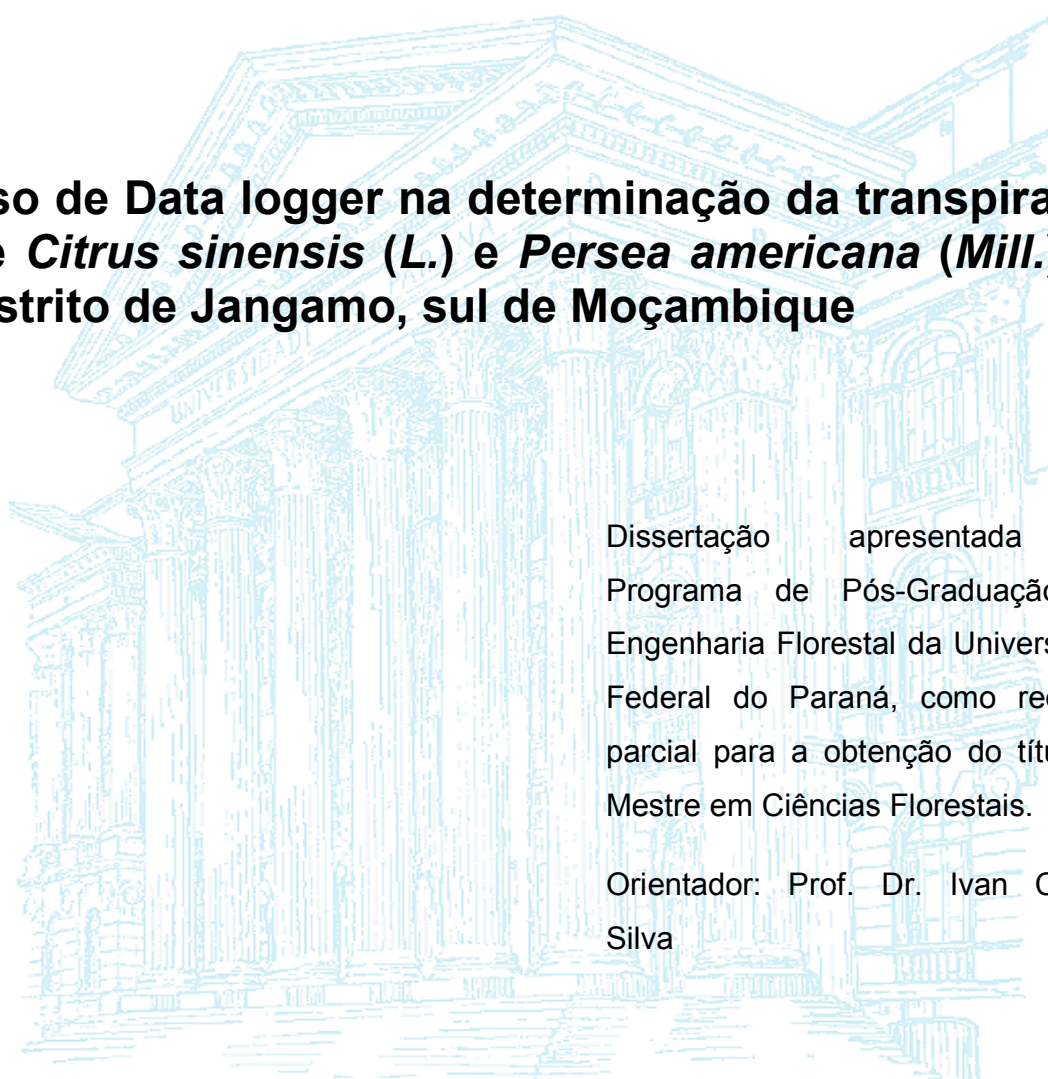


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ESTÊVÃO EDUARDO ESTÊVÃO CHAMBULE



**Uso de Data logger na determinação da transpiração de *Citrus sinensis* (L.) e *Persea americana* (Mill.) no distrito de Jangamo, sul de Moçambique**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais.

Orientador: Prof. Dr. Ivan Crespo Silva

CURITIBA

2013

ESTÊVÃO EDUARDO ESTÊVÃO CHAMBULE

**Uso de Data logger na determinação da transpiração de *Citrus sinensis* (L.) e *Persea americana* (Mill.) no distrito de Jangamo, sul de Moçambique**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais.

Orientador: Prof. Dr. Ivan Crespo Silva

CURITIBA

2013

Ficha catalográfica elaborada por Deize C. Kryczyk Gonçalves – CRB 1269/PR

Chambule, Estêvão Eduardo Estêvão

Uso de Data logger na determinação da transpiração de *Citrus sinensis* (L.) e *Persea americana* (Mill.) no distrito de Jangamo, sul de Moçambique / Estêvão Eduardo Estêvão Chambule - 2013.

86 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Ivan Crespo Silva

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal.

Defesa: Curitiba, 06/12/2013.

Inclui bibliografia

Área de concentração: Silvicultura

1. Transpiração vegetal - Moçambique. 2. Biomassa vegetal - Moçambique. 3. Solos florestais – Umidade - Moçambique. 4. Teses. I. Silva, Ivan Crespo. II. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. III. Título.

CDD – 634.9

CDU – 634.0.161.16(679)




Universidade Federal do Paraná  
Setor de Ciências Agrárias - Centro de Ciências Florestais e da  
Madeira  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

## PARECER

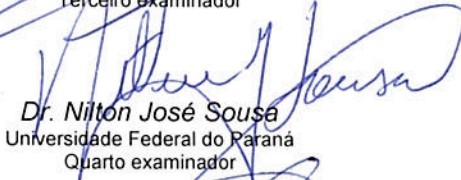
Defesa n.º 999


A banca examinadora, instituída pelo colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, após arguir o(a) mestrando(a) *Estêvão Eduardo Estêvão Chambule* em relação ao seu trabalho de dissertação intitulado "**USO DE DATA LOGGER NA DETERMINAÇÃO DA TRANSPIRAÇÃO DE *Citrus sinensis* (L.) e *Persea americana* (Mill.) NO DISTRITO DE JANGAMO, SUL DE MOÇAMBIQUE**", é de parecer favorável à **APROVAÇÃO** do(a) acadêmico(a), habilitando-o(a) ao título de *Mestre* em Engenharia Florestal, área de concentração em SILVICULTURA.

  
Dr. Gabriela Schmitz Gomes  
UNICENTRO  
Primeiro examinador

  
Dr. Marcelo França Arco-Verde  
Embrapa Florestas  
Segundo examinador


  
Dr. Dartagnan Baggio Emerenciano  
Universidade Federal do Paraná  
Terceiro examinador

  
Dr. Nilton José Sousa  
Universidade Federal do Paraná  
Quarto examinador

  
Dr. Ivan Crespo Silva  
CEPLAC - Comissão Executiva do Plano L. Cacaueira  
Orientador e presidente da banca examinadora



Curitiba, 06 de dezembro de 2013.

