



UNIVERSIDADE FEDERAL DO SUL DA BAHIA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS
AMBIENTAIS

CESAR AUGUSTO REIS DOS SANTOS

**TRANSPIRAÇÃO PELO MÉTODO DE DISSIPACÃO
TÉRMICA EM EUCALIPTO**

PORTO SEGURO - BA

2023

CESAR AUGUSTO REIS DOS SANTOS

**TRANSPIRAÇÃO PELO MÉTODO DE DISSIPACÃO TÉRMICA EM
EUCALIPTO**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologias Ambientais da Universidade Federal do Sul da Bahia e do Instituto Federal de Ciências, Educação e Tecnologia da Bahia - IFBA, vistas à obtenção do título de mestre em Ciências e Tecnologias Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Fabrício Berton Zanchi

PORTO SEGURO - BA
2023

Catálogo na Publicação (CIP)
Universidade Federal do Sul da Bahia (UFSB)
Sistema de Bibliotecas (SIBI)

S237t Santos, Cesar Augusto Reis dos, 1989 -
 Transpiração pelo método de dissipação térmica em eucalipto. / Cesar
 Augusto Reis dos Santos. – Porto Seguro, 2023.
 37 f.

Orientador: Prof. Dr. Fabrício Berton Zanchi
 Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Sul da Bahia. Centro de
 Formação em Ciências Ambientais. Programa de Pós-Graduação em Ciências e
 Tecnologias Ambientais. Campus Sosígenes Costa.

1. Eucalyptus. 2. Fluxo de Seiva. 3. Granier (Método). I. Zanchi, Fabrício
 Berton. II. Título.

CDD – 581.129

**ATA DE DEFESA PÚBLICA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO
NO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU*
EM CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS AMBIENTAIS**

Aos 28 dias do mês de Fevereiro do ano de 2023, às 14h06, via webconferência, por meio da sala virtual com link de transmissão <https://meet.google.com/tri-vfdo-ojk>, reuniram-se os/as membros/as da banca examinadora composta pelos docentes Dr. Fabrício Berton Zanchi (orientador e presidente da banca), Dr. Gleidson Vieira Marques (membro externo ao Programa), Dra. Cátia Dias do Carmo (membra externa ao Programa) e Dra. Rita de Cassia Silva Von Randow (membra externa ao Programa), a fim de argüirem o mestrando Cesar Augusto Reis dos Santos na defesa de sua dissertação de mestrado, cujo trabalho de pesquisa intitula-se “**Transpiração pelo método de dissipação térmica em eucalipto**”. Aberta a sessão pelo presidente da mesma, coube ao candidato, na forma regimental, expor o tema de sua dissertação, dentro do tempo regulamentar, sendo em seguida questionado pelos/as membros/as da banca examinadora, tendo dado as explicações que foram necessárias. Após reunião em sessão secreta, os/as membros/as da banca consideraram a dissertação:

(x) Aprovada () Reprovada

BANCA EXAMINADORA:

Documento assinado digitalmente
 **FABRICIO BERTON ZANCHI**
Data: 28/02/2023 17:56:10-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Dr. Fabrício Berton Zanchi
(IFBA/UFSB/PPGCTA)
Orientador e Presidente da banca

Documento assinado digitalmente
 **CATIA DIAS DO CARMO**
Data: 28/02/2023 19:39:57-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Dra. Cátia Dias do Carmo
(UFRB)
Membra externa

Documento assinado digitalmente
 **GLEIDSON VIEIRA MARQUES**
Data: 03/03/2023 10:02:07-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Dr. Gleidson Vieira Marques
(UFSB-CFCAm)
Membro externo

Documento assinado digitalmente
 **RITA DE CASSIA SILVA VON RANDOW**
Data: 02/03/2023 18:09:11-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Dra. Rita de Cassia Silva Von Randow
(FATEC)
Membra externa

Documento assinado digitalmente
 **CESAR AUGUSTO REIS DOS SANTOS**
Data: 24/03/2023 14:44:25-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Cesar Augusto Reis dos Santos

Webconferência, 28 de Fevereiro de 2023.

Dedico este trabalho ao meu pai Pr. José Geraldo que sempre me apoiou e me ensinou os valores importantes desta vida.

À minha mãe Elza Reis (*in memoriam*) pelos ensinamentos e por ter cuidado de mim até o último instante de sua vida.

Aos meus irmãos Silas Reis e Filipe Reis, por acreditarem e me incentivarem. Tenho orgulho e profunda admiração por vocês.

Aos meus avós Elita e Pr. Germano, Antônio (*in memoriam*) e Maria (*in memoriam*).

À todos meus familiares.

À minha esposa Nataly Peixoto, que sempre me incentivou e foi uma companheira para todas as horas.

À minha filha Maya Reis.

Aos meus sogros Eliana Peixoto e Jonas Peixoto, por confiar, acreditar e incentivar em todos os momentos.

À gerente do CEP SENAC Porto Seguro Nanci Costa e toda equipe, que possibilitou que esta jornada iniciasse lá na graduação. Dias de muito aprendizado e grandes recordações.

Aos professores que marcaram minha vida com seus ensinamentos, dedicação e incentivo, desde o ensino fundamental na pessoa da professora Ivonete, Irene e Angélica. No ensino médio na pessoa dos professores Otávio, Rita, Cacilda, Rubens, até a graduação na pessoa de MSc. Douglas Teodoro (bixão), Douglas Bouças (capetinha), MSc. Kênia, Dra. Catia, MSc. Satiro, MSc. Mayara, Dra. Roberta, Dr. Carlos, MSc. Paulo (PP), MSc. Rute, MSc. Geovania, MSc. Críjina, MSc. João Veridiano, Dr. Neidinha, Dr. José André, e em especial ao Dr. Diogo Novais pela orientação, dedicação e amizade. Os demais professores, embora não citados, também sou muito grato.

Aos meus amigos acadêmicos MSc. Bianca Rocha, Mestrando Alan, Bia e Cimar. Meus colegas de IFBA turma 2012, em especial Carleone e Mestranda Sílvia Horochoski por sempre estarem disponíveis e solícitos.

Aos meus amigos e irmãos da PIB de Santa Cruz Cabrália.

Ao Pr. Expedito Ribeiro pelas palavras de incentivo e liderança espiritual.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus por estar presente em todos os momentos da minha vida, me capacitando, direcionando e permitindo realizações incríveis.

Ao Prof. Dr. Fabrício Berton Zanchi, pelos ensinamentos, dedicação e amizade.

À equipe do laboratório Ecohidrologia do CFCAm-UFSB.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologias Ambientais - PPGCTA pela formação acadêmica e recursos para a realização deste trabalho.

Aos professores do PPGCTA que nos guiaram por esta jornada.

À UFSB pela licença e auxílio capacitação, bem como formação de excelência.

Ao setor de Meio Ambiente Florestal da empresa Suzano Celulose pelo apoio logístico disponibilizado para as coletas de dados.

Ao proprietário da fazenda Bela Vista, o Sr. João, que gentilmente cedeu a área para realização do projeto.

Aos servidores TAEs da UFSB que com muita flexibilidade e disponibilidade nos apoiou em todo momento. Em especial ao coordenador de campus Fagner e a equipe do setor de Tecnologia da Informação do Campus Sosígenes Costa.

Aos funcionários terceirizados da UFSB e em especial os motoristas Robério e Elmaks.

Lança o teu pão sobre as águas, porque depois de muitos dias o acharás.

Eclesiastes 11:1

RESUMO

SANTOS, Cesar Augusto Reis dos. **Transpiração pelo método de dissipação térmica em Eucalipto**. 2023. 56 f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologias Ambientais) – Universidade Federal do Sul da Bahia; Instituto Federal de Educação, Ciência e tecnologia , Porto Seguro - Ba, 2023.

O método de fluxo de seiva de Granier tem se mostrado um importante instrumento para estimar a transpiração em plantas lenhosas. O presente trabalho objetivou estimar a transpiração em dois tipos de clones (VCC0865 e CO1407) do híbrido de *Eucalyptus grandis* × *Eucalyptus urophylla*, para compreender a eficiência e os padrões do uso da água no ecossistema de silvicultura. O experimento foi realizado em uma fazenda de eucalipto na cidade de Porto Seguro, localizada no Extremo Sul da Bahia. O espaçamento entre as árvores foi de 3,60 m × 2,50 m. As medições de fluxo de seiva foram realizadas diariamente, entre os meses de fevereiro a dezembro de 2022, utilizando-se 10 sensores instalados nos troncos das árvores, conforme o método de dissipação térmica de Granier. Os dados das variáveis foram registrados no sistema *datalogger* modelo CR10X. Concluída a fase de coleta foi realizada uma análise descritiva e também um estudo de regressão para avaliar as relação entre as variáveis. Os resultados obtidos indicaram que o início do período de transpiração dos clones ocorreu próximo às 07h. Em dias chuvosos, constatou-se uma menor transpiração em ambos os clones. Não houveram alterações significativas no fluxo de seiva entre os períodos de seca e chuvoso. Constatou-se também para o clone VCC0865 uma taxa de transpiração de 43% maior na média diária em relação ao clone CO1407, sendo 59,77 L dia⁻¹ e 41,76 L dia⁻¹ respectivamente. O ajuste da equação de Granier proposta por Rojas-Delgado (2010) mostrou-se eficaz para a estimativa da transpiração em espécies de eucalipto. O presente trabalho é um importante instrumento para contribuir com informações sobre a transpiração em silvicultura de eucalipto no Extremo Sul da Bahia, pois existem poucos estudos sobre a temática e dado a importância da atividade na região.

Palavras-chave: *Eucalyptus*, Fluxo de seiva, Granier.

ABSTRACT

SANTOS, Cesar Augusto Reis dos. **Transpiration by thermal dissipation method in *Eucalyptus***. 2023. 56 f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologias Ambientais) – Universidade Federal do Sul da Bahia; Instituto Federal de Educação, Ciência e tecnologia , Porto Seguro - Ba, 2023.

The Granier sap flow method has proven to be an important tool for estimating transpiration in woody plants. This study aimed to estimate transpiration in two types of clones (VCC0865 and CO1407) of the *Eucalyptus grandis* × *Eucalyptus urophylla* hybrid, in order to understand water use efficiency and patterns in the silviculture ecosystem. The experiment was conducted on a eucalyptus farm in the city of Porto Seguro, located in the far south of Bahia, Brazil. The spacing between trees was 3.60 m × 2.50 m. Sap flow measurements were taken daily from February to December 2022, using 10 sensors installed on the tree trunks, following the Granier thermal dissipation method. The variable data were recorded using a CR10X datalogger system. After the data collection phase, a descriptive analysis and regression study were conducted to evaluate the relationships between variables. The results indicated that transpiration in the clones typically began around 7 a.m. On rainy days, lower transpiration rates were observed in both clones. There were no significant changes in sap flow between dry and rainy periods. It was also found that clone VCC0865 had an average daily transpiration rate 43% higher than clone CO1407, with rates of 59.77 L day⁻¹ and 41.76 L day⁻¹, respectively. The Granier equation proposed by Rojas-Delgado (2010) proved to be effective for estimating transpiration in eucalyptus species. This study serves as an important contribution to understanding transpiration in eucalyptus silviculture in the far south of Bahia, as there is limited research on this topic despite the region's significance in the industry.

Keywords: *Eucalyptus*, SapFlow, Granier.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Ilustração simplificada do Ciclo Hidrológico	19
Figura 2	– Ilustração teoria coesão-tensão	22
Figura 3	– Área de estudo	27
Figura 4	– Sensor de fluxo de seiva, conforme GRANIER (1985), onde Tc é a sonda aquecida e Tb a não-aquecida. Observa-se, também, detalhes da sonda aquecida, bem como das conexões elétricas	30
Figura 5	– Diagrama das interconexões conforme aplicada em campo	31
Figura 6	– A) Fazenda Bela Vista, B) Vista aérea superior, C) Datalogger, D) Operação em campo e E) Coleta dos dados.	32
Figura 7	– Estação de observação de dados meteorológicos automáticas do INMET localizada na cidade de Porto Seguro - BA	33
Figura 8	– Dados da Precipitação, Radiação e Temperatura média medidos pela estação automática do INMET no período de abril a dezembro de 2022 em Porto Seguro - BA	37
Figura 9	– a) Temperatura do ar mínima, média e máxima, b) Umidade Relativa do ar mínima, média e máxima, observados pela estação automática do INMET, no município de Porto Seguro - BA em 2022.	38
Figura 10	– Direção dos ventos e velocidade medidos pela estação automática do INMET no período de abril a dezembro de 2022 no município de Porto Seguro - BA	39
Figura 11	– Média do fluxo de seiva diário no período de seca que compreende os meses de maio a outubro e chuvoso novembro a abril no município de Porto Seguro - BA em 2022.	40
Figura 12	– Média diária do fluxo de seiva dos clones CO1407 e VCC0865.	42
Figura 13	– Média mensal do fluxo de seiva de março a dezembro de 2022.	44
Figura 14	– Relação entre o fluxo de seiva e a Precipitação, Radiação, Umidade Relativa, Temperatura, para o clone CO1407.	45
Figura 15	– Relação entre o fluxo de seiva e a Precipitação, Radiação, Umidade Relativa, Temperatura, para o clone VCC0865.	46

LISTA DE TABELAS

1	Atributos químicos do solo da área experimental	p. 28
2	Atributos Físicos do solo da área experimental.....	p. 29
3	Espécies utilizadas	p. 29
4	Variáveis climáticas medidas na estação automática do INMET em Porto Seguro - BA	p. 34
5	Velocidade média, máxima e rajadas de vento do município de Porto Seguro - BA, 2022.....	p. 40
6	Média mensal do fluxo de seiva em litros entre março a dezembro de 2022.	p. 43
7	Projeção da quantidade de água em m ³ transferida para a atmosfera em relação a área	p. 47

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 OBJETIVOS	14
1.1.1 Objetivo Geral	14
1.1.2 Objetivos Específicos	14
2 REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1 BREVE HISTÓRICO DOS CICLOS ECONÔMICOS NO EXTREMO SUL DA BAHIA	15
2.1.1 Cana-de açúcar e Cacau	15
2.1.2 Eucalipto	16
2.2 CARACTERÍSTICAS DO GÊNERO <i>Eucalyptus</i>	17
2.3 PROCESSOS BÁSICOS DO CICLO HIDROLÓGICO	18
2.4 TRANSPIRAÇÃO NAS PLANTAS	21
2.5 FATORES QUE AFETAM A TRANSPIRAÇÃO	23
2.6 MODELOS DE FLUXO DE SEIVA	24
2.6.1 Método de balanço de calor	24
2.6.2 Métodos de pulso de calor	25
2.6.3 Método de dissipação térmica (Granier)	25
3 MATERIAL E MÉTODOS	27
3.1 ÁREA DE ESTUDO	27
3.1.1 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	29
3.2 DETERMINAÇÃO DO FLUXO DE SEIVA	29
3.3 CÁLCULO DO FLUXO DE SEIVA PELO MÉTODO DE GRANIER	30
3.4 VISITAS EM CAMPO	32
3.5 DADOS METEOROLÓGICOS	32
3.6 CÁLCULO DA ESTIMATIVA DA QUANTIDADE DE ÁGUA TRANSPIRADA PELO CULTIVO DE EUCALIPTO	34
3.7 REGRESSÃO LINEAR	36
4 RESULTADOS	37
4.1 DADOS METEOROLÓGICOS DO EXPERIMENTO	37
4.1.1 Precipitação	37
4.1.2 Temperatura e Umidade Relativa do Ar	38
4.1.3 Velocidade e direção dos ventos	39
4.2 DADOS DO FLUXO DE SEIVA	40
4.2.1 Transpiração do Eucalipto nos períodos de seca e chuvoso	40
4.2.2 Transpiração do Eucalipto Clone VCC0865 e CO1407	42
4.2.3 Média mensal do Fluxo de Seiva Clones VCC0865 e CO1407	43
4.2.4 Transpiração em plantas de eucalipto pertencentes ao clone CO1407	45
4.2.5 Transpiração em plantas de eucalipto pertencentes ao clone VCC0865	46
4.3 CONTRIBUIÇÕES DA ESPÉCIE <i>Eucalyptus grandis</i> × <i>E. urophylla</i> PARA O CICLO HIDROLÓGICO NO MUNICÍPIO DE PORTO SEGURO E REGIÃO	47

5 CONCLUSÃO	49
REFERÊNCIAS	50

1 INTRODUÇÃO

Estima-se que existam no mundo aproximadamente 800 espécies de eucalipto, destas 102 espécies já foram introduzidas e cultivadas no Brasil (FLORA, 2020). Segundo o relatório anual das Indústrias Brasileiras de Árvores - IBÁ, o plantio de eucalipto no país, em 2019, alcançou aproximadamente 9 milhões de hectares (IBÁ, 2020), sendo pioneiro no sistema de propagação clonal para a plantação de alta produtividade (FLORES et al., 2016).

