensa. Em uma extensão de 500 km, apenas cerca de 8,9% da precipitação total sobre a superfície terrestre são provenientes de evapotranspiração dentro da mesma área (ELLISON et al., 2012). Desta forma, o esperado é que haja uma diminuição da vazão em uma bacia em função do aumento da cobertura arbórea.

É importante destacar que, neste estudo, as áreas analisadas são de nascentes abastecidas pela infiltração da água no solo. Diversos trabalhos verificaram que o aumento da floresta nativa contribuiu para a diminuição do escoamento superficial, devido à capacidade das florestas em interceptar a precipitação, reduzindo a perda de água e de solo através do escoamento. A maior densidade de plantas também favorece, por meio da interceptação, uma maior infiltração de água no solo, aumentando os processos de percolação e recarga dos aquíferos (MAGALHÃES et al., 2018).

Ao analisar o tratamento de interesse econômico (IE), em comparação com o tratamento de preservação (P), observamos que não houve alteração na vazão, nem diferenças nas características do solo, e também não observamos nenhum impacto significativo da precipitação, mortalidade das mudas ou proporção de mudas regeneradas/plantadas entre os dois tratamentos. Assim, considerando nossas análises, as únicas variáveis explicativas que apresentaram diferenças foram o intervalo de tempo entre o plantio e o monitoramento, e as espécies plantadas nos tratamentos IE e P.

Uma hipótese inicial que pode ser considerada para explicar esse resultado é que as espécies usadas nos plantios de interesse econômico (IE) podem apresentar, neste primeiro momento, uma demanda hídrica mais elevada, devido ao ciclo de vida mais curto (WHITEHEAD; BEADLE, 2004). Além disso, fatores como a taxa de crescimento das mudas

e as mudanças na cobertura vegetal podem influenciar na capacidade de infiltração no solo, observado especialmente no tratamento de preservação (P) (PRUSKI, 2009; ARAÚJO et al., 2019; BLAINSKI et al., 2020). Corroborando, FERREIRA et al. (2007) observaram aumento no crescimento de espécies de ciclo longo após 58 meses, enquanto a maioria das espécies pioneiras e de ciclo curto apresentou redução no ritmo de crescimento após este período. Provavelmente, a situação da vazão irá se alterar com o avanço nos estágios de regeneração das áreas tratadas.

Os ecossistemas naturais desempenham um papel crucial na regulação do microclima, no controle do fluxo dos rios e nos ciclos biogeoquímico. No entanto, apesar de as relações entre a cobertura da terra e a produção hídrica serem extensivamente estudadas e razoavelmente compreendidas pelos hidrólogos, ainda há uma lacuna na sua assimilação por outras disciplinas científicas e na compreensão adequada por parte dos tomadores de decisão e da sociedade em geral. O equívoco no entendimento das questões hídricas muitas vezes deriva de mitos difundidos, como a crença de que florestas geram água ou têm o poder de invocar chuvas. No entanto, a ciência tem demonstrado que, na maioria das vezes, o funcionamento hidrológico dos ecossistemas é muito diferente do que prega o senso comum (HONDA; DURIGAN, 2017). Assim, estudos que avaliem a variação no tempo das inter-relações, desde o início das ações, entre projetos de restauração florestal e recursos hídricos são de grande importância para o melhor entendimento dos resultados esperados.

O papel da restauração na produção de água em uma bacia hidrográfica deve ser definido com base no serviço ecossistêmico esperado e, conforme demonstrado, não se deve esperar aumento da produção hídrica como um dos serviços prestados pela floresta. Ao contrário, o decréscimo na produção hídrica, devido à presença da floresta, pode representar o custo associado aos demais serviços ecossistêmicos oferecidos, como a fixação de carbono, o controle da erosão superficial, a regulação do fluxo dos rios, a ciclagem biogeoquímica e a melhoria da qualidade da água e do microclima (HONDA; DURIGAN, 2017). Esses benefícios podem ser mais valiosos para as bacias de contribuição de reservatórios de produção energética do que um aumento momentâneo de vazão durante a época chuvosa, seguido por uma diminuição drástica na estiagem, como comumente observado em grandes sistemas de produção.