  
**Antonio Carlos Batista**  
Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal  
**Jorge Luis Monteiro de Matos**  
Vice-Coodenador

## DEDICATÓRIA

À minha esposa Fátima Florentina Alide;

Ao meu querido filho Iker Estêvão Chambule;

Aos meus pais Eduardo Estêvão Chambule e Laura Manuel Langa;

Aos meus irmãos Manuel, Amália, Salomão e Yolanda Eduardo Chambule;

Ao meu irmão António Eduardo Chambule (*In memoriam*).

**Dedico**

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar agradeço a Deus pela vida, benção e proteção em todos os momentos da minha vida.

Ao meu orientador Prof. Dr. Ivan Crespo Silva pela orientação, ensinamentos e confiança.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) através do Programa de Estudantes Convênio de Pós-Graduação (PEC-PG) pela concessão da bolsa de estudo.

Aos professores da Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal da Universidade Eduardo Mondlane (UEM), Prof. Dr. Adolfo Dinis Bila e Eng. Francisco António Geje pelo apoio moral e força transmitida.

Ao Programa UEM-SAREC 13 pela concessão dos dados em especial ao Eng. Alberto Jaime Macucule pelo apoio prestado.

Ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná (UFPR), pela oportunidade de aprimoramento técnico-científico através da realização deste curso.

Aos professores e funcionários do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná (UFPR).

Aos colegas Narciso Bila, Reinaldo Luís, Anabela Fernades, Aires Banze e Vitor Nypwipwy pela amizade e companheirismo durante a realização do curso.

Aos colegas das turmas de Silvicultura e Ecologia e Fitogeografia Florestal, em especial a Sarah Lobato, Ettiënne Winagraski e Maciel Baptista pelo acolhimento.

A todos os que não foram aqui mencionados, mas que direta ou indiretamente contribuíram para a minha formação, vai o meu muito obrigado.

## SUMÁRIO

<b>DEDICATÓRIA .....</b>	<b>v</b>
<b>AGRADECIMENTOS .....</b>	<b>vi</b>
<b>LISTA DE FIGURA .....</b>	<b>x</b>
<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>xi</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS .....</b>	<b>xii</b>
<b>LISTA DE ANEXOS .....</b>	<b>xiv</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>xv</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xvi</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>xvii</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>18</b>
1.1 PROBLEMA E JUSTIFICATIVA .....	20
1.2 HIPÓTESES .....	21
1.3 OBJETIVOS .....	22
1.3.1 Objetivo Geral .....	22
1.3.2 Objetivos Específicos .....	22
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>23</b>
2.1 CARACTERIZAÇÃO DE MOÇAMBIQUE.....	23
2.1.1 Vegetação .....	23
2.1.2 Solos .....	24
2.1.3 Clima .....	25
2.1.4 Situação Macro Econômica.....	25
2.2 DESCRIÇÃO E IMPORTÂNCIA DOS QUINTAIS CASEIROS.....	27
2.2.1 Funcionamento do Data logger .....	30

2.3 ESTUDOS DE CASO COM DATA LOGGER.....	34
2.4 MÉTODO DE PROPORÇÃO DE CALOR (HRM – Sigla Inglesa) .....	36
2.4.1 Influência do Tempo de Medição .....	37
2.4.2 Correção do Desalinhamento do Sensor.....	38
2.4.3 Danos nas Plantas Provocados pelos Sensores: Correção dos Efeitos .....	38
2.4.4 Determinação da Velocidade da Seiva .....	39
2.4.5 Conversão de Velocidade da Seiva para Fluxo de Líquidos .....	40
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>41</b>
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	41
3.1.1 Seleção da Propriedade e das Espécies.....	44
3.3.2 Ciclo e Processo de Medição .....	50
3.3.3 Estação Meteorológica Automática .....	51
3.3.4 Data logger CR10X .....	53
3.3.5 Solarímetro ou Piranômetro LP02 .....	54
3.3.6 Udômetro.....	54
3.3.7 Sensor de Temperatura e Umidade Relativa .....	55
3.3.8 Conjunto de Anemômetro e de Direção do Vento .....	55
3.3.9 Potencial Hídrico, Conteúdo Volumétrico de Água e Temperatura do Solo .....	56
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>59</b>
4.1 DATA LOGGER NA DETERMINAÇÃO DA TRANSPIRAÇÃO DO ABACATEIRO E DA LARANJEIRA (SISTEMA HPV) .....	59
4.1.1 Transpiração do Abacateiro e da Laranja.....	59
4.2 INFLUÊNCIA DE FATORES AMBIENTAIS NA TRANSPIRAÇÃO DE <i>PERSEA AMERICANA</i> E <i>CITRUS CINENSIS</i> .....	62
4.2.1 Temperatura.....	62



4.2.2 Radiação Solar .....	63
4.2.3 Déficit de pressão de vapor (DPV) .....	64
4.2.4 Velocidade do vento .....	65
4.2.5 Umidade do solo .....	66
4.2.6 Umidade relativa do ar .....	67
4.4 DISPONIBILIDADE DE ÁGUA NO SOLO .....	71
<b>5 CONCLUSÕES .....</b>	<b>73</b>
<b>6 RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>74</b>
<b>7 REFERÊNCIAS.....</b>	<b>75</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>78</b>

## LISTA DE FIGURA

FIGURA 1. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	41
FIGURA 2. VEDAÇÃO DA ÁREA DO EXPERIMENTO PARA EVITAR ENTRADA DE GADO E VANDALISMO .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
FIGURA 3. REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DA DISPOSIÇÃO DOS SENSORES TÉRMICOS E DO AQUECEDOR NA ÁRVORE.....	46
FIGURA 4. DATA LOGGER CR1000 (EM CIMA À ESQUERDA), DATA LOGGER CR10X (EM CIMA À DIREITA) E O MULTIPLEXER AM 16/32 (EM BAIXO).....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
FIGURA 5. INSTALAÇÃO DO SISTEMA DE VELOCIDADE DE PULSO DE CALOR (HPV SIGLA INGLESA), A ESQUERDA ABERTURA DE FUROS NO ABACATEIRO E A DIREITA CONEXÃO DOS SENSORES NO DATALOGGER.....	48
FIGURA 6. MONTAGEM DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA AUTOMÁTICA.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
FIGURA 7. DISPOSIÇÃO DOS SENSORES DE UMIDADE NO SOLO SEM.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
COMPONENTE ARBÓREO (À ESQUERDA) E COM COMPONENTE.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
FIGURA 8. TRANSPIRAÇÃO DIÁRIA DO ABACATEIRO E DA LARANJEIRA....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
FIGURA 11. TRANSPIRAÇÃO DIÁRIA DO ABACATEIRO E DA LARANJEIRA VS DÉFICIT DE PRESSÃO DE VAPOR.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
FIGURA15. (a) UMIDADE DO SOLO COM COMPONENTE ARBÓREO, (b) EVAPOTRANSPIRACAO (c) UMIDADE DO SOLO SEM COMPONENTE ARBÓREO E (d) PRECIPITAÇÃO.....	71