O cultivo do eucalipto alimenta uma cadeia produtiva variada, sendo usado principalmente para a produção de papel e celulose, madeira laminada, serrada ou em toras, carvão e lenha, bem como em óleos essenciais (AMORIM, 2016).

Além de matéria-prima para diversos segmentos da indústria, a floresta de eucalipto oferece vários serviços ecossistêmicos, contribuindo principalmente para a retirada de carbono da atmosfera, amenizando os efeitos do aquecimento global (POORTER et al., 2021; BESLITY et al., 2022). Estas florestas também contribuem para produção de chuvas, transferindo água do solo para atmosfera e assim cooperando com o ciclo hidrológico da região em que está inserida (SCHLESINGER; JASECHKO, 2014).

No Extremo Sul da Bahia, as indústrias de papel e celulose começaram os plantios de eucalipto, reflorestando principalmente terras já desmatadas e degradadas com a exploração de madeiras nativas da mata atlântica, e posteriormente pela utilização da agropecuária (BOSI et al., 2020; ALMEIDA et al., 2011). Nesta região, na década de 1980, estas indústrias expandiram suas atividades, incentivadas pelas condições edafoclimáticas favoráveis, disponibilidade de grandes extensões de terras e mão de obra barata, além de um plano de desenvolvimento amparado pelo governo (CERQUEIRA NETO, 2012; MEDEIROS et al., 2021). Quatro décadas depois, a região se torna uma das principais produtoras de papel e celulose do país (SEI, 2020).

Segundo Costa e Oliveira (2019), o grande desafio para esta atividade econômica é tornar a produção mais sustentável, onde os serviços ecossistêmicos oferecidos por esta cultura e a sua importância comercial, equilibre o uso dos recursos naturais necessários para o manejo e produção do mesmo. Para tanto, existe uma expressiva quantidade de estudos desenvolvidos relacionados à nutrição florestal em plantações de eucalipto (STAPE et al., 2004; LACLAU et al., 2005; SILVA et al., 2012; SETTE et al., 2014; FLORENTINO

et al., 2022), porém, ainda há poucos estudos relacionados a quantidade e a eficiência do uso da água neste cultivo (WULLSCHLEGER et al., 2011).

Para compreender o uso e a eficiência da água em uma floresta, existem várias metodologias para medição e estimativa. Venancio et al. (2019) apresenta algumas delas: Lisimetria (LIS), Covariância de Vórtices Turbulentos (CVT), balanço de energia pelo método da razão de Bowen (RBBE), Modelos de Fluxo de Seiva (MFS) que inclui as metodologias de balanço de energia, pulso de calor e dissipação térmica, dentre outras.

Embora exista esta variedade de sistemas para medição, em sua maioria, ainda há uma complexidade na precisão dos resultados, além dos custos elevados para realização dos experimentos, o que implica em poucos estudos nesta área (BESLITY et al., 2022). Neste trabalho utilizou-se o MFS desenvolvido por Granier (1985), devido ao custo/benefício e otimização de recursos. Além disso, estudos apresentaram resultados satisfatórios com o uso desta metodologia (DELGADO-ROJAS et al., 2006; VELLAME et al., 2009; GENTIL, 2010; BESLITY et al., 2022).

Deste modo, este trabalho buscou estimar a taxa de transpiração em árvores de eucalipto, utilizando a metodologia de dissipação térmica para estimação do fluxo de seiva, bem como compreender a eficiência do uso da água na produção de eucalipto do município de Porto Seguro no Extremo Sul da Bahia.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Estimar a transpiração de árvores em dois clones da espécie híbrida *Eucalyptus grandis* × *Eucalyptus urophila*, utilizando medições de fluxo de seiva para compreender a eficiência e os padrões do uso da água em ecossistema florestal de silvicultura.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Medir o fluxo de seiva do eucalipto utilizando a metodologia de dissipação térmica para estimar a transpiração;
- Entender as taxas de transpiração em relação as estações do ano;
- Entender como as variáveis físicas como temperatura e umidade relativa do ar controlam a transpiração do ecossistema florestal em silvicultura;
- Estimar a contribuição desta cultura com o ciclo hidrológico na região do extremo sul da Bahia.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 BREVE HISTÓRICO DOS CICLOS ECONÔMICOS NO EXTREMO SUL DA BAHIA

2.1.1 Cana-de açúcar e Cacau

Nos dias atuais, o ciclo econômico em evidência no Extremo Sul da Bahia é o cultivo e beneficiamento do eucalipto. No entanto, a cana-de-açúcar predominou na região, que teve início em meados do século XVI, permanecendo até a metade do século XVIII, exportando açúcar principalmente para os países da Europa (DOMPIERI et al., 2020).

Com o declínio da atividade canavieira, a região passou por um longo período de estagnação econômica, ocorrido até meados do século XIX (AGUIAR, 2019). Nesse período, outras culturas como a mandioca (*Manihot esculenta C.*), o milho (*Zea mays L.*), o feijão (*Phaseolus vulgaris L.*), além da atividade pesqueira foram iniciadas. Posteriormente foram introduzidas as culturas de algodão (*Gossypium sp.*), café (*Coffea sp.*) e cacau (*Theobroma cacao L.*), sendo que os dois últimos se destacaram economicamente (ROCHA, 2008) .

As primeiras plantações de cacau nesta região datam dos anos 1750, porém, só nos anos 1850 é que a atividade se consolidou, impulsionado pela chegada de imigrantes alemães, pelo aumento da demanda nos Estados Unidos e países da Europa, além da valorização das amêndoas de cacau no mercado internacional, em decorrência do aprimoramento das técnicas de processamento (AGUIAR; PIRES, 2019).

Em 1910 o Brasil liderava a produção mundial de cacau, período em que o produto se tornou definitivamente importante para a economia do Sul da Bahia, sendo Itabuna e Ilhéus responsáveis pela maior produção, conforme censo de 1920. Nesse período, o cacau foi responsável por 40% a 50% da receita estadual (ROCHA, 2008).

Esses ciclos econômicos foram importantes na criação de infraestrutura (ferrovias, estradas e portos) para armazenamento e escoamento da produção (DOMPIERI et al., 2020). Essas atividades abriram caminho para as exportações na região, tendo o porto do Pontal de Ilhéus como porta de saída para outros continentes (AGUIAR; PIRES, 2019). Outras atividades começaram a se desenvolver no Extremo Sul da Bahia, levando os produtores a diversificarem os cultivos, escoando os mesmos principalmente para o

sudeste, considerando a proximidade territorial (DOMPIERI et al., 2020).

Na década de 1980, a produção cacaueteira passou por uma grave crise, devido a fatores econômicos como a baixa dos preços internacionais e pela doença denominada “vassoura de bruxa” (*Moniliophthora perniciosa*). Tais fatores culminaram no fim do ciclo do cacau, levando produtores à falência e o empobrecimento da região (MARTIN NETO et al., 2016).

2.1.2 Eucalipto

No final da década de 1960, com a criação de leis de incentivos fiscais para silvicultura, visando finalidades econômicas, houve uma expansão na plantação de pinus e eucalipto em todo Brasil. Porém, somente em 1974 começaram os plantios de eucalipto no Sul e Extremo Sul da Bahia e no Norte do Espírito Santo (CERQUEIRA NETO, 2012).

Ainda na década de 1970, com a inauguração da rodovia BR-101 que liga Vitória do Espírito Santo a Salvador, a extração de madeira nativa na região do Extremo Sul da Bahia toma proporções devastadoras. A quantidade expressiva da madeira considerada nobre na região, atraiu madeireiras do norte de Minas Gerais e do Espírito Santo. A Mata Atlântica sofreu desmatamentos, sendo a vegetação nativa substituída por pastagens e monoculturas agrícolas (CERQUEIRA NETO, 2013).

Cerqueira Neto (2012) analisou três décadas da implantação das indústrias de papel e celulose no Extremo Sul da Bahia. Segundo o autor, na década de 1980, a região se tornou atrativa pelas condições climáticas favoráveis, incentivos do governo, intenção de expansão das empresas frente a alta demanda e elevada área de pastagem degradada propícia ao plantio. Começa então um novo ciclo na ocupação do solo e transformação da paisagem na região. Com a produção de papel e celulose, a região do Extremo Sul da Bahia volta a configurar a principal pauta de exportação do estado (PIRES et al., 2020).

Com a forte expansão da silvicultura na Bahia, em 2010, o estado ocupou a segunda posição no ranking nacional de produção de celulose (PIRES, 2020). Em 2014, atingiu a segunda posição em produção de madeira em toras (IBGE, 2015; PIRES, 2020). Segundo o SEI Bahia (2021), a atividade de exportação de papel e celulose gerou importantes divisas para o estado e o país. A região do Extremo Sul da Bahia e a região de Identidade Costa do Descobrimento, juntas exportaram US\$ 857,2 milhões, sendo os principais municípios exportadores Mucuri, Alcobaça, Eunápolis e Porto Seguro.

De acordo com a Associação Baiana das Empresas de Base Florestal - ABAF

(2020), os programas sociais de renda e de educação promovidos pelas empresas de base florestal, têm contribuído para o desenvolvimento e melhoria da qualidade de vida das pessoas na região. Segundo o mesmo relatório, entre 2008 a 2016, os municípios com maciço florestal apresentaram maior evolução no Índice FIRJAN de Desenvolvimento Municipal - IFDM (ABAF, 2021).

Na questão ambiental existem fortes discussões sobre os impactos do cultivo do eucalipto, principalmente nos fatores de nutrição do solo e balanço hídrico. No entanto, no Extremo Sul da Bahia, onde segundo Medeiros et al. (2021), cerca de 69% das terras já foram ocupadas por pastagens, a cultura do eucalipto vem substituindo essas áreas já desmatadas, principalmente pastagens degradadas.

Segundo a ABAF (2021), os plantios florestais são feitos em áreas já antropizadas, compondo mosaicos e fazendo a manutenção de corredores ecológicos que promovem a circulação livremente da fauna entre os fragmentos de mata atlântica, garantindo a biodiversidade. Conseqüentemente, há uma redução dos impactos ambientais em relação ao uso anterior, visíveis em um curto espaço de tempo, além de benefícios durante os períodos em que a cobertura arbórea está fechada (SANT et al., 2009; MEDEIROS et al., 2021; ABAF, 2021; SANTOS et al., 2021).

2.2 CARACTERÍSTICAS DO GÊNERO *Eucalyptus*

Encontrado naturalmente em todo continente da Oceania, o gênero *Eucalyptus* é originário da Austrália. Neste país, de acordo com o Flora (2020), ocorre de forma endêmica, compondo 80% da floresta nativa (FLORA, 2020; WFO, 2022). Segundo o World Flora Online (2022) já foram catalogadas mais de 800 espécies de eucalipto, adaptadas a diversas condições edafoclimáticas, que favoreceram a propagação por todo mundo.

O gênero *Eucalyptus* faz parte da família das Myrtaceae, ordem Myrtales das Angiospermas (FLORA, 2020). Seu nome deriva do grego: eu (bem) e kalipto (cobrir), ou seja, em tradução livre “bem coberto”, uma referência ao opérculo que cobre os órgãos reprodutores da flor formado por pétalas modificadas (WFO, 2022).

O eucalipto pode ser encontrado em forma de arbustos, porém, a maior parte do gênero constitui de árvores variando de 10 a 50 metros de altura. O fruto do eucalipto é uma cápsula, verrugosa, com aspecto lenhoso, de forma cônica, e com válvulas que se abrem para liberar as sementes. As flores são brancas e grandes (MIGACZ et al., 2018;

FLORA, 2020).

A folhagem na maioria das espécies são persistentes, embora algumas espécies tropicais na época de seca perdem suas folhas para manter a umidade da planta (CARIGNATO et al., 2019). As folhas são: glabras, ou seja, sem pelos; anfiestomáticas, apresenta estômatos em ambas as superfícies da folha; complexo estomático anomocíticos, envolvidos por células que não se diferenciam das demais da epiderme. Como é característica marcante das Myrtaceae, as folhas de *Eucalyptus* apresentam cavidades secretoras lisígenas, localizadas abaixo da epiderme e distribuídas nos tecidos parenquimáticos (RIBEIRO et al., 2021). Algumas espécies apresentam dimorfismo foliar quando jovens. As suas folhas podem ser de ovais a arredondadas, ao atingir dois anos, passando a apresentar folhas alternas, lanceoladas a falciformes, estreitas e pendidas a partir de longos pecíolos (CARIGNATO et al., 2019). O *Eucalyptus grandis* × *Eucalyptus urophylla* apresenta casca grossa, áspera, escamosa, cinza ou marrom avermelhada. As raízes podem atingir o mesmo tamanho do caule em terreno arenoso (WFO, 2022).

Cerca de 102 espécies e híbridos já foram introduzidas e cultivadas no país, dentre as mais cultivadas está o *Eucalyptus grandis*, representando mais de 55% do total plantado (FLORA, 2020).

As condições edafoclimáticas do Brasil se assemelha aos da Austrália, sendo países tropicais que estão localizados nas mesmas coordenadas de latitude e cortados pelo trópico de capricórnio. Estas condições favoreceram a adaptação do *Eucalyptus*, principalmente na região do Extremo Sul da Bahia e Sudeste do Brasil, além de algumas regiões do Sul do país (CASTRO et al., 2016).

2.3 PROCESSOS BÁSICOS DO CICLO HIDROLÓGICO

A água é a substância mais abundante na terra, cobrindo 70% da superfície, bem como compõe o corpo humano nas mesmas proporções. O ciclo da água é considerado um circuito fechado, em escala global. É a única substância que pode ser encontrada naturalmente em três formas: líquida, gasosa, ou sólida compondo o meio ambiente e/ou os seres vivos (COLLISCHONN; DORNELLES, 2013). Os processos básicos do ciclo hidrológico são identificados como: a evapotranspiração, a evaporação, a precipitação, infiltração/percolação, escoamento superficial e o escoamento subterrâneo, ilustrado na Figura 1 (TUCCI; CLARKE, 1997; HELLER L; PÁDUA, 2006; KRAMER et al., 2015;

YANG et al., 2021)

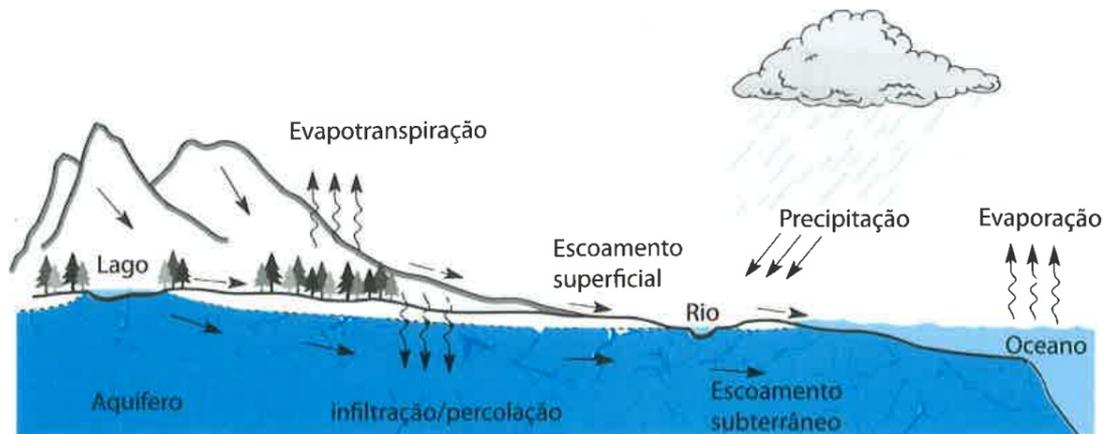


Figura 1 – Ilustração simplificada do Ciclo Hidrológico

Fonte: Collischonn e Dornelles (2013).

A evapotranspiração é a junção dos termos transpiração e evaporação. A transpiração ocorre quando a água é absorvida pelas raízes das plantas, transportada até as folhas, reintegrando a atmosfera. A evaporação acontece quando a água da chuva ou irrigação, presente na superfície do solo, próximo às plantas, ou uma superfície de água, bem como na superfície das folhas, são evaporadas sem ser usada pelas plantas (KLAR, 1984). Estima-se que a evapotranspiração das florestas são responsáveis por 40% da precipitação continental, portanto, a influência das florestas na regulação do clima é de suma importância no contexto das alterações climáticas (WANG et al., 2014; TAMADDUN et al., 2019).