A eficácia das estratégias de conservação e restauração florestal em ambientes rurais é um tema recorrente na literatura acadêmica e não acadêmica. A eficácia dessas estratégias é influenciada diretamente pelo contexto socioeconômico e cultural do ambiente rural

(SALOMÃO et al., 2022). Desta forma, o plantio de espécies com interesse econômico, que não alterou a vazão das nascentes em curto prazo, pode fornecer serviços ecológicos, como a fixação de carbono, ciclagem biogeoquímica e melhorias microclimáticas e de habitats. Além disso, contribui para melhorar a eficiência e vida útil de reservatórios para a produção de energia, reduzindo a erosão que afeta as redes de transmissão e assoreia os corpos hídricos, diminui os déficits na estiagem pela regulagem da vazão, e propicia um atrativo econômico para os pequenos produtores.

O monitoramento continuará para aprimorar a compreensão das relações entre uso e cobertura do solo e os serviços ecossistêmicos prestados. A restauração de nascentes é um processo complexo com metas de longo prazo, e embora algumas melhorias possam ser notadas em meses, aumentos significativos e constantes demandam tempo para a observação. Uma revisão de CROUZEILLES et al. (2016) compilou dados de vários projetos de restauração de nascentes, indicando aumentos no fluxo na maioria dos casos, mas com escalas de tempo variando de meses a décadas. Para os autores, fatores específicos como o tamanho do aquífero, fragmentação da paisagem e a gravidade da perturbação anterior parecem ser fatores cruciais.

5. CONCLUSÃO

Com base nos resultados deste estudo, destaca-se que, após um ano da implementação do projeto de restauração florestal em áreas de nascentes com plantios de espécies de interesse econômico e espécies nativas para preservação, foi observado que:

- Não foram identificadas alterações significativas na turbidez da água e nas características dos solos entre os dois tratamentos investigados;
- A vazão das nascentes não apresentou variações significativas com o plantio de espécies de interesse econômico. No entanto, foi observado um aumento na vazão das nascentes que receberam plantio de espécies nativas para preservação;
- A análise indicou que a precipitação, a mortalidade das mudas e as características do solo não apresentaram influência significativa nos resultados obtidos.
- O plantio de espécies com interesse econômico emergiu como um potencial atrativo para pequenos produtores na região. Isso sugere uma conexão entre a restauração ambiental, a promoção de serviços ecossistêmicos e benefícios socioeconômicos para a comunidade local.

6. AGRADECIMENTOS

O estudo em questão faz parte como produto do Projeto pertencente ao Programa de P&D regulado pela ANEEL, Nº 00394-2103/2021, com o título: “Utilização de Inteligência Artificial no Desenvolvimento de Metodologias Inovadoras de Recuperação e Proteção de Nascentes e Áreas Degradadas em Zonas de Recargas de Aquíferos Contribuintes dos Reservatórios das UHE’s Furnas e Peixoto”. Esse Projeto de P&D foi desenvolvido por Furnas Centrais Elétricas S/A juntamente com a empresa Ingá Engenharia e Consultoria Ltda.

7. REFERÊNCIAS

ARAÚJO, F.; SILVA JUNIOR, M.; UCKER, F.; ALONSO, R.; SILVA, M. Recuperação de duas nascentes do Rio Uru para aumento de vazão para abastecimento rural, no município da cidade de Goiás - GO. **Revista Uniaraguaia**, v.14, n.3, p.93-99, 2019.

BLAINSKI, É.; SILVEIRA, F. A.; CONCEIÇÃO, G.; GARBOSSA, L. H. P.; VIANNA, L.F. Simulação de cenários de uso do solo na bacia hidrográfica do rio Araranguá utilizando a técnica da modelagem hidrológica. **Agropecuária Catarinense**, v.24, n.1, p.65–70, 2020.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2029**. Brasília: MME/EPE, 2020. 393 p.

CERQUEIRA, M. C.; MATRICARDI, E. A. T.; SCARIOT, A. O.; OLIVEIRA, C. H. Fragmentação da paisagem no entorno e na Reserva de Desenvolvimento Sustentável Nascentes das Geraizeiras, Minas Gerais. **Ciência Florestal**, v.31, n.2, p.607-633, 2021.

COSTA, P.; BARROSO, G. R.; OLIVEIRA, K. L.; STARLING, M. C. V. M.; OLIVEIRA, S. Dinâmica espaço-temporal da qualidade das águas superficiais de dois grandes reservatórios de usinas hidrelétricas brasileiras. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.27, n.5, p.893-907, 2022.

CRAWLEY, M. J. **Statistical Computing: An Introduction to Data Analysis using S-Plus**. Wiley, 2002.

CROUZEILLES, R.; CURRAN, M.; FERREIRA, M. S.; LINDENMAYER, D. B.; GRELE, C. E. V.; BENAYAS, J. M. R. A global meta-analysis on the ecological drivers of forest restoration success. **Nature Communications**, v.7, e11666, 2016.