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1. DETALHES DA INSERÇÃO DOS SENSORES TÉRMICOS NAS ÁRVORES.....	47
TABELA 2. DISPOSIÇÃO DOS SENSORES NAS COVAS .....	56
TABELA 3. EQUAÇÕES DE REGRESSÃO STEPWISE DA TRANSPIRAÇÃO DIÁRIA ( $\hat{Y}$ ) EM FUNÇÃO TEMPERATURA (T), RADIAÇÃO SOLAR ( $R_{solar}$ ), DÉFICIT DE PRESSÃO DE VAPOR (DPV), VELOCIDADE DO VENTO ( $V_{vento}$ ), UMIDADE DO SOLO ( $U_{solo}$ ).....	70

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AC – Corrente Alternada

CSIRO – *Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization*

DNFFB – Direção Nacional de Florestas e Fauna Bravia

EDA – *Environmental Data Acquisition*

EEPROM – *Electronically Erasable e Programmable Read Only Memory*

FAO – *Food and Agriculture Organization*

GDJ – Governo do Distrito de Jangamo

GOES – *Geostationary Orbiting Environmental Satellite*

ha - hectare

HRM – *Heat Ratio Method*

HPV – *Heat Pulse Velocity*

ICRAF – *World Agroforestry Centre*

INE – Instituto Nacional de Estatística

ICT – *Information and Communication Technology*

kPa - QuiloPasacal

LOE – *Low Earth Orbiting*

MAE – Ministério da Administração Estatal

MICOA – Ministério para a Coordenação da Ação Ambiental

PIB – Produto Interno Bruto

RAM – *Random Access Memory*

mA – miliampere

mV – milivolt

VIF – *Variance Inflation Factor*

## LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1. OUTPUT SPSS DAS ANÁLISES ESTATÍSTICAS DO ABACATEIRO ....	78
ANEXO 2. OUTPUT SPSS DAS ANÁLISES ESTATÍSTICAS DA LARANJEIRA .....	82
ANEXO 3. OUTPUT SPSS DO TEST T PARA MÉDIAS DE UMIDADE DO SOLO COM E SEM O COMPONENTE ARBÓREO.....	84
ANEXO 4. COEFICIENTE DE VARIAÇÃO .....	85
ANEXO 5. SENSORES MÉTODO DE PROPORÇÃO DE CALOR (HRM sigla Inglesa) .....	86

## RESUMO

O presente trabalho foi desenvolvido num quintal agroflorestal, no distrito de Jangamo, a sul de Moçambique com o objetivo de determinar a transpiração de *Citrus sinensis* e *Persea americana*, bem como o efeito dos fatores ambientais sobre este processo. Para esta finalidade e usando o caule das plantas, foi montado o sistema de velocidade de pulso de calor e conectados os sensores térmicos ao Data logger CR 1000 para medir a velocidade com que os líquidos se movem na planta e sensores de umidade do solo para monitorar a disponibilidade de água no mesmo. Simultaneamente foi instalada uma estação meteorológica automática, com o Data logger CR10X, para colher dados climáticos da área que irão permitir avaliar a sua influência no processo de transpiração. Os resultados obtidos foram analisados com o SPSS 20, e com base nessas análises concluiu-se que *Citrus sinensis* apresentava maiores taxas de transpiração que *Persea americana*. O estudo também sugere o déficit de vapor de pressão como sendo o fator ambiental que mais controla a transpiração no ambiente de quintal agroflorestal. Em relação à disponibilidade de umidade, o solo sem componente arbóreo mostrou maior capacidade de retenção do que o solo com o componente arbóreo, o teste *t* mostrou que a diferença era significativa.

PALAVRAS CHAVE: Data logger, transpiração, *Persea americana*, *Citrus sinensis*.

## ABSTRACT

This work was developed in a home garden, in Jangamo district, Inhambane province south of Mozambique in order to determine the transpiration of *Citrus sinensis* and *Persea americana*, as well as the effect of environmental factors affecting this process. For this purpose was installed the Heat Pulse Velocity system where were connected to the Data logger CR 1000 thermal sensors to measure the rate at which fluids move in the plant and soil moisture sensors to monitor the availability of water in it. Was simultaneously installed an automatic weather station with Data logger CR10X to monitor climatic data that enabled assessment of its influence on the process of transpiration of the two species. The results were analyzed using SPSS 20, and based on these analyzes it was concluded that *Citrus sinensis* had higher rates of transpiration than *Persea americana*. The study also suggests the vapor pressure deficit as the environmental factor that more controls transpiration in the environment of a home garden. Regarding the availability of soil moisture no tree component showed higher retention capacity than the soil with the tree component; the t test showed that the difference was significant.

KEYWORDS: Data logger, transpiration, *Persea americana*, *Citrus sinensis*.



## RESUMEN

Este trabajo se desarrolló en un huerto casero mixto, distrito Jangamo, provincia de Inhambane al sur de Mozambique, con el fin de determinar la transpiración de *Citrus sinensis* y *Persea americana*, así como el efecto de los factores ambientales en este proceso. Para este propósito y utilizando el caule de las plantas, fue montado el sistema velocidad de pulso de calor y conectados los sensores térmicos al Data logger CR 1000 para medir la velocidad de los fluidos que se mueven en la planta y sensores para medir la humedad del suelo para monitorear la disponibilidad de agua en el mismo. Simultáneamente se instaló una estación meteorológica automática con al Data logger CR10X para cosechar datos climáticos que permitan la evaluación de su influencia en el proceso de transpiración de las especies. Los resultados se analizaron con el programa SPSS 20, y en base a estos análisis se concluyó que *Citrus sinensis* tenía tasas más altas de transpiración que *Persea americana*. El estudio también sugiere que el déficit de presión de vapor como el factor ambiental que controla la sudoración más en el medio ambiente de un huerto casero mixto. En cuanto a la disponibilidad de la humedad del suelo no mostró ningún componente de árbol con mayor capacidad de retención del suelo con el componente de árbol, el test de la t demostró que la diferencia fue significativa.

PALABRAS CLAVE: Data logger, la transpiración, *Persea americana*, *Citrus sinensis*.

## 1 INTRODUÇÃO

O conhecimento das variáveis ambientais que controlam o uso da água pelas árvores deve ajudar nos esforços para gerir a competição por água entre árvores e culturas agrícolas em sistemas agroflorestais.

As medições de processos fisiológicos, como a fotossíntese, a respiração e a transpiração podem parecer muito afastadas da atividade florestal ou arborícola, mas o caso é que para se conseguir um eficiente crescimento das árvores se torna necessário saber como crescem e a razão das respectivas reações em face dos vários fatores do meio e dos tratamentos culturais a que são sujeitos (KRAMER & KOZLOWSKI, 1960).

O crescimento constitui o resultado final da interação de numerosos processos fisiológicos, sendo necessário para perceber o motivo porque às árvores crescem diferentemente, sob várias condições do meio e quando sujeitas a tratamentos culturais distintos, compreender como os processos básicos que governam o crescimento são afetados pelo meio ambiente (KRAMER & KOZLOWSKI, 1960).