As florestas, como cobertura vegetal, apresentam vantagens comparadas com outros ecossistemas. Segundo Honda (2017), a quantidade de água interceptada é significativamente maior nestas áreas. Nesse contexto, a interceptação da água pelas florestas contribui também para a manutenção das estruturas do solo, evitando erosões e sedimentos que escorram diretamente para os rios (ZANCHI et al., 2012).

Durante o processo de evaporação, a radiação solar penetra na atmosfera e incide sobre as superfícies que contêm água em estado líquido, aquecendo as moléculas. Devido à turbulência presente na atmosfera, essas moléculas adquirem energia suficiente para fazer a transição do estado líquido para o estado gasoso (ZHANG et al., 2011; ZANCHI et al., 2012). Esse fenômeno ocorre à medida que as moléculas de água ganham energia cinética e rompem as forças de coesão que as mantêm no estado líquido, permitindo que se tornem vapor e se misturem com o ar circundante (ZHANG et al., 2011; TAIZ et al., 2017).

O vapor de água, estando no estado gasoso, tem uma permanência média na atmosfera de aproximadamente 10 dias (COLLISCHONN; DORNELLES, 2013; PONTES et al., 2017). . Durante esse período, o vapor de água entra em circulação na atmosfera e, em condições propícias, pode se condensar para formar nuvens. Essa condensação ocorre quando o vapor de água se resfria e se transforma novamente em líquido, na forma de minúsculas gotas, ou em estado sólido, na forma de delicados cristais de neve. Essas gotas e cristais, em seguida, podem se unir e crescer, formando nuvens de diferentes tipos, que desempenham um papel essencial no ciclo da água e nos padrões climáticos da Terra (KLAR, 1984; REICHARDT, 1987; COLLISCHONN; DORNELLES, 2013; TAIZ et al., 2017).

A maior parte da água presente na atmosfera encontra-se em forma de vapor, à 20 °C, a quantidade máxima de vapor é de 20 g m^{-3} , acima desse limite, o volume de vapor de água atinge a saturação resultando na condensação (COLLISCHONN; DORNELLES, 2013; WANG et al., 2014). Em certas condições, as gotículas em suspensão presentes nas nuvens se chocam e ao atingirem peso suficiente para vencer as correntes de ar que as sustentam, precipitam em forma de chuva, neve, granizo ou neblina (KRAMER et al., 2015).

A precipitação, ao alcançar a superfície, pode evaporar, infiltrar no solo e/ou escoar para os rios. Nas superfícies úmidas e molhadas, como as folhagens, e superfícies impermeabilizantes, a água precipitada tende a evaporar-se. Ao cair diretamente no solo a água pode infiltrar-se contribuindo para a umidade do solo, sendo posteriormente utilizada pelas plantas e devolvida para atmosfera através da transpiração ou infiltrando até os lençóis freáticos e aquíferos (TUCCI; CLARKE, 1997; HONDA; DURIGAN, 2017; YANG et al., 2021). Quando a intensidade de precipitação excede a capacidade de infiltração do solo, a água escoar para córregos e rios pela superfície (COLLISCHONN; DORNELLES, 2013; KRAMER et al., 2015).

Os processos de infiltração e escoamento superficial estão relacionados diretamente com a intensidade da precipitação, pela cobertura vegetal e pela permeabilidade do solo. A água precipitada que não foi evaporada ou absorvida pelas plantas, são escoadas para as bacias hidrográficas até chegar aos oceanos, ou infiltradas no solo alcançando os lençóis freáticos (REICHARDT, 1987; COLLISCHONN; DORNELLES, 2013).

2.4 TRANSPIRAÇÃO NAS PLANTAS

As plantas são responsáveis por diversos serviços ecossistêmicos que permeiam desde os serviços de provisão aos culturais. É possível citar alguns como: fornecimento de matéria-prima para construção, produção de lenha para combustível, alimentação, bem como são excelentes reguladoras das condições ambientais naturais. Como reguladoras, as plantas são capazes de transferir a água do solo para a atmosfera, influenciando na diminuição das temperaturas, aumento da umidade do ar e contribuindo com a dinâmica de massas de ar no planeta (GEROLAMO, 2021).

No que se refere a água, esta é fundamental para a sobrevivência das plantas e produção de biomassa. Porém, de toda a água absorvida pela planta através das raízes, cerca de 98% é transferida para a atmosfera em forma de vapor de água, e apenas os 2% restantes são utilizados para o crescimento e metabolismo (MENDES et al., 2015).

A planta pode perder água para a atmosfera de duas formas: pela transpiração ou pela gutação. A gutação é a perda de água na forma líquida pelas plantas. Este fenômeno ocorre ocasionalmente e em quantidades pequenas, geralmente à noite, quando a transpiração é mínima ou nula, bem como quando a umidade do solo e do ar é alta. A gutação é perceptível devido a formação de gotículas de água pura ou de soluções com solutos orgânicos e inorgânicos, nas bordas ou no ápice das folhas. Essa forma de transporte de água representa uma quantidade insignificante para o balanço hídrico da planta, de forma que se considera apenas a transpiração estomática como sistema de perda de vapor de água na planta (KERBAUY, 2004).

Já a transpiração é definida como a perda de vapor de água das plantas para a atmosfera. A epiderme da folha possui células especiais, chamadas de células-guarda, que formam uma estrutura capaz de realizar movimentos de abrir e fechar, denominadas estômatos (MENDES et al., 2015).

A transpiração está diretamente ligada com a fotossíntese das plantas. Quando a temperatura e o suprimento de água são adequados, e a luz solar favorece alta atividade fotossintética, a demanda por CO₂ na folha é grande, induzindo a abertura estomática. Com isso a taxa transpiratória também é elevada. Por outro lado, em condições de deficiência hídrica, os estômatos permanecem fechados, evitando a desidratação da planta (TAIZ et al., 2017).

Nesse processo, na abertura dos estômatos para adquirir CO₂, a planta libera parte da água presente nas paredes intracelulares das folhas na forma de vapor d'água.

Com a perda, é muito importante que a água seja rapidamente repostada, para manter a turgescência da planta, “*puxando*” a coluna d’água presente desde a raiz, passando pelo xilema, até chegar a folha. A ascensão da água pelo xilema pode ser explicada pela teoria coesão-tensão, descrita por Dixon (1914) (KERBAUY, 2004; TAIZ et al., 2017). Segundo esta teoria (demonstrado na figura 2), existe uma coluna d’água que percorre da ponta das raízes, passando pelo caule, chegando até as células do mesófilo das folhas (KERBAUY, 2004). A tensão (pressão hidrostática negativa), é a força motriz que movimenta a seiva bruta, consequência da transpiração. Quando as moléculas de água escapam para a atmosfera através do mesófilo, em função do gradiente de pressão entre os espaços intercelulares e a superfície da folha, o potencial hídrico diminui. Com esta diminuição, aliado às forças da coesão entre as moléculas, acontece o deslocamento do xilema foliar (onde o potencial hídrico é mais elevado) para as células do mesófilo (onde o potencial hídrico é baixo). Como consequência, forma-se um gradiente de potencial hídrico que se estende pelas colunas de água no xilema, resultando em uma força de tensão que permite o fluxo de água pelo sistema solo-planta-atmosfera. Quando há a junção dessas forças coesão-tensão, é mantida a corrente de transpiração que gera um déficit hídrico, forçando absorção de água pela raiz (CORREIA, 2014; TAIZ et al., 2017).

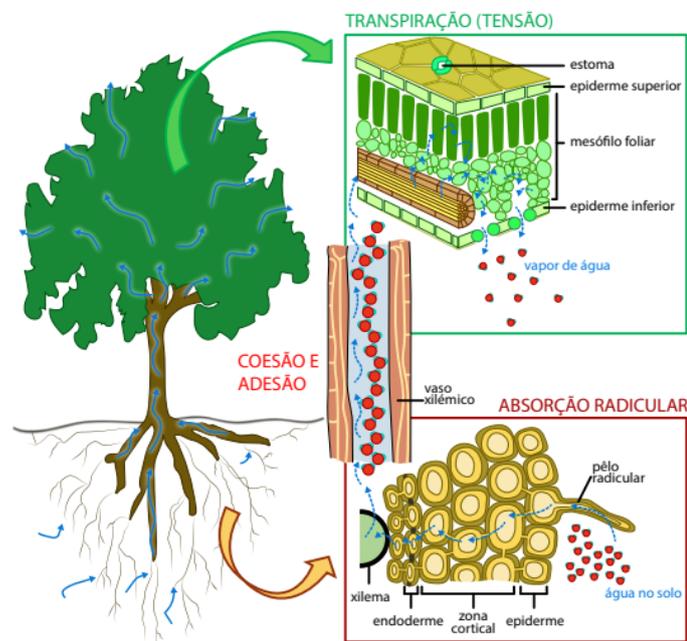


Figura 2 – Ilustração teoria coesão-tensão

Fonte: Correia (2014).

Em síntese, na superfície das paredes das folhas, na interface ar-água, exerce-se a pressão negativa (tensão) que causa o movimento ascendente da seiva no xilema a longa

distância. As propriedades coesivas da água são fundamentais nesta teoria, ou seja, a coluna de água tem que ser contínua, de forma que a coesão entre as moléculas de água torna possível que a água seja transportada para parte superior da planta, em resposta a transpiração (KERBAUY, 2004).

2.5 FATORES QUE AFETAM A TRANSPIRAÇÃO

A intensidade de intercâmbio de gases varia nas diferentes formas de vida. Nas plantas, a troca de gás carbônico e de oxigênio é diretamente proporcional ao do vapor de água, logo quanto maiores as taxas de absorção de CO₂, maiores as taxas de perdas por transpiração, o que explica a relação quanto mais elevado consumo de água maior a produtividade (KLAR, 1984). A transpiração das árvores é afetada por algumas variáveis ambientais, como a diferença de pressão de vapor, temperatura do ar, velocidade do vento, estrutura da folha, abertura dos estômatos, concentração de dióxido de carbono e diferença de potencial hídrico entre a planta e o solo (KLAR, 1984; TAIZ et al., 2017; MENDES et al., 2015).

A influência da luz na transpiração pode ocorrer de forma direta quando a incidência da luz favorece a abertura dos estômatos, o que torna as taxas de transpiração maiores no período diurno, liberando o vapor de água presente na folha, ou de forma indireta, quando a luz proporciona o aquecimento da superfície da folha tornando a água em vapor dentro da mesma (ZHANG et al., 2011; TAIZ et al., 2017).

A influência da temperatura do ar na transpiração ocorre principalmente devido ao seu efeito na pressão atmosférica. À medida que a temperatura aumenta, a atmosfera se expande, diminuindo o potencial de pressão e proporcionando maior fluxo de transpiração. Ao passo que a temperatura aumenta, a planta busca equilíbrio térmico, favorecendo a abertura dos estômatos até em torno de 25°C (CHEN et al., 2014; TAIZ et al., 2017).

A umidade relativa do ar influencia diretamente no volume de transpiração. Quando a umidade do ar aumenta, a transpiração diminui. Isso ocorre porque a capacidade de carga de vapor da atmosfera quando saturada, não permite a entrada de mais água no sistema (ZHANG et al., 2011; MENDES et al., 2015).

A velocidade do vento influencia de forma indireta. Conforme a velocidade aumenta, a transpiração da planta também aumenta. Isso se dá devido a camada de ar próximo à superfície da folha ser mais úmida, aumentando a diferença da quantidade de vapor de água da planta e da atmosfera (KLAR, 1984; TAIZ et al., 2017).

A quantidade de água disponível no solo é um fator importante na transpiração, de forma que a diminuição do potencial hídrico no solo, implica no aumento ou redução da transpiração. Em caso de déficit hídrico, a planta produz o Ácido Abscísico (ABA) a qual leva ao fechamento dos estômatos, conseqüentemente, há uma menor absorção de CO₂ pela planta, levando a desidratação e murcha (KLAR, 1984; TAIZ et al., 2017)

2.6 MODELOS DE FLUXO DE SEIVA

O método do fluxo de seiva tem sido largamente utilizado para estudar a transpiração das árvores em ecossistemas florestais, mostrando ser muito promissora (VENANCIO et al., 2019; BESLITY et al., 2022).

A transpiração do dossel representa a maior parte da evapotranspiração em muitos habitats. A medição da transpiração das árvores é um meio muito importante para entender a função vegetativa, hidrológica e meteorológica em sistemas florestais (SCHLESINGER; JASECHKO, 2014; BESLITY et al., 2022). Vários métodos foram desenvolvidos para medir a transpiração das árvores. Dentre os métodos mais utilizados, constam os Modelos de Fluxo de Seiva (MFS) que inclui as metodologias de balanço de calor, pulso de calor e dissipação térmica. O MFS permite acompanhar em escala temporal o uso da água pelas plantas no seu meio ambiente natural, durante períodos longos e de forma quase automatizada.

As desvantagens nessa metodologia refere-se a quantidade limitada de amostras para representar toda a cultura e que estes métodos desconsideram a evaporação de água no solo, determinando apenas a transpiração. Tais desvantagens aumentam as incertezas em caso de alta frequência de irrigação e baixa cobertura (VENANCIO et al., 2019).

2.6.1 Método de balanço de calor

O método de balanço de calor foi inicialmente proposto por Čermák et al. (1973), e posteriormente aprimorado por Sakuratani (1981). Neste método é medido o balanço de energia, utilizando uma manta térmica que envolve todo o caule. Nesta manta consta vários sensores e sondas aquecidas, de forma que a medição se dá pela energia térmica dissipada no sentido axial (Q_i e Q_s) e radial (Q_r) do tecido vegetal, do calor armazenado (Q_a) no segmento amostrado e da energia térmica dissipada de forma convectiva através do fluxo de seiva (Q_f). Esta técnica se torna mais dispendiosa devido a necessidade de um número expressivo de sensores por amostra. Uma das vantagens em relação aos demais

métodos de MFS, é a eliminação de conhecimento da área do alburno, uma vez que os sensores ficam envoltos ao tronco (KIGALU, 2007; ZHAO et al., 2022; BESLITY et al., 2022).

2.6.2 Métodos de pulso de calor

O método de pulso de calor foi proposto por Huber (1932) e adaptado posteriormente por Huber e Schmidt (1937) a fim de se obter resultados mais precisos. Porém, só em 1958, Marshall (1958) demonstrou analiticamente a relação entre a velocidade do pulso de calor com o fluxo de seiva (ZHAO et al., 2022; VENANCIO et al., 2019).

Essa metodologia consiste na aplicação de calor em intervalos de tempo através de uma sonda de aquecimento na área do xilema da planta. Juntamente com a sonda, dois sensores de temperatura são instalados equidistantes, a montante e a jusante da sonda, para monitoramento do calor ao longo do percurso da seiva (VELLAME et al., 2009). O pulso de calor emitido pela sonda de aquecimento é transportado por convecção pelo fluxo de seiva e por condução através do tecido vegetal, quando o calor é dissipado antes de chegar nos sensores. Deste modo, o fluxo de seiva é mensurado pela determinação da velocidade de um curto pulso de calor (XIE et al., 2022).

O método de pulso de calor, por exemplo Burgess et al. (2001), determina a densidade do fluxo de seiva a partir do tempo de transferência de um pulso de calor entre dois ou mais sensores.

Este método pode ser utilizado em qualquer espécie lenhosa com mais de 30 centímetros de diâmetro, geralmente utilizado em florestas e na agricultura. As limitações deste método consistem na correta instalação dos sensores e na precisão das distâncias entre as sondas. Também é necessário conhecer as propriedades térmicas do xilema, pois as imprecisões podem gerar resultados errôneos (VELLAME et al., 2009; VENANCIO et al., 2019; BESLITY et al., 2022).

2.6.3 Método de dissipação térmica (Granier)

O método de dissipação térmica proposto por Granier (1985), objetiva mensurar a transpiração em espécies florestais. No estudo realizado por Granier, encontrou-se uma relação entre a dissipação térmica e o fluxo de seiva no xilema.

Neste método é utilizado um sensor de temperatura e uma sonda aquecida de forma constante, instalados perpendicularmente, com distância de aproximadamente 10 cm e profundidade de 2 a 3 cm no alburno da espécie a ser estudada. A variação da temperatura entre os dois dispositivos é causada pelo transporte convectivo de calor através da seiva. Desta forma, a máxima diferença de temperatura representa um fluxo de seiva mínimo ou nulo, enquanto que a menor diferença de temperaturas entre as sondas, significa taxas máximas de fluxo de seiva (VELLAME et al., 2009; ZANCHI et al., 2015).