DARONCO, C.; MELO, A.C.G.D.; MACHADO, J.A.R. Consórcio de espécies nativas da floresta estacional semidecidual com mandioca (*Manihot sculenta* Crantz) para restauração de mata ciliar. **Revista Árvore**, v.36, n.2, p.291-299, 2012.

FERREIRA, W.C.; BOTELHO, S.A.; DAVIDE, A. C.; FARIA, J.M.R. Avaliação do crescimento do estrato arbóreo de área degradada revegetada à margem do Rio Grande, na Usina Hidrelétrica de Camargos, MG. **Revista Árvore**, v.31, n.1, p.177-185, 2007.

HONDA, E. A.; DURIGAN, G. A restauração de ecossistemas e a produção de água. **Hoehnea**, v.44, n.3, p.315-327, 2017.

KÄNDLER, M.; BLECHINGER, K.; SEIDLER, C.; PAVLŮ, V.; ŠANDA, M.; DOSTÁL, T.; KRÁSA, J.; VITVAR, T.; ŠTICH, M. Impact of land use on water quality in the upper Nisa catchment in the Czech Republic and in Germany. **Science of the Total Environment**, v. 586, p. 1316-1325, 2017.

Kassambara, A. **Practical guide to cluster analysis in R: Unsupervised machine LEARNING**. Sthda, 2017.

LIU, X.; ZHANG, G.; SUN, G.; WU, Y.; CHEN, Y. Assessment of lake water quality and eutrophication risk in an agricultural irrigation area: a case study of the Chagan Lake in Northeast China. **Water**, v. 11, n. 11, p. 2380, 2019.

MAGALHÃES, A. G.; MONTENEGRO, A. A. DE A.; ANDRADE, C. W. L.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; JÚNIOR, R. V. P. F. Hydrological modeling of an experimental basin in the semiarid region of the Brazilian State of Pernambuco. **Ambiente & Água**, v.13, n.6, e2204, 2018.

MELLO, C. R.; SILVA, A. M. **Hidrologia: princípios e aplicações em sistemas agrícolas**. Lavras: Editora UFLA, 455p., 2013.

OLIVEIRA, T. J. F.; BARROSO, D. G.; ANDRADE, A. G.; FREITAS, S. J. Consórcio de espécies nativas da Mata Atlântica com milho e feijão para revegetação de mata ciliar na região Noroeste Fluminense. **Floresta**, v.46, n.3, p.315-324, 2016.

Perini, M.; Souza, M.L.; Filho, J.P. de L. Forest restoration in old pasture areas dominated by *Urochloa brizantha*. **Ciência Florestal**, v.33, n.1 e65858, 2023.

PIAIA, B. B.; ROVEDDER, A. P. M.; GIACOMINI, I. F.; FELKER, R. M.; STEFANELLO, M. DE M.; CAMARGO, B.; PROCKNOW, D.; CRODA, J. P. Short-term effects of passive restoration in springs habitats in Southern Brazil. **Ciência Rural**, v.51, n.8, e20190791, 2021.

PRUSKI, F. F. **Conservação de solo e água**. 2. ed. Viçosa: Editora UFV, Viçosa, 279 p., 2009.

R CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2021. URL <https://www.R-project.org/>.

RODRIGUES, E. R.; JÚNIOR, L. C.; MOSCOGLIATO, A. V.; BELTRAME, T. P. O uso do sistema agroflorestal Taungya na restauração de reservas legais: indicadores econômicos. **Floresta**, v.38, n.3, p.517-525, 2008.

RYGIEWICZ, P.; MONLEON, V.; INGHAM, E.; MARTIN, K.; JOHNSON, M. Soil life in reconstructed ecosystems: Initial soil food web responses after rebuilding a forest soil profile for a climate change experiment. **Applied Soil Ecology**, v.45, p.26-38, 2010.

SALOMÃO, C. DE S. C.; LIMA, L. S. DE; RAJÃO, R. G. L. Willingness to adopt voluntary and compulsory forest restoration practices by rural landowners in the central Rio Doce basin – MG. **Ambiente & Sociedade**, v.25, p.1-29, 2022.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A. I.; TEIXEIRA W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. 3ª ed. Brasília: EMBRAPA Solos, 574p., 2017.

WHITEHEAD, D.; BEADLE, C. L. Physiological regulation of productivity and water use in Eucalyptus: a review. **Forest ecology and management**, v.193, n.1-2, p.113-140, 2004.