Conhecer as interações entre o meio e as plantas faz parte da ecofisiologia florestal que visa compreender o crescimento florestal por meio do entendimento dos processos que o governa, para permitir manejar as florestas em sintonia com o uso dos recursos naturais (STAPE, *et. al.* 2004).

Assim sendo avaliou-se as taxas de transpiração de *Citrus sinensis* e *Persea americana*, duas espécies muito comuns em quintais agroflorestais do distrito de Jangamo, província de Inhambane em Moçambique. Para o efeito usou-se o Data logger CR 1000, pois este aparelho permite a coleta e armazenamento de dados ambientais através de leituras efetuadas a partir de sensores.

O Data logger é um sistema de medição e de controlo robusto, que proporciona medições precisas e confiáveis em uma variedade de aplicações.

Projetado tanto para pesquisa e o dia-a-dia das operações de monitoramento, o Data logger combina a capacidade de medir praticamente qualquer sensor com a capacidade de controle para responder a condições específicas do local. Do simples ao complexo, sistemas de aquisição de dados científicos Campbell são usados em todos os continentes, no mar e no espaço (GEOSCIENTIFIC, s.d.).

Dentre várias aplicações destes aparelhos destacam-se a meteorologia, agricultura e pesquisas agrícolas, umidade do solo, qualidade do ar e na indústria. E no caso presente estudo o intuito foi usar o Data logger na determinação das taxas de transpiração de duas espécies em ambiente agroflorestal (quintal agroflorestal).

Estudos desta natureza podem ajudar na seleção de espécies que melhor se adaptam as condições dos locais onde são cultivadas, a adoção de melhores técnicas de cultivo, bem como melhorar as técnicas de manejo e práticas culturais de modo a garantir a produtividade das espécies e do sistema como um todo.

## 1.1 PROBLEMA E JUSTIFICATIVA

A maior parte da população moçambicana vive da agricultura de subsistência, que é praticada em regime de sequeiro, isto é, em áreas de fraca pluviosidade. A falta de chuvas é um fator limitante no processo produtivo das zonas semiáridas e isto se associa ao fraco conhecimento dos processos produtivos por parte dos camponeses.

Contudo as populações vêm praticando atividades agro-silvipastoris de pequena escala com uma heterogeneidade de atividades econômicas de geração de rendimentos dentro das famílias. Dentro das diferentes atividades a produção de alimentos para o consumo constitui a base principal da estrutura produtiva do setor familiar (SITOE, 2005).

Por todo país as populações praticam este tipo de agricultura em suas pequenas propriedades, com uma diversidade de culturas agrícolas, animais e espécies arbóreas para a satisfação das suas necessidades básicas.

Os sistemas agroflorestais, particularmente os quintais agroflorestais são tidos como uma alternativa sustentável através dos inúmeros benefícios que estes podem proporcionar, desde os ambientais, sociais e econômicos. Mas a falta de informação sobre este processo produtivo de grande abrangência social resulta na fraca produtividade do mesmo.

Deste modo surge à necessidade de se estudar algumas componentes comumente associadas aos quintais agroflorestais do distrito de Jangamo para permitir uma percepção de como as mesmas podem beneficiar as outras culturas e/ou em relação à retenção de água e permitir, aumento de produtividade de outras componentes.

## 1.2 HIPÓTESES

- ✓ O uso do Data logger é eficiente para a determinação da perda de água por transpiração do abacateiro e da laranjeira em quintal agroflorestal.
- ✓ Fatores ambientais influenciam diretamente a taxa de transpiração do abacateiro e da laranjeira.
- ✓ O solo com componente arbóreo retém mais água que o solo sem o componente arbóreo

## 1.3 OBJETIVOS

### 1.3.1 Objetivo Geral

- ✓ Avaliar o uso de Data logger na determinação da transpiração da Laranjeira (*Citrus sinensis L.*) e do Abacateiro (*Persea americana M.*) em quintal agroflorestal no distrito de Jangamo, província de Inhambane, sul de Moçambique.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

- ✓ Determinar a transpiração da Laranjeira (*Citrus sinensis L.*) e do Abacateiro (*Persea americana M.*) através do método razão de calor.
- ✓ Avaliar a influência de fatores ambientais na transpiração.
- ✓ Avaliar a disponibilidade de água no solo com e sem presença do componente arbóreo.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 CARACTERIZAÇÃO DE MOÇAMBIQUE

Moçambique localiza-se na costa leste da África Austral entre 10° 27' e 26° 57' de Latitudes Sul e 30° 12' e 40° 51' de Longitude Este. O país estende-se por uma superfície de 799.380 Km<sup>2</sup> (98% de terra firme e 2% de águas interiores). Os principais rios em extensão são o Zambeze (820 km), o Rovuma (650 Km), o Lúrio (605 Km), o Messalo (530 Km), o Licungo (336 Km), o Save (330 Km), o Púnguè (322 Km), o Búzi (320Km) e o Maputo (150 Km). A montanha mais alta é o monte Binga (2.436 m), situada na Província de Manica (FAO, 2009).

#### 2.1.1 Vegetação

A cobertura vegetal compreende a floresta alta e baixa, matagal, pradarias arborizadas e mangais, ocupando uma área de cerca de 62 milhões de ha que correspondem a 78% da superfície total de Moçambique, segundo dados do inventário de 1994 com base na imagem de satélite (MICOA, 2002).

As formações florestais consideradas com potencial produtivo ou madeireiro cobrem uma área de cerca de 22 milhões de ha, o que permite um corte anual de 500.000 m<sup>3</sup>. A restante vegetação é constituída por formações florestais como savanas arbóreas, caracterizadas por um fraco potencial produtivo e um baixo stock de madeira. A área estimada para a formação de mangais é de cerca de 396.000 ha (MICOA, 2002).

A vegetação natural no país é constituída por diferentes tipos de formação resultante das grandes diferenças de latitude, longitude, geologia e clima, entre outros fatores. As espécies vegetais com valor comercial são 118, representando apenas 20% da área das florestas produtivas e classificadas segundo a DNFFB em espécies preciosas e espécies de 1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup>, 3<sup>a</sup> e 4<sup>a</sup> classes, em função do seu valor

comercial e da sua procura não só no mercado interno como no externo (MICOA, 2002).

### 2.1.2 Solos

As condições geológicas e o tipo de clima são fatores que influenciam nas características dos solos, apresentando marcada diferenciação de seus efeitos. Na região norte do país, onde predominam rochas do precâmbrico e considerável precipitação, os solos predominantes são os argilosos, variando entre os franco-argilosos avermelhados que ocupam a maior área e que são mais vulneráveis à erosão e os solos argilosos vermelhos e acastanhados profundos, com boa permeabilidade e drenagem, menos susceptíveis á erosão. No litoral da região norte, a presença de rochas do fanerozoico deu origem a outro tipo de solos. São solos arenosos de dunas costeiras e de origem fluvial os que mais predominam (MICOA, 2002).