Granier (1985) propôs de forma empírica uma equação, a partir da calibração, em laboratório para três espécies de plantas lenhosas: *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco, *Pinus nigra* Arnold e *Quercus pedunculata* Ehrh. Em trabalhos posteriores, o autor realizou a calibração para outras espécies (GRANIER, 1987). Em seguida o autor conclui que para qualquer planta lenhosa com diâmetro de caule superior a 4 cm, pode-se utilizar os valores de $\alpha = 0.119$ e $\beta = 1.231$, conforme a Equação 1 (DELGADO-ROJAS et al., 2006).

$$FS = 0.119 \cdot K_s^{1,231} \cdot AS \quad (1)$$

Cabibel et al. (1991) e Köstner et al. (1998) realizaram estudos para validar a metodologia proposta por Granier. Segundo esses autores a equação de Granier produziu resultados promissores, recomendando a utilização da equação original como padrão para qualquer planta lenhosa. Em contradição, Steppe et al. (2010) concluíram que a equação original subestimou em média 60% a densidade do fluxo de seiva na espécie *F. grandifolia*, recomendando a calibração para cada espécie estudada.

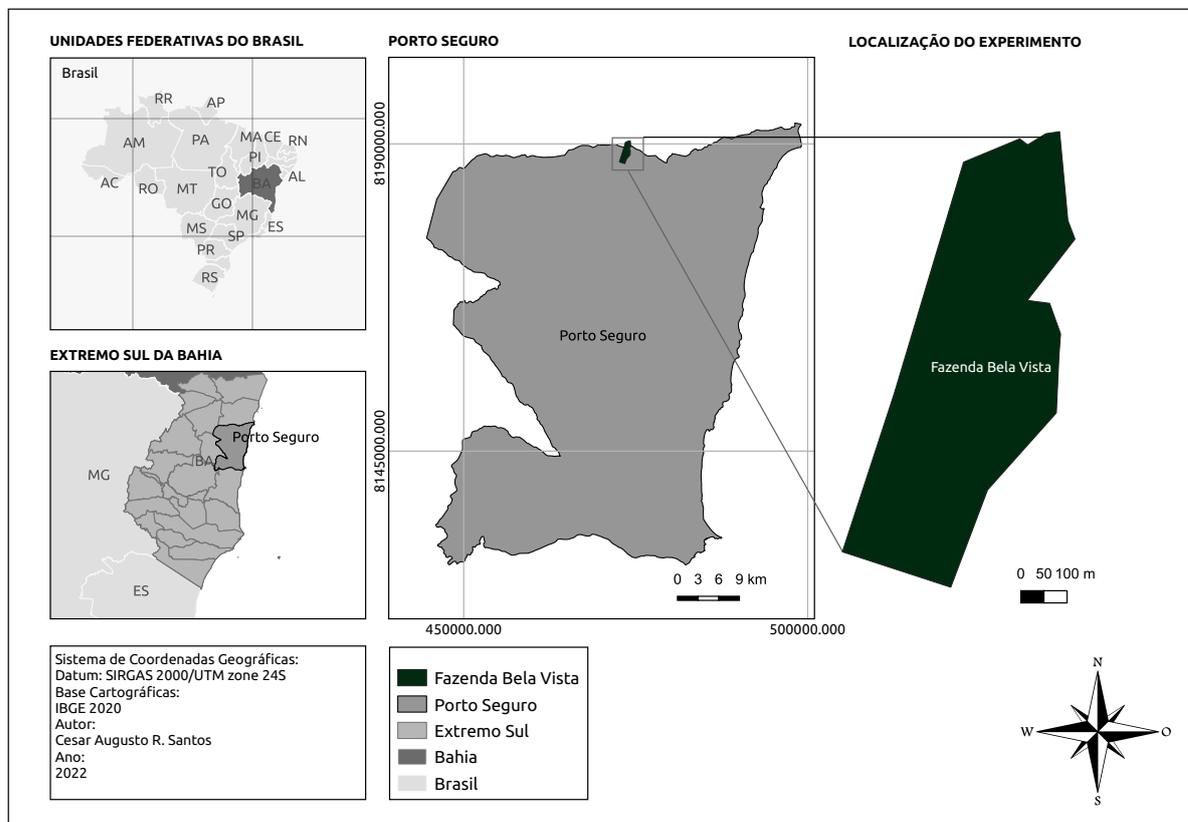
Delgado (2006) concluiu que o método de Granier, mostrou-se potencialmente utilizável em plantas de seringueira, mas, recomendou a realização de calibração independente para garantir sua precisão, incluindo a determinação da área efetiva do xilema. O mesmo autor em Delgado-Rojas et al. (2010) encontrou uma equação de calibração para a espécie *Eucalyptus grandis* \times *Eucalyptus urophylla* com os valores para α e β de 478,017 e 1,231 respectivamente.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO

O trabalho foi desenvolvido em uma área particular às margens da BR-367, entre Porto Seguro e Eunápolis, no Extremo Sul da Bahia, nas coordenadas geográficas ($16^{\circ} 22' 14.286''S$, $39^{\circ} 14' 59.211''W$) (Figura 3). A área total plantada é de aproximadamente 58 hectares.

Figura 3 – Mapa da área de estudo.



O clima da região, segundo classificação de Köppen é do tipo Af, definido como chuvoso, quente e úmido, sendo característico de zonas tropicais, com cobertura vegetal de florestas e faixa zonal de baixa latitude (ALVARES et al., 2013). O relevo por apresentar altitudes inferiores a 200 metros e declividade inferiores a 5%, influencia diretamente no clima regional, aumentando a permanência das massas de ar e proporcionando altos índices de precipitação ao longo do ano (SILVA et al., 2020).

As temperaturas médias anuais do município variam de 22 a 26°C. O período

seco vai de abril até setembro e o período chuvoso de outubro a março. No período seco, a precipitação acumulada varia entre 289 a 869 mm e no período chuvoso o volume precipitado varia entre 614 a 785 mm. As médias anuais são superiores a 1400 mm (SILVA et al., 2020).

Segundo Souza et al. (2011) o solo de Porto Seguro é classificado como originário de sedimentos pedogeneizados do grupo geológico Barreiras, predominando os solos oxídicos, de característica Argissolo-Arenoso Amarelo, de relevo plano a ondulado. Com relação às características química e granulométrica do solo, foi realizada a análise em laboratório conforme Tabela 1 e Tabela 2 respectivamente. Neste solo, foi realizado o primeiro cultivo de eucalipto, sendo anteriormente ocupado com plantação de coqueiro (*Cocos nucifera* L.).

Tabela 1 – Atributos químicos do solo da área experimental

parâmetro	unid	profundidade (cm)		
		0-20	20-40	40-60
P	mg dm ⁻³	6	3	1
K	mg dm ⁻³	30	17	13
S	mg dm ⁻³	6	7	8
Ca	cmol c dm ⁻³	0,7	1	1,3
Mg	cmol c dm ⁻³	0,2	0,3	0,3
Al	cmol c dm ⁻³	0,4	0,3	0
H+Al	cmol c dm ⁻³	5,2	3,8	3,3
pH em H ₂ O	-	5,1	5,3	5,7
Fe	mg dm ⁻³	191	383	389
Zn	mg dm ⁻³	2,5	0,7	0,5
Cu	mg dm ⁻³	1,5	0,6	0,3
Mn	mg dm ⁻³	5,5	2	2
B	mg dm ⁻³	0,22	0,16	0,12
Na	mg dm ⁻³	4	5	6
Ca/Mg	-	3,5	3,3	4,3
Ca/K	-	9,1	22,9	39
Mg/K	-	2,6	6,9	9
Sat. Ca na CTC (T)	%	11,3	19,4	26,4
Sat. Mg na CTC (T)	%	3,2	5,8	6,1
Sat. K na CTC (T)	%	1,2	0,8	0,7
Índ. sat. Na	%	0,3	0,4	0,5
Soma de Bases (SB)	cmol c dm ⁻³	1	1,4	1,7
CTC efetiva (t)	cmol c dm ⁻³	1,4	1,7	1,7
CTC a pH 7,0 (T)	cmol c dm ⁻³	6,2	5,2	5
Sat. Alumínio (m)	%	29	18	0
Saturação de bases	%	16,1	26,4	33,5

Tabela 2 – Atributos Físicos do solo da área experimental

Prof cm	Argila	Silte	Areia		
			Grossa	Fina	Total
			%		
0-20	18	8,6	58	15,4	73,4
20-40	28	10,2	46,8	15	61,8
40-60	36	12,4	38,2	13,4	51,6

3.1.1 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O experimento da área de estudo foi realizado utilizando-se eucalipto clone VCC0865 e clone CO1407, ambos da espécie Híbrida *Eucalyptus grandis* × *Eucalyptus urophylla* com 48 meses de plantio (Tabela 3). O espaçamento entre as árvores foi de 3,6m x 2,5m.

Tabela 3 – Espécies utilizadas na medida do fluxo de seiva, em silvicultura de eucalipto.

Espécie	clone	Altura (m)	DAP* Médio(cm)	Nº indivíduos
<i>E. grandis</i> × <i>E. urophylla</i>	CO1407	≈ 23	52,38	5
<i>E. grandis</i> × <i>E. urophylla</i>	VCC0865	≈ 23	41,47	5

* Diâmetro à altura do peito.

3.2 DETERMINAÇÃO DO FLUXO DE SEIVA

Para determinação do fluxo de seiva, os dados foram coletados diariamente a partir de 28 de janeiro a 31 de dezembro de 2022. Neste trabalho foram selecionadas 10 árvores, sendo 05 do clone VCC0865 e 05 do clone CO1407 da espécie *Eucalyptus grandis* × *Eucalyptus urophylla*, conforme Tabela 3.

A metodologia implementada neste estudo seguiu o experimento desenvolvido por Zanchi et al. (2015), de modo que o sistema compõe um *datalogger* modelo (CR10X Campbell Scientific, USA). O *datalogger* é um dispositivo registrador de dados que armazena os valores das medições coletadas pelos sensores durante um tempo determinado, para uso posterior nas análises. A utilização deste tipo de equipamento favorece a coleta, pois não necessita de um computador em campo.

Também foram utilizadas sondas termopares de cobre-constantan. Estas sondas termopares, quando expostas a variações de temperaturas, geram uma diferença de potencial (Figura 4). As sondas foram instaladas no tronco dos eucaliptos, com distância de 10 cm entre a sonda aquecida e a não aquecida. As mesmas possuem 2 mm de

diâmetro e 2 cm de tamanho. Para minimizar erros de medidas e obter maiores precisões nas medições de temperatura das sondas, foram colocadas pastas térmicas nos tubos em contato com as mesmas (Figura 4). Para evitar influências dos gradientes térmicos naturais, os sensores foram isolados com papel alumínio.

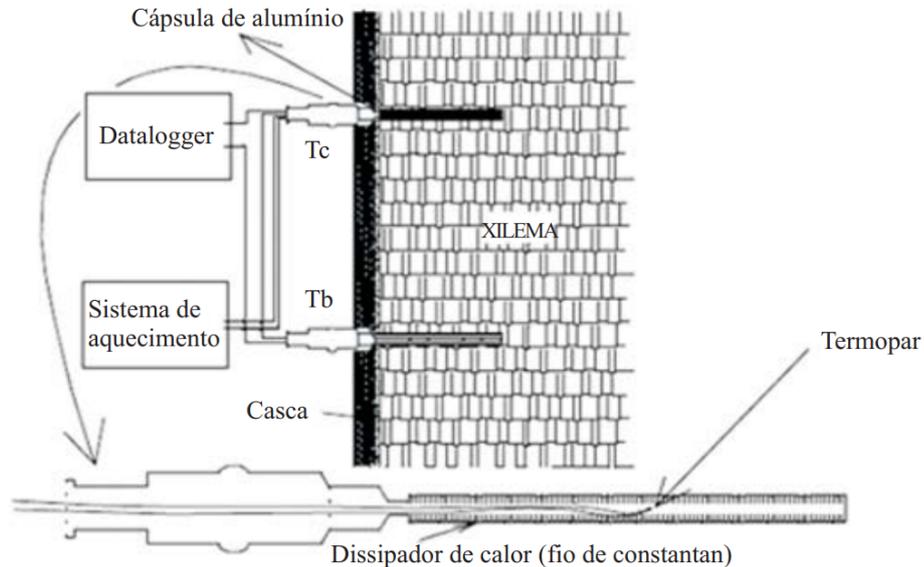


Figura 4 – Sensor de fluxo de seiva, conforme GRANIER (1985), onde Tc é a sonda aquecida e Tb a não-aquecida. Observa-se, também, detalhes da sonda aquecida, bem como das conexões elétricas

Fonte: Delgado-Rojas et al. (2006).

Utilizou-se uma bateria 12v e 45A para fornecer a energia, visando alimentar o sistema. Também foi usado software *loggernet* e linguagem R para análise dos dados, seguindo o diagrama da Figura 5.

3.3 CÁLCULO DO FLUXO DE SEIVA PELO MÉTODO DE GRANIER

O cálculo do Fluxo de Seiva (FS) inicia-se pelo cálculo da densidade do fluxo, dado como K_s , sendo:

$$K_s = \frac{\Delta T_{max} - \Delta T_{inst}}{\Delta T_{inst}} \quad (2)$$

onde ΔT_{max} é a diferença máxima de temperatura entre os dois sensores, que normalmente acontece durante a madrugada; e ΔT_{inst} é diferença de temperatura medida instantaneamente. Desta forma, se obtém o (FS) a partir da Equação 3 (GRANIER, 1987):

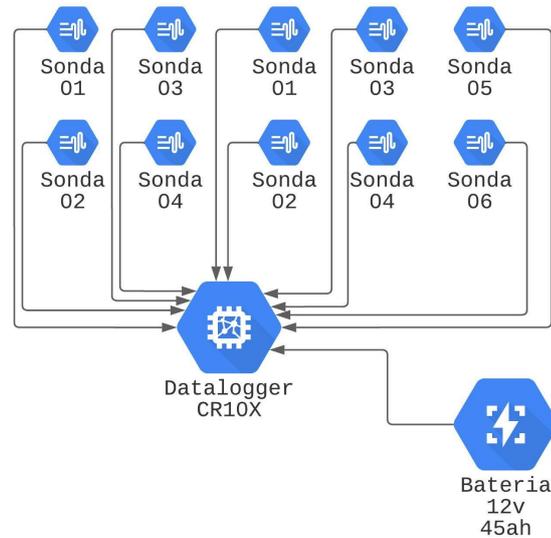


Figura 5 – Diagrama das interconexões conforme aplicada em campo.

$$FS = 0.119 \cdot K_s^{1,231} \cdot AS \quad (3)$$

AS refere-se a área efetiva do xilema em m^2 . A área do xilema de cada árvore, onde encontra-se o alburno, é medida levando em consideração o Diâmetro da Altura do Peito (DAP) e a área total do tronco na altura do peito (m^2).

Como a aplicação do método da sonda de dissipação térmica para a estimativa do fluxo de seiva necessita o conhecimento da área condutora do caule, foi determinado o valor seguindo os ajustes feitos para o alburno de eucalipto, encontrado por Delgado-Rojas et al. (2010).

Neste trabalho utilizou-se a equação (4) proposta por Delgado-Rojas et al. (2010) para estimar a densidade do fluxo de seiva, considerando que a calibração demanda equipamentos de alto custo e o sacrifício da planta, inviabilizados neste estudo.

$$FS = 478,017 \cdot 10^{-6} \cdot K_s^{1,231} \cdot AS \quad (4)$$

3.4 VISITAS EM CAMPO

As visitas de campo foram realizadas em intervalos de 7 a 10 dias para coleta dos dados registrados pelo *datalogger* (Figura 6). As baterias também eram substituídas, uma vez que a carga só suportava no máximo 15 dias.

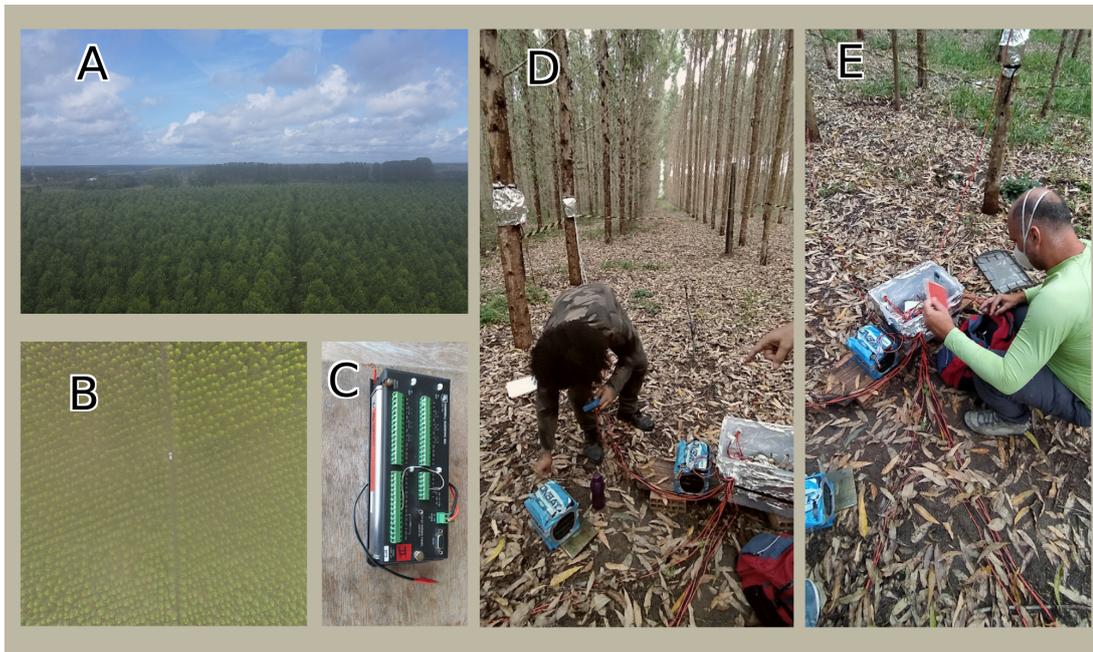


Figura 6 – A) Fazenda Bela Vista, B) Vista aérea superior , C) Datalogger , D) Operação em campo e E) Coleta dos dados.

Fonte: Acervo pessoal (2022).

3.5 DADOS METEOROLÓGICOS

A estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET em Porto Seguro fica localizada na área pertencente a ESPAB¹ - CEPLAC², há aproximadamente 7 Km da área do experimento, Figura 7.

¹Estação Ecológica do Pau Brasil

²Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira



Figura 7 – Estação de observação de dados meteorológicos automáticas do INMET localizada na cidade de Porto Seguro - BA

Fonte: Acervo pessoal (2022).

A estação meteorológica automática pertencente ao INMET fornece dados valiosos, pois são registrados por sensores confiáveis. Essa fonte de dados é essencial para embasar análises e estudos nesta região, permitindo uma compreensão mais precisa e fundamentada dos fenômenos climáticos. A disponibilidade dessas informações acessíveis ao público¹ amplia o acesso ao conhecimento e facilita a realização de pesquisas e tomadas de decisão informadas. A Tabela 4 apresenta as variáveis que são registrados pela estação dos quais alguns foram utilizados neste trabalho.

¹Informações e dados disponíveis na URL <https://mapas.inmet.gov.br/> acessada em 28 de Fevereiro de 2023.

Tabela 4 – Variáveis climáticas medidas na estação automática do INMET em Porto Seguro - BA

Variável medida	Unidade de medida
precipitação total, horário	(mm)
Pressão atmosférica ao nível da estação, horária	(mb)
pressão atmosférica max.	(mb)
pressão atmosférica min.	(mb)
radiação global	(kJ/m^2)
temperatura do ar - bulbo seco, horária	($^{\circ}\text{C}$)
temperatura do ponto de orvalho	($^{\circ}\text{C}$)
temperatura máxima	($^{\circ}\text{C}$)
temperatura mínima	($^{\circ}\text{C}$)
temperatura orvalho max.	($^{\circ}\text{C}$)
temperatura orvalho min.	($^{\circ}\text{C}$)
umidade relativa do ar, horária	(%)
vento, velocidade horária	(m/s)

3.6 CÁLCULO DA ESTIMATIVA DA QUANTIDADE DE ÁGUA TRANSPIRADA PELO CULTIVO DE EUCALIPTO

Para estimativa da contribuição da transpiração realizada pelo plantio de Eucalipto para o ciclo hidrológico da região do Extremo Sul da Bahia, foram considerados a média dos valores encontrados por clone. Também foi estimado a densidade arbórea para plantios de eucalipto, de acordo com o praticado na área do experimento, totalizando 1.111 árvores por hectare. Este dado também foi utilizado para representar o espaçamento dos plantios de eucalipto na região, considerando o espaçamento de 3,6 x 2,5, sendo 0,44 m^2 por árvore.

Para a cidade de Porto Seguro, considerou-se a quantidade de hectare de plantio de Eucalipto no município do total de 40.417,00, referente ao ano de 2014 (Faria Filho, 2015). Para o Extremo Sul da Bahia, Medeiros (2021) contatou a quantidade de 435.555,47 ha. Posteriormente projetou-se a quantidade de água resultante da transpiração realizada pelos eucaliptos da área do experimento em m^3 , bem como de Porto Seguro e do Extremo Sul da Bahia, de acordo com a equação abaixo:

$$Da \times Qha = Qa \longrightarrow Qa \times \overline{Qt} = Qx \text{ m}^3 \quad (5)$$

Onde:

Da = Densidade arbórea

Qha = Área em hectares

Qa = Quantidade de árvores

\overline{Qt} = valor médio transpirado por clone

Qx = quantidade total de água transpirada por área

3.7 REGRESSÃO LINEAR

Na análise de regressão, o objetivo foi investigar a relação estatística entre as variáveis climáticas e o fluxo de seiva. Para realizar essa análise, foram empregados algoritmos de regressão linear e polinomial, buscando encontrar uma equação que expressasse de forma estatisticamente significativa essa dependência. Além disso, foram utilizadas medidas como o coeficiente de determinação (R-quadrado) e o teste F de significância global para avaliar a correlação entre as variáveis e a relevância estatística dos coeficientes encontrados. Essas ferramentas estatísticas são importantes para identificar e quantificar o grau de influência das variáveis climáticas no fluxo de seiva, auxiliando na compreensão dos fatores que afetam esse processo fisiológico das plantas.

4 RESULTADOS

4.1 DADOS METEOROLÓGICOS DO EXPERIMENTO

4.1.1 Precipitação

Observou-se que a precipitação acumulada no ano de 2022, no período de abril a dezembro, foi de 1.790 mm, ultrapassando a média anual de 1.400 mm. No período do experimento (março a dezembro), houveram chuvas em todos os meses, sendo junho e dezembro os meses com menor e maior precipitação acumulada respectivamente.

O período chuvoso abrange os meses de outubro a março (MENCIA et al., 2021). Os meses de novembro e dezembro foram os de maior precipitação, superiores a 400 mm nestes meses (Figura 8).

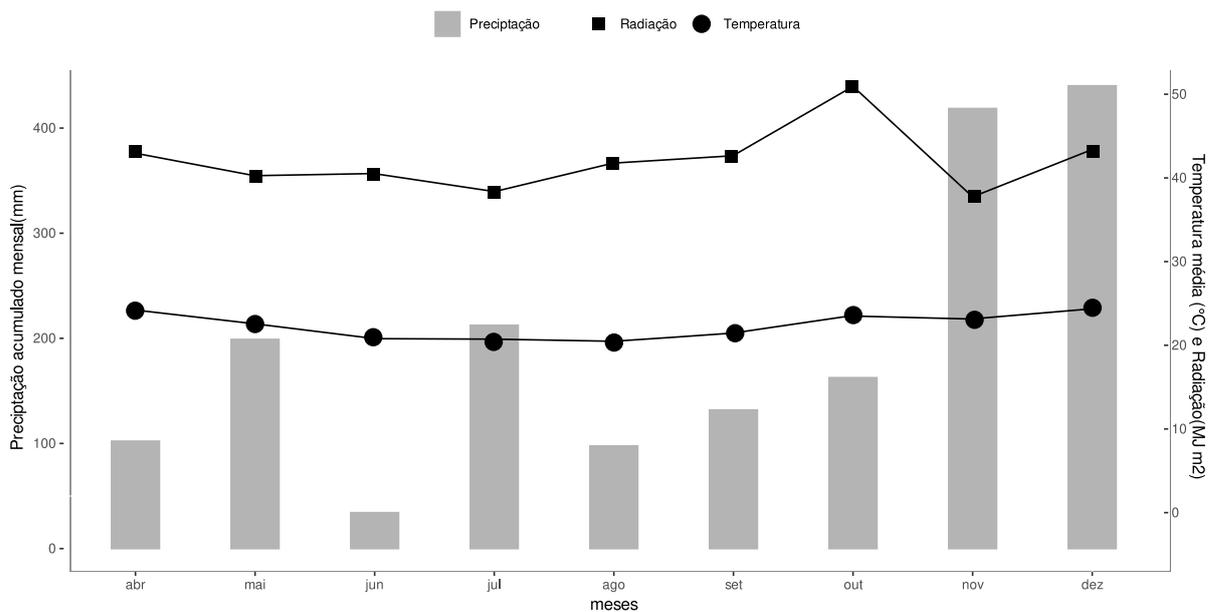


Figura 8 – Dados da Precipitação, Radiação e Temperatura média medidos pela estação automática do INMET no período de abril a dezembro de 2022 em Porto Seguro - BA

O período de seca no município de Porto Seguro compreende os meses de abril a setembro (MENCIA et al., 2021). Nesse período, verificou-se que o mês de junho obteve menor precipitação, com 40 mm. Já os meses de maio e julho apresentaram maior índice de chuva, acima de 200 mm.

Segundo o Grupo de Estudos Climáticos (GrEC) do Instituto de Astronomia,

Geofísica e Ciências Atmosféricas - IAG da Universidade de São Paulo - USP (2022) os meses de novembro e dezembro, historicamente apresentam maior precipitação, porém, em 2022 a incidência do fenômeno *La Niña* provocou várias anomalias no clima do Brasil. Ocorreram desde ondas de frio históricas e neve no sul do país no início de novembro, a chuvas volumosas e atípicas na região nordeste, chegando a mais de 50% acima do esperado.

4.1.2 Temperatura e Umidade Relativa do Ar

A média mensal da temperatura do ar, ao longo do período do experimento, variou entre 20 e 24°C (Figura 9a), considerados abaixo da média dos últimos anos, entre 22 a 26°C (SILVA et al., 2020). A amplitude térmica mínima foi de 9,2°C registrada no mês de fevereiro, enquanto a amplitude térmica máxima foi de 20,7°C em maio. As temperaturas mínimas foram registradas em março com 11,1°C e a máxima em abril com 33,5°C (Figura 9a).

A média mensal da Umidade Relativa foi de 83 a 87% (Figura 9b). O menor valor mensal foi registrado em abril com 29%. Com exceção de dezembro, fevereiro e março, os demais meses apresentaram maior índice com 97% (Figura 9b).

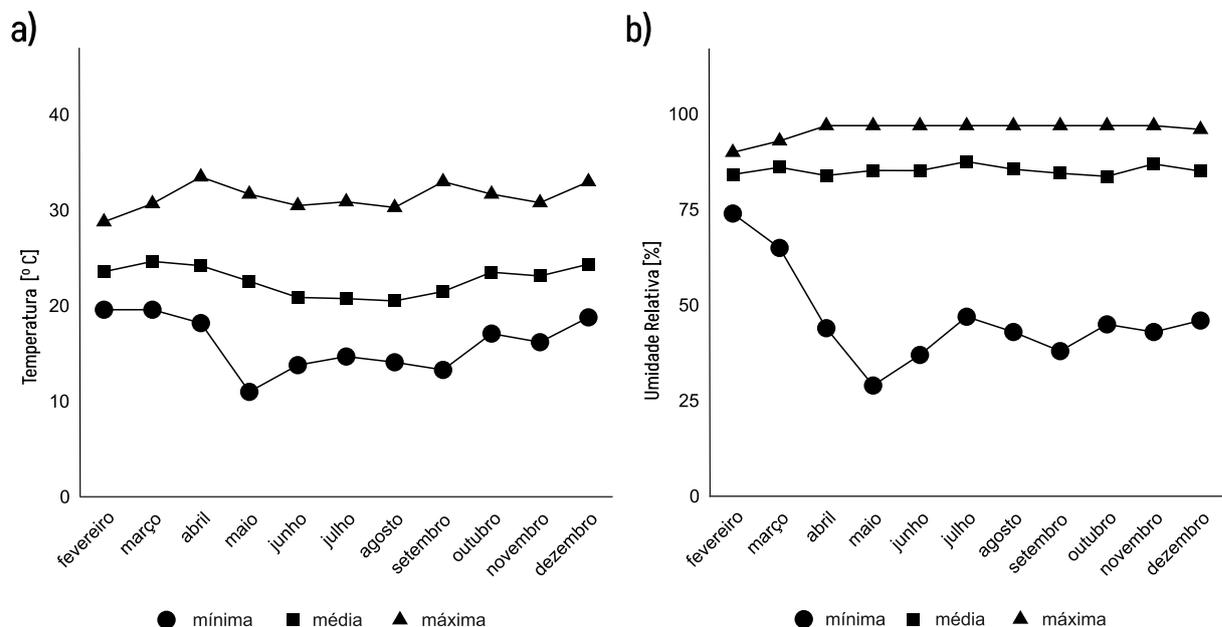


Figura 9 – a) Temperatura do ar mínima, média e máxima, b) Umidade Relativa do ar mínima, média e máxima, observados pela estação automática do INMET, no município de Porto Seguro - BA em 2022.

4.1.3 Velocidade e direção dos ventos

Os ventos (Figura 10) registrados no período variaram de 0 a 6 m s^{-1} , sendo a maior incidência entre 2 a 3 m s^{-1} , considerado Brisa Leve e 3 a 4 m s^{-1} Brisa Fraca, além de ventos de 6 m s^{-1} , classificado como Brisa Moderada, segundo escala de Beaufort.

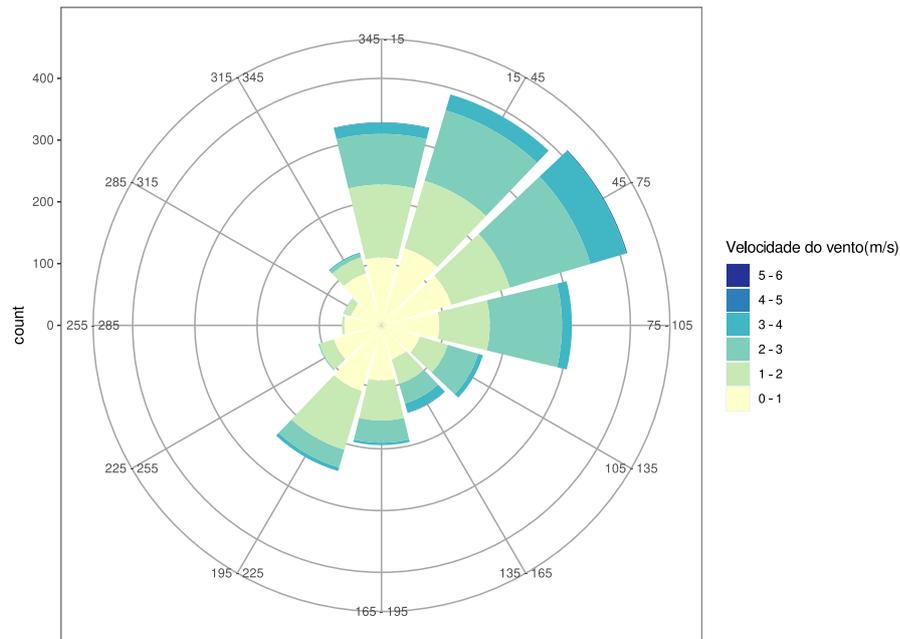


Figura 10 – Direção dos ventos e velocidade medidos pela estação automática do INMET no período de abril a dezembro de 2022 no município de Porto Seguro - BA

Durante o período analisado, a direção predominante do vento foi do oceano em direção ao continente, com a direção nordeste ocorrendo com maior frequência. Embora a velocidade do vento possa afetar a transpiração, pois remove vapor de água da superfície das folhas (TAIZ et al., 2017), não foi observada uma influência significativa neste estudo.