Na zona centro, predominam os franco-argilo-arenosos avermelhados, mas existem consideráveis extensões de solos franco-argilo-arenosos acastanhados ao sul da província de Tete. Ao longo da bacia do Zambeze, no curso médio e inferior deste rio, os solos fluviais, com elevada fertilidade, tomam lugar, misturando-se primeiro com os anteriores e tornando-se mais predominantes na costa (MICOA, 2002).

Ao sul do país, predominam os solos arenosos de baixa fertilidade e de baixo poder de retenção de água. Ao longo dos vales dos rios, encontram-se solos fluviais de alta fertilidade. Ao longo da fronteira e associando-se à cadeia dos Libombos, existem solos delgados, poucos profundos e muito pouco aptos para a agricultura (MICOA, 2002).



### 2.1.3 Clima

O clima de Moçambique é tropical, caracterizado por duas estações bem distintas: uma estação fria e seca, de maio a setembro e outra quente e húmida entre outubro e abril. A precipitação é mais abundante no centro e norte do país com valores variando entre 800 a 1200 mm por ano. O sul do país é geralmente mais seco no interior do que na costa onde a precipitação anual atinge cerca de 800 mm e diminui até cerca de 300 mm no distrito de Pafúri em Gaza. As temperaturas médias do ar, em geral, variam entre 25°C e 27°C no verão e 20°C e 23°C no inverno (FAO, 2009).

### 2.1.4 Situação Macro Económica

A economia moçambicana, em uma perspectiva de mercado, esteve durante muitos anos condicionada, em primeiro lugar, pelo modelo do sistema económico instituído após a independência e em segundo, pela guerra civil que durante 10 anos destruiu as infraestruturas produtivas e de serviços (MICOA, 2002).

A população total é de 20 milhões e 854 mil habitantes com 48,4% de homens e 51,6% de mulheres (INE, 2008). A maior parte da população vive nas zonas rurais (68,2%) distante das principais vias de comunicação. A densidade demográfica é de 26 hab/Km<sup>2</sup>. A taxa de crescimento natural da população é de 2,4% e a de fecundidade é de 5,2 filhos por mulher em idade fértil. A idade mediana da população é de 18 anos. A taxa de analfabetismo é de 48% (2010), a prevalência do HIV é de 16,2% (2005) e a esperança de vida é de 52,1 anos (2010) e com taxa de mortalidade infantil de 99,2 (por 1000 nados vivos, 2008). As principais religiões são a católica e a muçulmana (FAO, 2009).

A agricultura, a pecuária e a pesca são os mais importantes setores da economia, sendo que a agricultura ocupa mais de 80% da população ativa do país. As excelentes condições edafoclimáticas, principalmente nas regiões do centro e

norte do território e o potencial hídrico à superfície, permitindo a implementação de esquemas de irrigação, favorecem as culturas de rendimento – castanha de caju, cana sacarina, algodão, chá, copra, tabaco – como também as culturas designadas por alimentares – milho, arroz, mandioca, feijões, frutas tropicais e hortícolas. Alguns produtos agrícolas, madeiras e pescado, contribuíram em 1998 com 50,8% do valor total das exportações (MICOA, 2002).

O desenvolvimento da produção industrial, principalmente nos últimos três anos, tem contado com o papel predominante desempenhado pelo investimento direto estrangeiro, nas áreas da construção civil, indústrias agroalimentares, madeira, têxteis, entre outras. As indústrias ligeiras e alimentares são prioritárias, pois, além de contribuírem para a redução da importação de bens de consumo, estimulam a produção noutras áreas como a agricultura. Também, por exemplo, o crescimento dos sectores da metalurgia, do cimento e do vidro, tem sido acompanhado por outros grandes projetos como o do gás de Pande, que envolve a construção de uma fundição de ferro e aço em Maputo e uma fundição de alumínio, a MOZAL, que é o maior projeto industrial em curso. Além disso, Moçambique conta no seu subsolo com carvão, gás natural, ferro e areias pesadas nas regiões do centro e norte (MICOA, 2002).

O setor de serviços, que contribui com quase 50% para o PIB, é principalmente composto por atividades de transportes e comunicações (os corredores de desenvolvimento de Maputo, Beira e Nacala, que servem os países fronteiriços com Moçambique), de energia (a existência de um imenso depósito de gás natural na região sul e o enorme potencial de produção de energia hidroelétrica de Cahora Bassa), de turismo (com as ótimas condições que Moçambique apresenta para se tornar num dos principais destinos de turismo da África Austral) e o subsetor financeiro (MICOA, 2002).

O PIB per capita é de 450 USD (INE, 2011).

## 2.2 DESCRIÇÃO E IMPORTÂNCIA DOS QUINTAIS CASEIROS

Os quintais agroflorestais são sistemas de uso da terra nos quais há um manejo deliberado de árvores de uso múltiplo e arbustos em associações íntimas com cultivos e plantas herbáceas, ocasionalmente com animais, tudo incluído no composto residencial e manejado principalmente por mão-de-obra familiar (FERNANDES; NAIR 1986).

Os quintais agroflorestais fornecem os benefícios econômicos e sociais que são essenciais para a nutrição, bem-estar e segurança da casa. Estes quintais com sua diversidade de culturas agrícolas e arbóreas satisfazem as necessidades básicas das populações rurais. Além disso, o arranjo multi-estratificado de plantas e diversidade de espécies relativamente elevada, previne a degradação ambiental que é comumente associada com a monocultura (NAIR, 1993).

As culturas e árvores plantadas em um quintal agroflorestal são cuidadosamente dispostas para fornecer funções específicas e benéficas, que são essenciais pela sua natureza. Mas a diferença típica entre sistemas agrícolas e os quintais agroflorestais é que estes também permitem a continuidade de vários processos ecológicos essenciais que ocorrem em ecossistemas naturais de florestas tropicais, tais como a regeneração e conservação do solo, ciclagem de nutrientes e água (NAIR; SREEDHARAN, 1986).

As características mais notáveis de todos os quintais são os seus arranjos de dossel em estratos e mistura de espécies compatíveis, com cada componente ocupando um lugar específico e função (NAIR, 1993).

Preferências pessoais, nível socioeconômico e cultura parecem ser os principais determinantes da aparência, função e estrutura dos quintais agroflorestais. Junto com os benefícios nutricionais, os quintais proporcionam segurança alimentar potencial para o seu proprietário. Uma vez que a mistura diversificada de culturas

são colhidas em épocas diferentes, um fornecimento constante de alimentos de uma ou de outra forma estará disponível a partir desses quintais, em todas as épocas do ano. Produtores rurais continuam a confiar em seus quintais para melhorar a segurança alimentar das famílias contra os riscos apresentados pelo sistema de monocultura (JOSE; SHANMUGARATNAN, 1993).