A cidade de Porto Seguro apresentou uma variação na velocidade média do vento entre 0.8 e 1.6 s^{-1} , com valores máximos chegando a 4.4 s^{-1} . Além disso, durante o período analisado, foram registradas rajadas de vento atingindo velocidades de até 11.5 m s^{-1} , como apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 – Velocidade média, máxima e rajadas de vento do município de Porto Seguro - BA, 2022.

Mês	Velocidade média	Velocidade máximas	Rajadas
	m s ⁻¹		
Fevereiro	0,8	1,9	6,5
Março	1,1	3,1	8,0
Abril	1,0	2,5	6,5
Setembro	1,6	4,4	11,5
Outubro	1,4	4,2	9,8
Novembro	1,5	4,0	12,3
Dezembro	1,5	4,2	11,1

4.2 DADOS DO FLUXO DE SEIVA

4.2.1 Transpiração do Eucalipto nos períodos de seca e chuvoso

O fluxo de seiva médio diário, separados por período de seca e chuvoso, pode ser observado na Figura 11.

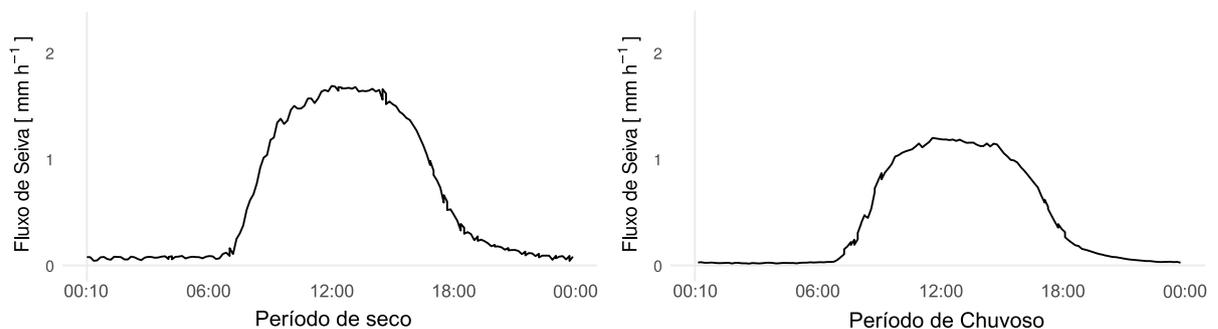


Figura 11 – Média do fluxo de seiva diário no período de seca que compreende os meses de maio a outubro e chuvoso novembro a abril no município de Porto Seguro - BA em 2022.

No período de seca há uma maior transpiração em relação ao período chuvoso, devido a região apresentar altas taxas de precipitação durante todo ano, não havendo déficit de recursos hídricos neste período. Esta condição torna-se favorável para o desenvolvimento da cultura de Eucalipto (MENCIA et al., 2021).

Verificou-se também que a transpiração do Eucalipto iniciou-se por volta das 07h

em ambos os períodos. As taxas mais altas ocorreram entre 11 e 14h. Próximo das 15h até às 18h o fluxo diminuiu significativamente. A partir das 18h o mesmo continuou reduzindo até às 00h. Durante a madrugada, apresentou fluxo mínimo ou nulo (Figura 11).

Foi possível observar que a transpiração respondeu às demandas evaporativas do ar, do déficit de pressão e da irradiação solar, visto que ao nascer do sol, conforme essas variáveis climáticas oscilavam crescentemente, a transpiração também aumentava gradativamente. Os dias ensolarados, no período da manhã, influenciam no rápido aumento da transpiração, movimentando a água presente nos tecidos vegetais, armazenados durante a noite (OOGATHOO et al., 2020). Por volta do meio-dia, essas condições climáticas alcançam o pico, com temperaturas e radiação solar mais intensas, proporcionando maior abertura dos estômatos, momento em que ocorre as condições fotossintéticas ideais, caso haja disponibilidade hídrica. Deste modo, a planta passará a adquirir maiores taxas de CO₂ e conseqüentemente ocorre a perda de vapor de água, o que leva a um maior movimento do fluxo de seiva no caule da árvore (TAIZ et al., 2017).

Após atingir os valores máximos, percebeu-se que a transpiração diminuiu lentamente, até próximo das 15h. Após esse período ocorreu uma diminuição acentuada até aproximadamente às 18h. Posteriormente às 18h, uma quantidade relativamente pequena de fluxo de seiva continuou atuando na área do xilema. Isto ocorreu provavelmente, segundo Fricke (2019), devido à reposição das reservas de água perdidas ao longo do dia. Alguns estudos também relacionam esses fluxos em pequenas quantidades ao fluxo reverso, que ocorre principalmente durante a madrugada, embora o método de dissipação térmica não seja capaz de detectar esse tipo de fluxo (DELGADO-ROJAS et al., 2006).

4.2.2 Transpiração do Eucalipto Clone VCC0865 e CO1407

Para compreender o comportamento da transpiração nos dois tipos de clones estudados, verificou-se na figura 12, a média diária do fluxo de seiva por clone.

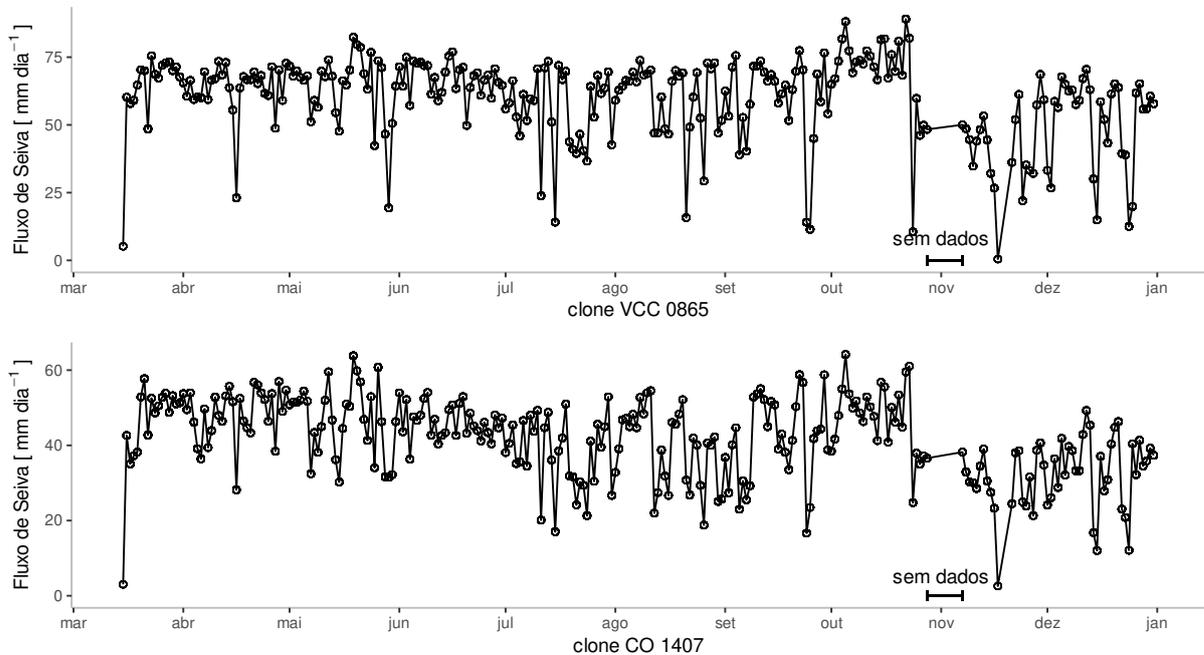


Figura 12 – Média diária do fluxo de seiva dos clones CO1407 e VCC0865.

A média do fluxo de seiva diária no clone de *Eucalyptus grandis* × *Eucalyptus urophylla* VCC0865 foi maior, comparado com as árvores do clone CO1407. No clone VCC0865, a transpiração média das árvores foi de 59,77 litros por dia⁻¹. Observou-se uma amplitude expressiva entre mínimo e máximo, variando de 14 a 89 litros por dia⁻¹. Nas árvores do clone CO1407, a transpiração média foi de 41,76 litros por dia⁻¹, variando entre 12 a 64 litros por dia⁻¹.

Os dados observados no presente estudo estão de acordo com a literatura. Gentil (2010) no que refere-se ao *Eucalyptus grandis* × *E. urophylla*, registrou 68 a 79 litros por dia⁻¹ em tratamentos não irrigados com 48 meses de plantio, no município de Eunápolis - BA. Delgado (2006) em estudo realizado utilizando a equação universal de Granier, em seringueira (*Hevea brasiliensis* Müell. Arg.), considerada árvore de grande porte, encontrou valores entre 18 e 75 litros por dia⁻¹ em plantios com 12 anos. Maier et al. (2017) em comparativo sobre o uso eficiente da água em *Eucalyptus benthamii* e *Pinus taeda* no Sul dos Estados Unidos, encontraram 15 litros por dia⁻¹ para eucalipto e 24 litros por dia⁻¹ para o pinus.

Em estudo realizado por Casaroli et al. (2016) com Mogno Africano (*Khaya ivorensis* A. Chev.) nas plantas em fase inicial de crescimento (210 dias), foi registrado um consumo de água por planta de 2,5 litros por dia⁻¹, sendo este influenciado pelas condições micrometeorológicas locais. Madurapperuma et al. (2009), realizaram no Sri Lanka experimento com Palma (*Syagrus romanzoffiana*) de 20 anos de idade, adaptando o método de Granier para a estimação do fluxo de seiva e encontraram um valor de 96 litros por dia⁻¹. Estes estudos mostram que uma árvore em idade de desenvolvimento é capaz de transferir quantidade significativa de água do solo para a atmosfera.

4.2.3 Média mensal do Fluxo de Seiva Clones VCC0865 e CO1407

A média mensal do fluxo de seiva nos clones VCC0865 e CO1407 podem ser observados na tabela 6. Verificou-se que no mês de novembro, foi constatado as menores médias, enquanto no mês de maio houveram as maiores taxas de fluxo de seiva. Para o Clone VCC0865, observou-se um valor mínimo 884,32 litros no mês de novembro e máximo de 2015,47 litros no mês de junho. Para o Clone CO1407 encontrou-se também um valor mínimo de 634,35 litros no mês de novembro e máximo de 1452,92 litros no mês abril (Tabela 6).

Tabela 6 – Média mensal do fluxo de seiva em litros entre março a dezembro de 2022.

data	VCC0865	CO1407
março	1.074,81	772,25
abril	1.904,74	1.452,92
maio	1.979,08	1.445,96
junho	2.015,47	1.389,82
julho	1.694,04	1.164,90
agosto	1.849,77	1.213,72
setembro	1.784,59	1.246,91
outubro	1.943,76	1.329,39
novembro	884,32	634,35
Dezembro	1.607,48	1.044,85
total anual	16.738,07	11.695,07

Na figura 13, observou-se o comportamento mensal do fluxo de seiva e as

diferenças de transpiração entre os clones estudados, cujo clone VCC0865 transpirou 43.12% a mais que o clone CO1407. Esta diferença pode indicar também uma melhor adaptação das espécies e a possibilidade de compreender em profundidade o cultivo de eucalipto na região, pois estes resultados abrem uma oportunidade no entendimento do Eficácia de Uso de Carbono (EUC) e Eficácia de Uso de Água (EUA), em relação a cada espécie. A partir disto, propõe-se estudos com foco em escolhas de espécies que tragam um menor impacto ambiental e uma melhor gestão para as bacias da região (HATFIELD; DOLD, 2019).

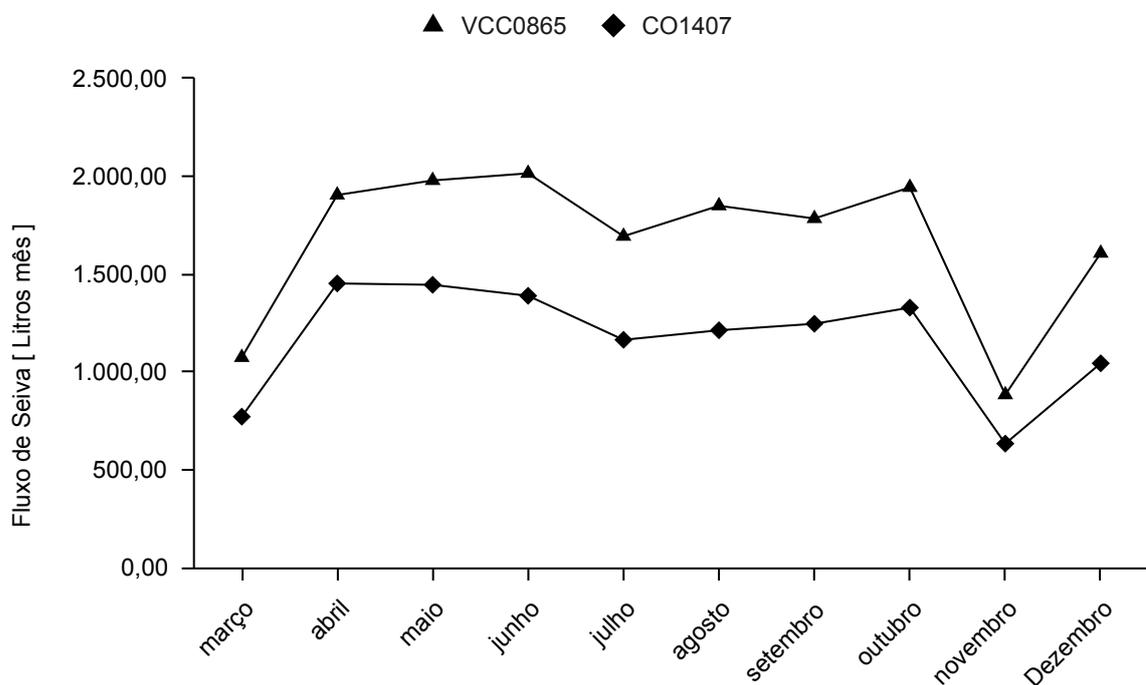


Figura 13 – Média mensal do fluxo de seiva de março a dezembro de 2022.

Os valores de fluxo de seiva encontrados, podem estar relacionados com a alta disponibilidade de recursos hídricos na região da propriedade, além de um ano atípico de muita chuva (ver Figura 8), cuja precipitação foi intensa neste ano de *La Niña*. Há também muitos rios no entorno da propriedade, como o rio Buranhém, que nasce em Minas Gerais e encontra o mar em Porto Seguro, passando a aproximadamente 2 Km ao sul. Este rio apresenta vazão média de $22,4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, com amplitude significativa alcançando a máxima média de $192,8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ nas cheias e a mínima média de $6,6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ em períodos seco (SILVA et al., 2020). Essa amplitude pode ser explicada pela recarga oriunda principalmente do escoamento superficial e das precipitações (SILVA et al., 2020). Outro recurso hídrico disponível é o córrego Camurugi, a menos de 2 Km no sentido norte da propriedade.

4.2.4 Transpiração em plantas de eucalipto pertencentes ao clone CO1407

Na figura 14 observou-se as correlações entre o fluxo de seiva e as variáveis precipitação, umidade relativa, temperatura e radiação, referentes ao clone CO1407.

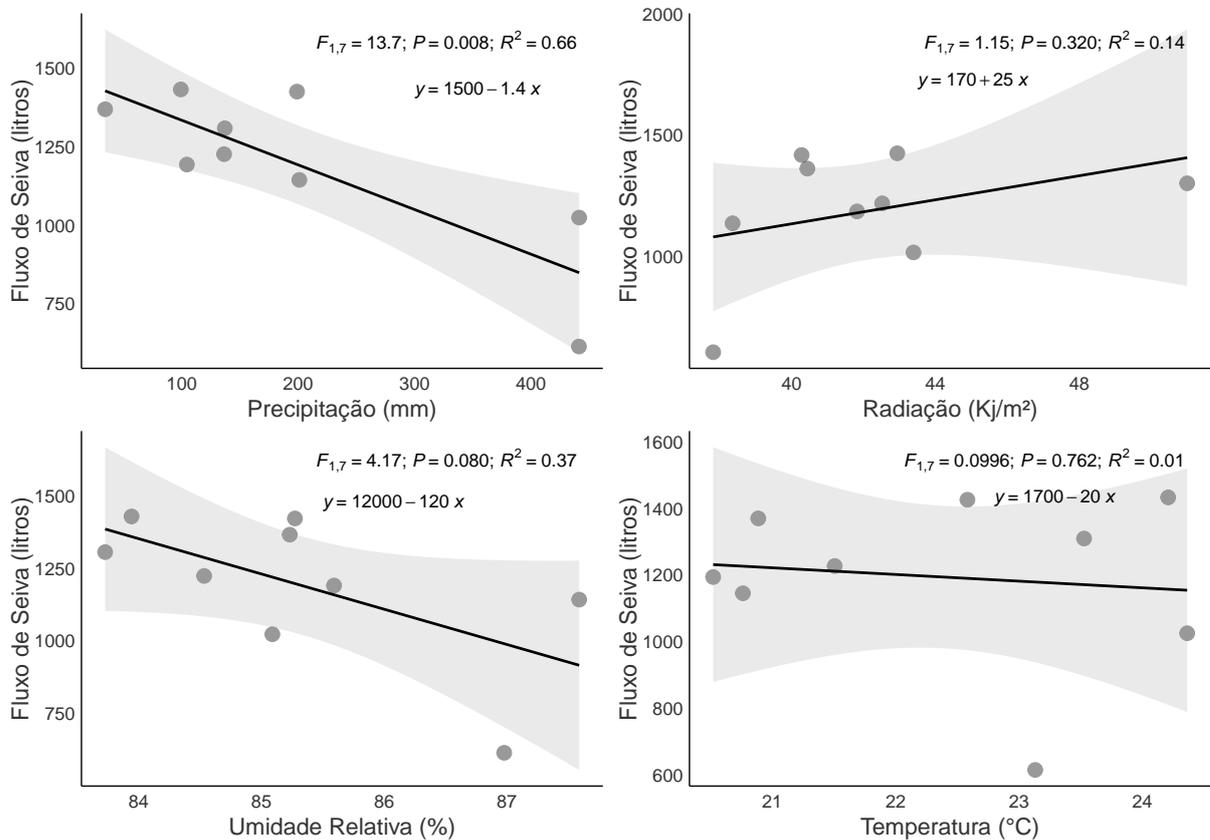


Figura 14 – Relação entre o fluxo de seiva e a Precipitação, Radiação, Umidade Relativa, Temperatura, para o clone CO1407.

Neste gráfico observou-se que a variável precipitação apresentou maior correlação com o fluxo de seiva, $R^2 = 0,66$, sendo considerada moderada. Para a variável umidade relativa obteve-se $R^2 = 0,37$, considerada uma relação fraca, porém, explicativa para o fenômeno, pois quanto maior a umidade relativa na atmosfera menor a transpiração. No que se refere a temperatura o $R^2 = 0,14$ é considerada fraca, e na média mensal não foi encontrado uma equação estatisticamente explicativa. Da mesma forma, a variável radiação, obteve-se um $R^2 = 0,01$, que não foi explicativa nas médias mensais. Notou-se que para as análises e relações estatísticas entre o fluxo de seiva e as variáveis climáticas locais, o teste estatístico two-sides do ajuste linear propôs que para os grupos comparados, apenas o Fluxo de seiva com a precipitação tiveram a mesma variância, apresentando um $p < 0,01$.

4.2.5 Transpiração em plantas de eucalipto pertencentes ao clone VCC0865

Na figura 15 observou-se as correlações entre o fluxo de seiva e as variáveis precipitação, umidade relativa, temperatura e a radiação, referentes ao clone VCC0865.

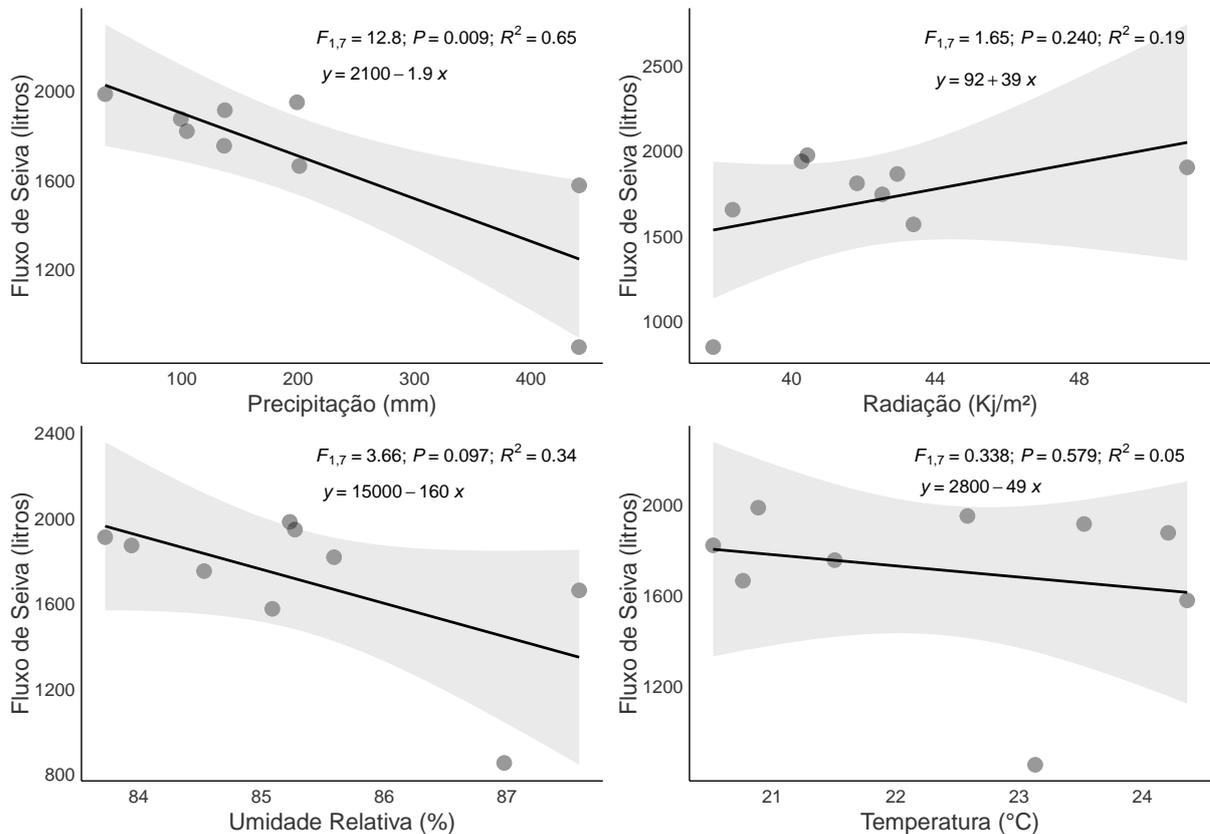


Figura 15 – Relação entre o fluxo de seiva e a Precipitação, Radiação, Umidade Relativa, Temperatura, para o clone VCC0865.

Para este clone (VCC0865), observou-se valores muito próximos aos apresentados pelo clone CO1407. A variável que apresentou maior correlação com o fluxo de seiva foi a precipitação, com $R^2 = 0,65$, sendo considerada moderada. Para a variável umidade relativa obteve-se $R^2 = 0,34$, considerada uma relação fraca. Para a temperatura encontrou-se o $R^2 = 0,19$, que é considerada fraca. Da mesma forma, a variável radiação obteve um $R^2 = 0,05$, que não foi explicativa nas médias mensais.

Segundo Taiz (2017) os fatores climáticos que afetam a transpiração são a temperatura, a radiação solar, o aumento da umidade relativa, dentre outros. Estes fatores climáticos, num evento de chuva, influenciam no fechamento dos estômatos, implicando na diminuição da transpiração pela planta. Neste estudo esta afirmação foi corroborada, embora nas médias mensais seja mais complexo de encontrar esses padrões, diferente de uma medida diária onde é mais evidente. Também notou-se que para as análises e relações

estatísticas entre o fluxo de seiva e as variáveis climáticas locais, o teste estatístico two-sides do ajuste linear para os grupos comparados apresentaram apenas o Fluxo de seiva e a precipitação com a mesma variância, apresentando um $p < 0,01$.

Deste modo, embora o clone VCC0865 tenha apresentado maiores valores no fluxo de seiva em litros, as variações frente às variáveis físicas demonstraram um comportamento muito similar entre os dois clones, o que pode ser explicado por serem da mesma espécie (*Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*), além de terem a mesma idade de plantio e um DAP médio similar.

4.3 CONTRIBUIÇÕES DA ESPÉCIE *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* PARA O CICLO HIDROLÓGICO NO MUNICÍPIO DE PORTO SEGURO E REGIÃO

Com base nos resultados deste trabalho, estimou-se a contribuição desta cultura para o ciclo hidrológico na área do experimento, além do município de Porto Seguro e o Extremo Sul da Bahia.

Constatou-se que em 1 ha da espécie de Eucalipto deste estudo, composto por 1.111 árvores, houve uma transferência de $24,44 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$ de água para atmosfera pelo processo de transpiração (Tabela 7). Considerando os 58 ha da área de estudo, com 64.438 árvores, obteve-se uma produção de $1.417,64 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$. A partir destes valores projetou-se a quantidade de água que poderia ser produzida no município de Porto Seguro, sendo $987.872,31 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$ de água, bem como no Extremo Sul da Bahia $10.645.846,80 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$ (Tabela 7).

Tabela 7 – Projeção da quantidade de água em m^3 transferida para a atmosfera em relação a área

	ha	árvores hectare ⁻¹	$\text{m}^3 \text{ dia}^{-1}$	$\text{m}^3 \text{ ano}^{-1}$
Hectare	1,00	1.111	24,44	8.921,33
Área do experimento	58,00	64.438	1.417,64	517.437,14
Porto Seguro	40.417,0	44.903.287	987.872,31	360.573.394,61
Extremo Sul	435.555,47	483.902.127	10.645.846,80	3.885.734.081,17

Nesse sentido, a estimativa realizada evidenciou a contribuição da quantidade de água gerada pela transpiração da espécie *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* para o ciclo hidrológico, tanto a nível local como regional, exercendo um serviço ecossistêmico importante na regulação climática. Isto porque, a transpiração das árvores contribui para

a formação de nuvens. Essa umidade é transportada através das correntes de vento para o interior do continente. Considerando que a direção do vento no município de Porto Seguro é predominante do oceano para o continente, vindo principalmente da direção nordeste, favorecendo a formação de chuvas em outras regiões interioranas.

Destaca-se que segundo Medeiros et al. (2021), o cultivo de eucalipto na região do Extremo Sul da Bahia cresceu 471% nos últimos 30 anos e segue em tendência de crescimento. No município de Porto Seguro, em 2014, este cultivo ocupou 7% do território, sendo estabelecido o limite de 15% para cidades costeiras e 20% para o interior (FARIA FILHO et al.,). Tal tendência de crescimento pode duplicar a quantidade do cultivo de eucalipto nos próximos anos no município de Porto Seguro, conseqüentemente, a quantidade de água transferida para a atmosfera poderá aumentar proporcionalmente.

5 CONCLUSÃO

O clone VCC0865 teve uma taxa de transpiração maior na média diária em relação ao clone CO1407. A transpiração apresentou pouca variação entre os períodos de seca e chuvoso, porém, houve uma redução acentuada em novembro e dezembro, uma vez que as altas taxas de precipitação implicaram na saturação de vapor de água na atmosfera, e baixa transpiração, devido o uso da energia disponível ser utilizada para a evaporação da água foliar.

O ajuste da equação de Granier proposta por Rojas-Delgado utilizada neste trabalho, mostrou-se eficaz para a estimativa da transpiração em espécies de eucalipto.

As oscilações das variáveis físicas estudadas, apresentaram pouca relação significativa com a transpiração do eucalipto, a não ser com a precipitação.

A estimativa da produção de água pelo processo de transpiração da espécie deste estudo, demonstrou uma contribuição significativa para o ciclo hidrológico em Porto Seguro e no Extremo Sul da Bahia.

O trabalho propôs que há uma grande diferença entre os dois clones cultivados, sugerindo estudos sobre os melhores clones a serem cultivados na região. De forma que, o uso e a eficiência da água em relação ao incremento e produção de biomassa, promova discussões sobre a produção mais adequada ao uso e ocupação das áreas cultivadas, auxiliando no aprimoramento de técnicas em gestão de bacias.

O presente trabalho é um importante instrumento para contribuir com informações sobre a transpiração em silvicultura de eucalipto no Extremo Sul da Bahia, pois existem poucos estudos sobre a temática e dado a importância da atividade na região.

REFERÊNCIAS

- ABAF. **Anuário Estatístico da ABAF 2021: ano base 2020**. associação baiana das empresas de base florestal, 2021.
- AGUIAR, P. C. Bahia de; PIRES, M. de M. The cacao growing region of the southern part of the state of bahía (brazil): Crisis and transformation. **Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía**, v. 28, n. 1, p. 192–208, 2019.
- ALMEIDA, T. M. de; GÓES, L. M.; TEIXEIRA, A. C. d. O. PADRÃO DE USO DA TERRA DO EXTREMO SUL DA BAHIA – BRASIL. v. 6, n. Figura 1, p. 1–14, 2011.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. d. M.; SPAROVEK, G. et al. Köppen's climate classification map for brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.
- AMORIM, R. R. a Representação De Mapas De Paisagens Na Escala Regional: O Exemplo Da Região Costa Do Descobrimento (Bahia). **Revista da Anpege**, v. 12, n. 17, p. 257–292, 2016.
- BESLITY, J.; SHAW, S. B.; DRAKE, J. E.; FRIDLEY, J.; STELLA, J. C.; STARK, J.; SINGH, K. A low cost, low power sap flux device for distributed and intensive monitoring of tree transpiration. **HardwareX**, Elsevier, v. 12, p. e00351, oct 2022. ISSN 24680672.
- BOSI, C.; PEZZOPANE, R. M.; SENTELHAS, P. C. Silvopastoral system with Eucalyptus as a strategy for mitigating the effects of climate change on Brazilian pasturelands. **An Acad Bras Cienc**, p. 20180425, 2020. ISSN 1678-2690.
- BURGESS, S. S.; ADAMS, M. A.; TURNER, N. C.; BEVERLY, C. R.; ONG, C. K.; KHAN, A. A.; BLEBY, T. M. An improved heat pulse method to measure low and reverse rates of sap flow in woody plants. **Tree physiology**, Heron Publishing, v. 21, n. 9, p. 589–598, 2001.
- CABIBEL, B.; DO, F.; HOROYAN, J. Mesures thermiques des flux de sève dans les troncs et les racines et fonctionnement hydrique des arbres. i. analyse théorique des erreurs sur la mesure des flux et validation des mesures en présence de gradients thermiques extérieurs. **Agronomie**, v. 11, n. 8, p. 669–678, 1991.
- CARIGNATO, A.; VÁZQUEZ-PIQUÉ, J.; TAPIAS, R.; RUIZ, F.; FERNÁNDEZ, M. Variability and plasticity in cuticular transpiration and leaf permeability allow differentiation of eucalyptus clones at an early age. **Forests**, MDPI, v. 11, n. 1, p. 9, 2019.
- CASAROLI, D.; SILVA, G. P. da; VELLAME, L. M.; JÚNIOR, J. A.; EVANGELISTA, A. W. P.; SOUZA, P. H. de. Respostas do mogno africano cultivado sem restrição hídrica às condições micrometeorológicas de goiânia-go. **Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 59, n. 1, p. 66–73, 2016.

CASTRO, C. A. d. O.; RESENDE, R. T.; BHERING, L. L.; CRUZ, C. D. Breve histórico do melhoramento genético do eucalipto no Brasil sob a ótica dos avanços biométricos. **Ciencia Rural**, v. 46, n. 9, p. 1585–1593, 2016. ISSN 16784596.

ČERMÁK, J.; DEML, M.; PENKA, M. A new method of sap flow rate determination in trees. **Biologia plantarum**, Springer, v. 15, n. 3, p. 171–178, 1973.

CERQUEIRA NETO, S. P. G. Construção Geográfica do Extremo Sul da Bahia. **Revista de Geografia UFPE**, v. 30, n. 1, p. 246–264, 2013. Disponível em: www.ufpe.br/revistageografia.

CERQUEIRA NETO, S. P. G. C. TRÊS DÉCADAS DE EUCALIPTO NO EXTREMO SUL DA BAHIA. **GEOUSP - Espaço e Tempo**, p. 55–68, 2012.

CHEN, D.; WANG, Y.; LIU, S.; WEI, X.; WANG, X. Response of relative sap flow to meteorological factors under different soil moisture conditions in rainfed jujube (*Ziziphus jujuba* mill.) plantations in semiarid northwest china. **Agricultural Water Management**, Elsevier, v. 136, p. 23–33, 2014.

COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. **Hidrologia para Engenharia e Ciências Ambientais**. 2013. 346 p.

CORREIA, S. Teoria da tensão-coesão-adesão. **Revista de Ciência Elementar**, Casa das Ciências, v. 2, n. 1, 2014.