Altieri (2004) afirma que embora os agroecossistemas tradicionais variem com as circunstâncias geográficas e históricas, muitas características estruturais e funcionais são compartilhadas pelos diferentes sistemas, pois eles:

- Contém um grande número de espécies;
- Exploram toda uma gama de microambientes com características distintas, tais como solo, água, temperatura, altitude, declividade ou fertilidade, seja em um único campo de cultivo seja em uma região;
- Mantém os ciclos de materiais e resíduos através de práticas eficientes de reciclagem;
- Têm como suporte interdependências biológicas complexas, resultando em certo grau de supressão biológica de pragas;
- Utilizam baixos níveis de insumos tecnológicos, mobilizando recursos locais baseados na energia humana e animal;
- Fazem uso de variedades locais e espécies silvestres de plantas e animais;
- Produzem para o consumo local.

## 2.2 DATA LOGGER E SEU FUNCIONAMENTO

Data logger é um instrumento eletrônico que registra os parâmetros ambientais, tais como temperatura, umidade relativa, velocidade e direção do vento, intensidade da luz, nível e qualidade de água ao longo do tempo. Normalmente os Data loggers são compactos, alimentados por baterias e equipados com canais de entrada do microprocessador e capacidade de armazenamento de dados. A maioria dos Data loggers usa um software que permite conectá-lo a um computador e visualizar os dados coletados (GEOSCIENTIFIC, s.d.).

O Data logger é usado para coletar informação a partir de sensores. Estes sensores podem medir parâmetros industriais tais como pressão, fluxo e temperatura ou parâmetros ambientais tais como o nível de água, velocidade do vento ou radiação solar. Hoje existem sensores disponíveis que podem medir praticamente qualquer parâmetro físico. A maioria dos sensores são baseados em teorias físicas e químicas que foram descobertas há muito tempo, tais como a teoria da pressão parcial dos gases, a teoria de Doppler e mudança de resistência do metal com a temperatura. A maioria dos sensores ambientais foram desenvolvidos a partir de sensores projetados para aplicações industriais, tais como controle de processos (afinação, moagem e estilação, etc.). Portanto muitos sensores ambientais são projetados com as mesmas características dos sensores industriais tais como saídas de 4-20 miliAmpere (mA) e alimentados por baterias e 12V (GEOSCIENTIFIC, s.d.).

## 2.2.1 Funcionamento do Data logger

### 2.2.1.1 Canais de entrada

A saída de um sensor é ligada a um canal no Data logger. Um canal é composto por um circuito concebido para o sinal do sensor (tipicamente uma tensão ou corrente) a partir do sensor para o processador do Data logger. Um único Data logger pode ter uma variedade de tipos de canais, e é necessário um canal para cada sinal de saída do sensor. Três tipos de canais são normalmente encontrados em Data loggers:

Canal analógico: são os tipos mais comuns de canais de entrada encontrados nos Data loggers multicanais uma vez que a maioria dos sensores tem uma saída analógica. Webster<sup>1</sup> define analógico como: “um mecanismo em que os dados são continuamente representados por variáveis físicas quantitativas, e ser um relógio com ponteiros de horas e minutos” (GEOSCIENTIFIC, s.d.).

Uma característica dos sinais analógicos é que eles são contínuos (ou seja, não mudam em incrementos fixos) sobre o seu alcance e a maioria dos sensores analógicos são lineares. Um sensor analógico irá produzir um sinal eléctrico, tipicamente uma tensão miliVolt (mV) que é proporcional a um parâmetro ambiental, tal como a temperatura do ar (GEOSCIENTIFIC, s.d.).

Canal digital: é o segundo tipo de canal mais encontrado em Data loggers de multicanais. Webster define digital como: “relacionado ou usa cálculos por métodos numéricos ou por unidades discretas e/ou relacionados com dados na forma de dígitos numéricos”.

---

<sup>1</sup> An American Dictionary of English Language, Noah Webster

A principal característica dos sinais digitais é que eles aumentam ou diminuem em intervalos discretos ou fixos. Graficamente a “curva” de um sinal digital pode aumentar ou diminuir na forma de “escada” como padrão. O sinal de saída tem uma característica de liga/desliga e não é contínua (GEOSCIENTIFIC, s.d.).

Interface digital serial (SDI-12): desenvolvido no final da década 1980 para tirar vantagem de microprocessadores a preços razoáveis, a SDI-12 é uma abreviatura de interface serial de dados em 1200 baud<sup>2</sup>. É um padrão para interface de Data loggers com microprocessadores baseados em processadores projetados especificamente para Aquisição de Dados Ambientais (EDA – sigla Inglesa). SDI-12 é um protocolo de comunicação padrão que fornece um meio para transferir as medições efetuadas por um sensor inteligente para o Data logger. Um microprocessador no sensor pode calibrar o sensor, controlar as medições dos sensores, converter as leituras dos sensores em unidades de engenharia, e usa o protocolo SDI-12 para transferir a leitura para o Data logger (GEOSCIENTIFIC, s.d.).

#### 2.2.1.2 Conversor A/D (analógico para digital)

Todos os sinais dos sensores analógicos, digitais e SDI-12, devem estar em formato binário para que o Data logger possa gravá-los. Formato de dados binário não é específico para Data loggers, mas é o formato fundamental utilizado por praticamente todos os computadores (GEOSCIENTIFIC, s.d.).

---

<sup>2</sup> Baud: Unidade de velocidade de transmissão/sinalização de dados e corresponde a 1Bit (1 dígito binário)

### 2.2.1.3 Microprocessador

Um processador é o circuito de lógica que responde e processa as instruções básicas que comandam um computador ou Data logger. Um microprocessador é um processador de computador em um microchip. Às vezes é chamado de chip lógico. Um microprocessador é projetado para fazer operações aritméticas que fazem uso de um número pequeno de detentores de áreas chamadas registros. Operações de microprocessadores típicos incluem adição, subtração, comparação entre dois números e obtenção de números de uma área para outra. Essas operações são resultado de um conjunto de instruções que fazem parte do desenho do microprocessador. Quando o Data logger é ligado o microprocessador é projetado para obter instruções do sistema operacional que é carregado na memória do Data logger (GEOSCIENTIFIC, s.d.).

### 2.2.1.4 Memória

Dois tipos de memória são usados em Data loggers, a RAM e a EEPROM.

A RAM do Data logger, ao contrário da RAM de um PC que é usada como “área de oficina”, pode ser utilizada para armazenar dados (leituras do canal de entrada). Chips de RAM são baratos, mas devem ser apoiados a uma bateria para reter os dados. Dados da memória RAM são baixados através da porta serial de um PC. A memória EEPROM, por sua vez, não precisa ser apoiada por uma bateria. Muitos Data loggers usam chips EEPROM para armazenar tanto o sistema operativo do microprocessador, como também para o armazenamento de dados. Um chip EEPROM pode ser programado, pode ler dados armazenados e apagá-los através da porta serial de um PC. Data loggers também podem usar cartões de dados



PCMCIA para memória, estes cartões consistem em memória EEPROM (GEOSCIENTIFIC, s.d.).