COSTA, B. S.; OLIVEIRA, M. L. 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. ISSN 18063845.

DELGADO-ROJAS, J.; LACLAU, J.; ROUPSARD, O.; STAPE, J.; RANGER, J.; BOUILLET, J.; NOUVELLON, Y. Calibration of home-made heat dissipation probes for a full rotation of eucalyptus grandis trees in brazil. In: **AGU Fall Meeting Abstracts**. 2010. v. 2010, p. H31B–0992.

DELGADO-ROJAS, J. S.; RIGHI, C. A.; KARASAWA, S.; ANGELOCCI, L. R.; BERNARDES, M. S.; FOLEGATTI, M. V. Desempenho do método de dissipação térmica na medida do fluxo de seiva em seringueira. **Engenharia Agrícola**, SciELO Brasil, v. 26, p. 722–729, 2006.

DIXON, H. H. **Transpiration and the ascent of sap in plants**. Macmillan and Company, limited, 1914.

DOMPIERI, G.; ALBERTO, M.; CUENCA, G.; AURÉLIO, M. ANÁLISE DO AVANÇO E RETRAÇÃO DE CULTIVOS AGRÍCOLAS NO EXTREMO SUL DA BAHIA , A PARTIR DO MODELO SHIFT-SHARE Analysis of the advance and retraction of agricultural crops in the extreme south of the state of Bahia , by shift-share model. p. 9–24, 2020.

FARIA FILHO, A. F.; ARAUJO, Q. R. de; LEOPOLDINO, F. S.; WICKE, G. N. Análise do uso e ocupação do solo da microrregião de porto seguro, bahia, brasil.

FLORA. **Eucalyptus in Flora do Brasil 2020**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. 2020. Disponível em: <https://floradobrasil2020.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB614473>.

FLORENTINO, A. L.; FERRAZ, A. V.; CARVALHO, M. E.; MATEUS, N. S.; MASULLO, L. S.; MONTELEONE, R. C.; GAZIOLA, S. A.; AZEVEDO, R. A.; LAVRES, J.; GONÇALVES, J. L. Wood production and nutritional and antioxidant status of field-grown Eucalyptus under a differential supply of lime and copper plus zinc. **Industrial Crops and Products**, Elsevier, v. 175, p. 114192, jan 2022. ISSN 0926-6690.

FLORES, T. B.; ALVARES, C. A.; SOUZA, V. C.; STAPE, J. L. **Eucalyptus no Brasil: zoneamento climático e guia para identificação**. IPEF Piracicaba, 2016.

FRICKE, W. Night-time transpiration—favouring growth? **Trends in Plant Science**, Elsevier, v. 24, n. 4, p. 311–317, 2019.

GENTIL, M. S. Transpiração e eficiência do uso da água em árvores clonais de Eucalyptus aos 4 anos em áreas com e sem irrigação em Eunápolis, Bahia. p. 71, 2010.

GEROLAMO, C. S. Transporte de água em plantas: da anatomia as funções do xilema. **Laboratório de Fisiologia Vegetal**, p. 82, 2021.

GRANIER, A. Une nouvelle methode pur la mesure du flux de seve brute dans le tronc des arbres. In: **Annales des Sciences Forestières**. 1985. v. 42, p. 81–88.

GRANIER, A. Evaluation of transpiration in a Douglas-fir stand by means of sap flow measurements. **Tree Physiology**, v. 3, n. 4, p. 309–320, 1987. ISSN 0829-318X.

HATFIELD, J. L.; DOLD, C. Water-use efficiency: advances and challenges in a changing climate. **Frontiers in plant science**, Frontiers Media SA, v. 10, p. 103, 2019.

HELLER L; PÁDUA, V. L. d. **Abastecimento de Água para Consumo Humano**. UFMG, 2006.

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

HUBER, B. Beobachtung und messung pflanzlicher saftstromes. **Ber. deutsch. Bot. Ges.**, v. 50, p. 89–109, 1932.

IBÁ. Anuário estatístico do IBÁ. ano base 2020. industria brasileira de árvores. **Associação Brasileira de Árvores**, p. 160, 2020.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal**. Guanabara Koogan Rio de Janeiro, 2004.

KIGALU, J. M. Effects of planting density on the productivity and water use of tea (*Camellia sinensis* L.) clones: I. Measurement of water use in young tea using sap flow meters with a stem heat balance method. **Agricultural Water Management**, Elsevier, v. 90, n. 3, p. 224–232, jun 2007. ISSN 0378-3774.

KLAR, A. E. **A água no sistema solo-planta-atmosfera**. Nobel São Paulo, 1984.

- KÖSTNER, B.; GRANIER, A.; CERMÁK, J. Sapflow measurements in forest stands: methods and uncertainties. In: EDP SCIENCES. **Annales des sciences forestières**. 1998. v. 55, n. 1-2, p. 13–27.
- KRAMER, R. J.; BOUNOUA, L.; ZHANG, P.; WOLFE, R. E.; HUNTINGTON, T. G.; IMHOFF, M. L.; THOME, K.; NOYCE, G. L. Evapotranspiration trends over the Eastern United States during the 20th century. **Hydrology**, v. 2, n. 2, p. 93–111, 2015. ISSN 23065338.
- LACLAU, J.-P.; RANGER, J.; DELEPORTE, P.; NOUVELLON, Y.; SAINT-ANDRÉ, L.; MARLET, S.; BOUILLET, J.-P. Nutrient cycling in a clonal stand of eucalyptus and an adjacent savanna ecosystem in congo: 3. input–output budgets and consequences for the sustainability of the plantations. **Forest ecology and management**, Elsevier, v. 210, n. 1-3, p. 375–391, 2005.
- MADURAPPERUMA, W. S.; BLEBY, T. M.; BURGESS, S. S. Evaluation of sap flow methods to determine water use by cultivated palms. **Environmental and Experimental Botany**, Elsevier, v. 66, n. 3, p. 372–380, 2009.
- MAIER, C. A.; ALBAUGH, T. J.; COOK, R. I.; HALL, K.; MCINNIS, D.; JOHNSEN, K. H.; JOHNSON, J.; RUBILAR, R. A.; VOSE, J. M. Comparative water use in short-rotation eucalyptus benthamii and pinus taeda trees in the southern united states. **Forest ecology and management**, Elsevier, v. 397, p. 126–138, 2017.
- MARSHALL, D. Measurement of sap flow in conifers by heat transport. **Plant physiology**, Oxford University Press, v. 33, n. 6, p. 385, 1958.
- MARTIN NETO, L.; GALERANI, P. R.; COSTA, J. L. d. S. Pesquisa, desenvolvimento e inovações em face de ameaças sanitárias para a agropecuária brasileira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, SciELO Brasil, v. 51, p. i–viii, 2016.
- MEDEIROS, J. L. V.; MOREAU, A. M. S. d. S.; MOREAU, M. S. A cultura do eucalipto na região do extremo sul do estado da Bahia. **Boletim Campineiro de Geografia**, v. 11, n. 1, p. 117–135, 2021.
- MENCIA, F. P. H.; ZANCHI, F. B.; LOPES, E. R. do N. Climatic characteristics and their implications among the pedological and topographical aspects of southern bahia, brazil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 29, p. 24–48, 2021.
- MENDES, R. M. de S.; LUCENA, E. M. P. de; MEDEIROS, J. B. L. de P. **Princípios de Fisiologia Vegetal**. 2015. 126 p. ISBN 9788578263508.
- MIGACZ, I. P.; RAESKI, P. A.; ALMEIDA, V. P. d.; RAMAN, V.; NISGOSKI, S.; MUNIZ, G. I. B. d.; FARAGO, P. V.; KHAN, I. A.; BUDEL, J. M. Comparative leaf morpho-anatomy of six species of eucalyptus cultivated in brazil. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, SciELO Brasil, v. 28, p. 273–281, 2018.
- OOGATHOO, S.; HOULE, D.; DUCHESNE, L.; KNEESHAW, D. Vapour pressure deficit and solar radiation are the major drivers of transpiration of balsam fir and black spruce tree species in humid boreal regions, even during a short-term drought. **Agricultural and Forest Meteorology**, Elsevier, v. 291, p. 108063, 2020.

PIRES, M. de M.; AGUIAR, P. C. B. D.; SANTANA, É. G. F. Efeitos socioeconômicos do cultivo de eucalipto no desenvolvimento de municípios produtores da bahia, brasil. **Geosul**, v. 35, n. 75, p. 231–256, 2020.

PONTES, P. R. M.; FAN, F. M.; FLEISCHMANN, A. S.; PAIVA, R. C. D. de; BUARQUE, D. C.; SIQUEIRA, V. A.; JARDIM, P. F.; SORRIBAS, M. V.; COLLISCHONN, W. MGB-IPH model for hydrological and hydraulic simulation of large floodplain river systems coupled with open source GIS. **Environmental Modelling and Software**, v. 94, p. 1–20, 2017. ISSN 13648152.

POORTER, L.; CRAVEN, D.; JAKOVAC, C. C.; SANDE, M. T. van der; AMISSAH, L.; BONGERS, F.; CHAZDON, R. L.; FARRIOR, C. E.; KAMBACH, S.; MEAVE, J. A. et al. Multidimensional tropical forest recovery. **Science**, American Association for the Advancement of Science, v. 374, n. 6573, p. 1370–1376, 2021.

REICHARDT, K. **Água em sistemas agrícolas**. 1987.

RIBEIRO, J. P. O.; SILVA, C. J. d. et al. Ontogenia das cavidades secretoras de onze espécies de myrtaceae. Fundação Oswaldo Cruz. Farmanguinhos. Núcleo de Gestão em Biodiversidade e Saúde, 2021.

ROCHA, L. B. **A região cacaueira da Bahia - dos coronéis à vassoura-de-bruxa: saga, percepção, representação**. 2008. 255 p. ISBN 9788574551470. Disponível em: <http://nbcgib.uesc.br/admin/images/paginas/files/MAIZA.pdf>.

SAKURATANI, T. A heat balance method for measuring water flux in the stem of intact plants. **Journal of Agricultural Meteorology**, The Society of Agricultural Meteorology of Japan, v. 37, n. 1, p. 9–17, 1981.

SANT, A. G. et al. Cluster madeireiro: o eucalipto, a celulose e o desenvolvimento do extremo sul da bahia. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 40, n. 4, p. 725–750, 2009.

SANTOS, Y. A. P.; CARVALHO, L. F.; MARTINI, A. Influencia del tamaño de los árboles en la mejora del microclima urbano en viçosa-mg, brasil. **Revista Forestal Mesoamericana Kurú**, <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/legalcode>, v. 18, n. 43, p. 53–61, 2021.

SCHLESINGER, W. H.; JASECHKO, S. Transpiration in the global water cycle. **Agricultural and Forest Meteorology**, Elsevier, v. 189-190, p. 115–117, jun 2014. ISSN 01681923.

SETTE, C. R.; Tomazello Filho, M.; SILVA, F. G. da; LACLAU, J. P. Alterações nas características químicas da madeira com a substituição do k por na em plantações de eucalipto. **Revista Arvore**, v. 38, n. 3, p. 569–578, 2014. ISSN 18069088.

SILVA, G. M. d. F.; LOPES, E.; ZANCHI, F.; SILVA, J. Divisão fisiográfica da bacia do rio buranhém como subsídio para o planejamento e gestão dos recursos hídricos. **Gaia Scientia, João Pessoa**, v. 14, p. 117–135, 2020.

SILVA, G. M. d. F.; Reis do Nascimento Lopes, E.; Berton Zanchi, F.; Batista Lopes da Silva, J. Divisão fisiográfica da bacia do rio Buranhém como subsídio para o planejamento e gestão dos recursos hídricos. **Gaia Scientia**, v. 14, n. 4, p. 117–135, 2020.

- SILVA, R. B. G. da; SIMÕES, D.; SILVA, M. R. da. Qualidade de mudas clonais de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* em função do substrato. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 3, p. 297–302, 2012.
- SOUZA, C. M. P. de; FONTES, E. d. O.; MOREAU, A. M. d. S. Zoneamento geoambiental e transformacoes da paisagem dos municípios Porto Seguro e Santa Cruz Cabralia-BA. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 5, n. 2, p. 41–53, 2011.
- STAPE, J. L.; BINKLEY, D.; RYAN, M. G. Eucalyptus production and the supply, use and efficiency of use of water, light and nitrogen across a geographic gradient in Brazil. **Forest Ecology and Management**, Elsevier, v. 193, n. 1-2, p. 17–31, may 2004. ISSN 0378-1127.
- STEPPE, K.; PAUW, D. J. D.; DOODY, T. M.; TESKEY, R. O. A comparison of sap flux density using thermal dissipation, heat pulse velocity and heat field deformation methods. **Agricultural and Forest Meteorology**, Elsevier, v. 150, n. 7-8, p. 1046–1056, 2010.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Artmed Editora, 2017.
- TAMADDUN, K. A.; KALRA, A.; BERNARDEZ, M.; AHMAD, S. Effects of ENSO on temperature, precipitation, and potential evapotranspiration of north India's monsoon: An analysis of trend and entropy. **Water (Switzerland)**, v. 11, n. 2, 2019. ISSN 20734441.
- TUCCI, C. E. M.; CLARKE, R. T. IMPACTO DAS MUDANÇAS DA COBERTURA VEGETAL NO ESCOAMENTO : REVISÃO PROCESSOS DO CICLO HIDROLÓGICO TERRESTRE Ciclo global Descrição dos processos hidrológicos na bacia. v. 2, p. 135–152, 1997.
- VELLAME, L. M.; FILHO, M. A. C.; PAZ, V. P. Transpiração em mangueira pelo método granier. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, SciELO Brasil, v. 13, p. 516–523, 2009.
- VENANCIO, L. P.; CUNHA, F. F. D.; MANTOVANI, E. C.; Do Amaral, C. H.; Do Reis, E. F. **Crop evapotranspiration: An approach to main methods applied to scientific researches and in agriculture**. 2019. 719–746 p. Disponível em: <https://irriga.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/2888/2586>.
- WANG, L.; GOOD, S. P.; CAYLOR, K. K. Global synthesis of vegetation control on evapotranspiration partitioning. **Geophysical Research Letters**, Wiley Online Library, v. 41, n. 19, p. 6753–6757, 2014.
- WFO. **World Flora Online**. <http://www.worldfloraonline.org/>, 2022. Acessado em: 30/09/2022.
- WULLSCHLEGER, S. D.; CHILDS, K. W.; KING, A. W.; HANSON, P. J. A model of heat transfer in sapwood and implications for sap flux density measurements using thermal dissipation probes. **Tree Physiology**, v. 31, n. 6, p. 669–679, 2011. ISSN 0829318X.
- XIE, X.; YAN, H.; ZENG, L. Characterizing plant root parameters with deep learning-based heat pulse method. **Geoderma**, Elsevier, v. 406, p. 115507, jan 2022. ISSN 0016-7061.

YANG, D.; YANG, Y.; XIA, J. Hydrological cycle and water resources in a changing world: A review. **Geography and Sustainability**, Elsevier, v. 2, n. 2, p. 115–122, jun 2021. ISSN 2666-6839.

ZANCHI, F. B.; KRUIJT, B.; KESSELMEIER, J.; LUIZÃO, F. J.; MANZI, A. O.; DOLMAN, A. J. Efluxo de co₂ do solo na amazônia central: efeitos ambiental e metodológico. **Acta Amazonica**, SciELO Brasil, v. 42, n. 2, p. 173–184, 2012.

ZANCHI, F. B.; WATERLOO, M. J.; TAPIA, A. P.; Alvarado Barrientos, M. S.; BOLSON, M. A.; LUIZÃO, F. J.; MANZI, A. O.; DOLMAN, A. J. Water balance, nutrient and carbon export from a heath forest catchment in central Amazonia, Brazil. **Hydrological Processes**, v. 29, n. 17, p. 3633–3648, 2015. ISSN 10991085.

ZHANG, Y.; KANG, S.; WARD, E. J.; DING, R.; ZHANG, X.; ZHENG, R. Evapotranspiration components determined by sap flow and microlysimetry techniques of a vineyard in northwest china: Dynamics and influential factors. **Agricultural Water Management**, Elsevier, v. 98, n. 8, p. 1207–1214, 2011.

ZHAO, J.; LANGE, H.; MEISSNER, H.; BRIGHT, R. M. Comparing sap flow calculations from Heat Field Deformation (HFD) and Linear Heat Balance (LHB) methods. **Agricultural and Forest Meteorology**, Elsevier, v. 321, p. 108974, jun 2022. ISSN 0168-1923.