#### 2.2.1.5 Alimentação

Uma característica que distingue claramente os Data loggers dos computadores é o baixo consumo de energia. Data loggers são projetados para operar em locais remotos por longos períodos de tempo sem rede eléctrica. A maioria dos Data loggers requer uma fonte de alimentação de 12 V. As capacidades das baterias são medidas em Mili-Ampere-hora (mAh) que determina o período de tempo que a bateria pode fornecer energia para uma determinada carga. Maior capacidade requer maior tamanho e peso da bateria (GEOSCIENTIFIC, s.d.).

#### 2.2.1.6 Porta de saída de dados (Porta de comunicação do PC ou RS-232)

A maioria dos Data loggers comunica-se com o PC através de uma porta serial, o qual permite que os dados sejam transmitidos em série (um após o outro). A interface RS-232 tem sido um padrão durante décadas, como interface eléctrica entre o terminal de dados do equipamento, tal como o PC, e o equipamento de comunicação de dados em série utilizando intercâmbio de dados binário, tais como Data logger ou modem. Dados podem ser enviados nas duas direcções e muitos Data loggers usam 9600 baud como uma velocidade de comunicação padrão. Uma vez que a RS-232 é tão popular, existem muitos modems que podem ser conectados a um Data logger para recuperar os dados remotamente ou para programar o Data logger. Tanto as linhas terrestres ou telefones celulares podem ser usados com Data loggers, bem como os receptores GOE, transceptores LOE e transceptores de rádio (GEOSCIENTIFIC, s.d.).

### 2.2.1.7 Caixa de proteção

Desde que os Data loggers são instalados em locais remotos, caixa de proteção é uma exigência óbvia. A maioria dos Data loggers é acondicionada em caixas de plástico resistentes às intempéries. Para instalações sujeitas a vandalismo, um invólucro de aço deve ser usado. Infiltração de umidade no circuito do Data logger é a principal causa de falhas. Portanto os Data loggers devem ser instalados em local seco, quanto possível, podem ser usados também pacotes dessecantes no interior das caixas de proteção para absorver umidade (GEOSCIENTIFIC, s.d.).

### 2.2.1.8 Software

Um software apropriado é geralmente necessário para programar e baixar dados do Data logger. Funções do Data logger, tais como taxa de varredura do sensor, intervalo de registro, protocolo de comunicação e formato de saída (Excel, ASCII, etc.) são programados utilizando um software carregado em um PC. A maioria dos Data loggers disponíveis hoje tem um pacote de software Windows e muitos fabricantes desenvolveram um software para ser executado em um dispositivo de mão ou similar. Normalmente apenas uma licença é necessária por usuário independentemente do número de Data loggers a operar (GEOSCIENTIFIC, s.d.).

## 2.3 ESTUDOS DE CASO COM DATA LOGGER

Data loggers são amplamente usados em estações meteorológicas automáticas e tornaram-se padrão mundial para monitoramento meteorológico e climático. Na agricultura as decisões de manejo de culturas, tais como a programação da irrigação, manejo integrado de pragas, fitopatologia e previsão de

geada são baseados em dados fornecidos por estações com Data logger (CAMPBELL SCIENTIFIC, 2007).

Nas regiões de Ceres, Groblersdal e Rustenburg na África do Sul, o Data logger foi usado em pomares de maçã, laranja valência, nectarinas e pêssegos respectivamente, para medir o uso de água (transpiração e evapotranspiração total); conteúdo de água no solo; variáveis ambientais; aplicações de rega; bem como características estruturais, fisiológicas e fenológicas e mudanças dentro das espécies frutíferas (GUSH *et al.*, 2008).

Para esse efeito, os Data loggers foram instalados em áreas abertas de estações meteorológicas automáticas nas três regiões nomeadamente, Ceres, Groblersdal e Rustenburg para medir a precipitação, radiação solar, temperatura, umidade, velocidade e direção do vento em uma base horária (GUSH *et al.*, 2008).

Em simultâneo foi instalado o sistema de velocidade de pulso de calor (HPV-sigla Inglesa) (Método da Razão de Calor) para medir o fluxo de líquidos (transpiração). Foram selecionadas 6 árvores no pomar de maçã, 4 no pomar de laranja valência devido ao grande espaçamento entre as árvores (2,75 m), 3 de nectarina e 3 de pêssego (espaçamento 2x5 m para ambas as fruteiras) (GUSH, *et al.*, 2008).

Foram instalados também sensores para medir o conteúdo volumétrico de água no solo, temperatura do solo e condutividade elétrica do solo a profundidades que variam entre 10, 30 e 60 cm. Estes sensores foram conectados ao Data logger CR32X (GUSH *et al.*, 2008).

## 2.4 MÉTODO DE PROPORÇÃO DE CALOR (HRM – Sigla Inglesa)

O método da razão de calor pode medir a velocidade da seiva ( $V_s$ ), e do fluxo volumétrico de água no tecido do xilema usando um curto pulso de calor como marcador. É uma modificação do método de pulso de compensação. Ao medir a proporção de calor transportado para dois sensores de temperatura colocados simetricamente a magnitude e direção do fluxo da água pode ser calculado. Este método foi desenvolvido pela *University of Western* da Austrália e organizações parceiras ICRAF e CSIRO. Devido à natureza invasiva do presente Método da Razão de Calor (HRM- sigla Inglesa), este não é adequado para avaliação em plantas herbáceas. O operador pode escolher entre quatro modos de saída de dados desde os dados de temperatura até velocidades totalmente processadas, o que elimina a necessidade de publicar dados do processo (ICT, 2012).

O método da razão de calor mede a relação entre o aumento da temperatura, na sequência da libertação de um pulso de calor, em pontos equidistantes superior e inferior em relação a um aquecedor. A velocidade de pulso de calor é calculada de acordo com a seguinte fórmula:

$$Vh = \frac{k}{x} \ln(v1/v2) 3600 \quad (1)$$

Onde:  $Vh$  é a velocidade do pulso de calor;  $k$  é a difusividade térmica da madeira verde (fresca);  $x$  é a distância em (mm) entre os dois sensores térmicos e o aquecedor;  $v1$  e  $v2$  são os aumentos da temperatura (a partir de temperaturas iniciais) em pontos equidistantes inferior e superior, a  $x$  mm do aquecedor. A posição dos sensores térmicos em relação ao aquecedor usada no método de proporção de calor é de 6 mm. Difusividade térmica ( $k$ ) é atribuída o valor nominal de  $2.5 \times 10^{-3} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$  e este valor é posteriormente ajustado quando são determinadas as propriedades da madeira (BURGESS *et al.*, 2001).

### 2.4.1 Influência do Tempo de Medição

Burgess *et al.* (2001), citando Marshall (1958)<sup>3</sup>, afirma que a relação  $v_1/v_2$  permanece constante com o tempo, tornando o momento da medição sem importância, no entanto a descrição de Marshall (1958), citado por Burgess *et al.* (2001) não conta partindo do princípio de que o estado ideal pode surgir de duas fontes. Em primeiro lugar os padrões de transferência de calor são alterados através do bloqueio e danos aos vasos do xilema causados pela inserção dos sensores. Uma perturbação adicional da transferência de calor ocorre por causa das propriedades térmicas do material do sensor (ex: aço inoxidável). Em segundo lugar, mesmo com a colocação cuidadosa do sensor, é provável que o espaçamento seja ligeiramente assimétrico. Ambos os princípios de que  $v_1/v_2$  mudam com o tempo, e o resultado de que tempo de medição afeta os resultados.

No entanto, mesmo nos casos mais extremos, a taxa de variação  $v_1/v_2$  após 60 s se torna extremamente pequena e proporções serão eficazmente lineares e terão uma inclinação de menos 0.01. Esta descoberta tem duas implicações importantes. Primeiro as medições devem ser feitas nos primeiros 60 s após a liberação do pulso de calor. Segundo, várias amostras de  $v_1/v_2$  podem ser feitas. Por exemplo, porque a velocidade do ciclo do multiplicador de canais (multiplexer) é de 2.8 s, registramos os valores de  $v_1/v_2$  com uma média de 14 medições durante o período de 60-100 s para minimizar a contribuição de qualquer sinal de ruído para medições (BURGESS *et al.* 2001).

---

<sup>3</sup> Marshall, D.C. 1958. **Measurement of sap flow in conifers by heat transport.** Plant Physiol. 33:385–396.

### 2.4.2 Correção do Desalinhamento do Sensor

Com o HRM a colocação do sensor é medida *in situ*, a qual leva em conta a simetria térmica e a física. No  $Vh = 0$  (que pode ser imposta cortando a raiz ou o caule) o espaçamento do sensor é calculado com a seguinte fórmula:

$$x_2 = \sqrt{(4kt \ln(v_1/v_2) + x_1^2)} \quad (2)$$

Onde:  $x_2$  representa o sensor com espaçamento incorreto;  $x_1$  assume-se que tem o espaçamento correto de 0.6 cm e  $t$  é o tempo de medição. Porque o tempo tem um efeito essencialmente linear na Equação acima, de 60-100 s, pode ser resolvido usando o tempo de medição médio (80 s) ou pela média de soluções calculadas para cada valor de  $t$  usado na série de medições. Resultados das duas abordagens diferem em < 1% em casos extremos. Uma vez calculados os valores de  $x_1$  e  $x_2$  o  $Vh$  é corrigido e acordo com a Equação 1 (adaptada de Marshall 1958):

$$Vh = \frac{4kt \ln\left(\frac{v_1}{v_2}\right) - (x_2^2) + (x_1^2)}{2t(x_1 - x_2)} \cdot 3600 \quad (3)$$

Através da correção de uma pequena amostra de dados e comparando os valores não corrigidos com valores corrigidos, uma relação linear simples pode ser derivada, para ser usada para corrigir os restantes dados.

### 2.4.3 Danos nas Plantas Provocados pelos Sensores: Correção dos Efeitos

A instalação de sensores em tecidos do xilema provoca danos mecânicos substanciais. Para além da interrupção das vias do fluxo de líquidos nas plantas, a inserção dos sensores nos vasos intactos pode provocar oclusão como a planta responde a feridas formando tiloses (BARRETT, *et. al.* 1995).

Burgess *et. al.* (2001) cita Swanson (1983)<sup>4</sup> como tendo gerado um número limitado de coeficientes para configurações de sensores simétricos tais como o HRM. Infelizmente, tal como os coeficientes para o CHPM, as soluções de Swanson (1983) não passam pela origem e as correções resultantes produzem uma aproximação pobre de baixa, zero e inversa do fluxo seiva. Por isso, desenvolveu-se um novo modelo numérico para neutralizar o efeito dos ferimentos.

Para corrigir a velocidade do impulso de calor medido com o HRM, três coeficientes *b*, *c* e *d* são usados na equação abaixo:

$$V_c = bV_h + cV_h^2 + dV_h^3 \quad (4)$$

Onde: *V<sub>h</sub>* – Velocidade do pulso de calor; *V<sub>c</sub>* – Velocidade do pulso de calor corrigida.

#### 2.4.4 Determinação da Velocidade da Seiva

De acordo com Burgess *et al* (2001) apenas uma porção do tecido do xilema (lúmen do xilema) contém seiva móvel. Os sensores medem eficazmente uma média ponderada das velocidades de movimento da seiva e madeira “estacionaria”. A velocidade da seiva pode ser medida em uma base de área medindo as fracções de seiva e madeira no xilema e contabilizar as densidades e calor específico. Barrett, *et. al.* (1995) modificou a equação de Marshall (1958) relacionando *V<sub>c</sub>* à velocidade da seiva conforme equação a seguir:

(5)

---

<sup>4</sup> Swanson, R.H. 1983. **Numerical and experimental analyses of implanted-probe heat pulse velocity theory**. Ph.D. Thesis, University of Alberta, Edmonton, Canada, 298 p.

$$V_s = \frac{Vc \rho_b (c_w + m_c c_s)}{\rho_s c_s}$$

Onde:  $\rho_b$  é a densidade básica da madeira (peso seco/volume verde),  $c_w$  e  $c_s$  são o calor específico da capacidade da matriz da madeira (1200 Jkg<sup>-1</sup> °C<sup>-1</sup> a 20 °C (Becker e Edwards, 1999)<sup>5</sup>) e seiva (água, 4182 Jkg<sup>-1</sup> °C<sup>-1</sup> a 20 °C (Lide, 1992)<sup>6</sup>), respectivamente,  $m_c$  é a água contida no alburno e  $\rho_s$  é a densidade da água,  $V_s$  velocidade da seiva.

#### 2.4.5 Conversão de Velocidade da Seiva para Fluxo de Líquidos

O fluxo volumétrico pode ser prontamente obtido como produto da velocidade da seiva ( $V_s$ ) e a área da secção transversal de condução do alburno. A área da secção transversal da madeira é calculada a partir do seu raio sem casca. Área do cerne é descontada por coloração do alburno, ou através da observação de uma cor escura frequentemente associada ao cerne. Onde velocidade da seiva ( $V_s$ ) é estimada em várias profundidades radiais, a área total do alburno é dividida em anéis concêntricos delimitados pelos pontos médios entre profundidades de medição. Deste modo as estimativas pontuais da velocidade da seiva ( $V_s$ ) são ponderadas de acordo com a quantidade de realização do alburno no anel da amostra (BURGESS *et. al.* 2001).

---

<sup>5</sup>Becker, P. and W.R.N. Edwards. 1999. **Corrected heat capacity of wood for sap flow calculations.** Tree Physiol. 19:767–768.

<sup>6</sup>Lide, D.R. 1992. **Handbook of chemistry and physics**, 73rd Ed. CRCPress Inc., Boca Raton, FL., pp 6–10.



### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O distrito de Jangamo, com sede a 28 km da capital provincial, fica situado a sul da província de Inhambane e é limitado a Norte pelas cidades de Inhambane e Maxixe, a Sul pelo distrito de Inharrime, a Oeste pelos distritos de Inharrime e Homoíne e a Este pelo Oceano Índico (FIGURA 1).

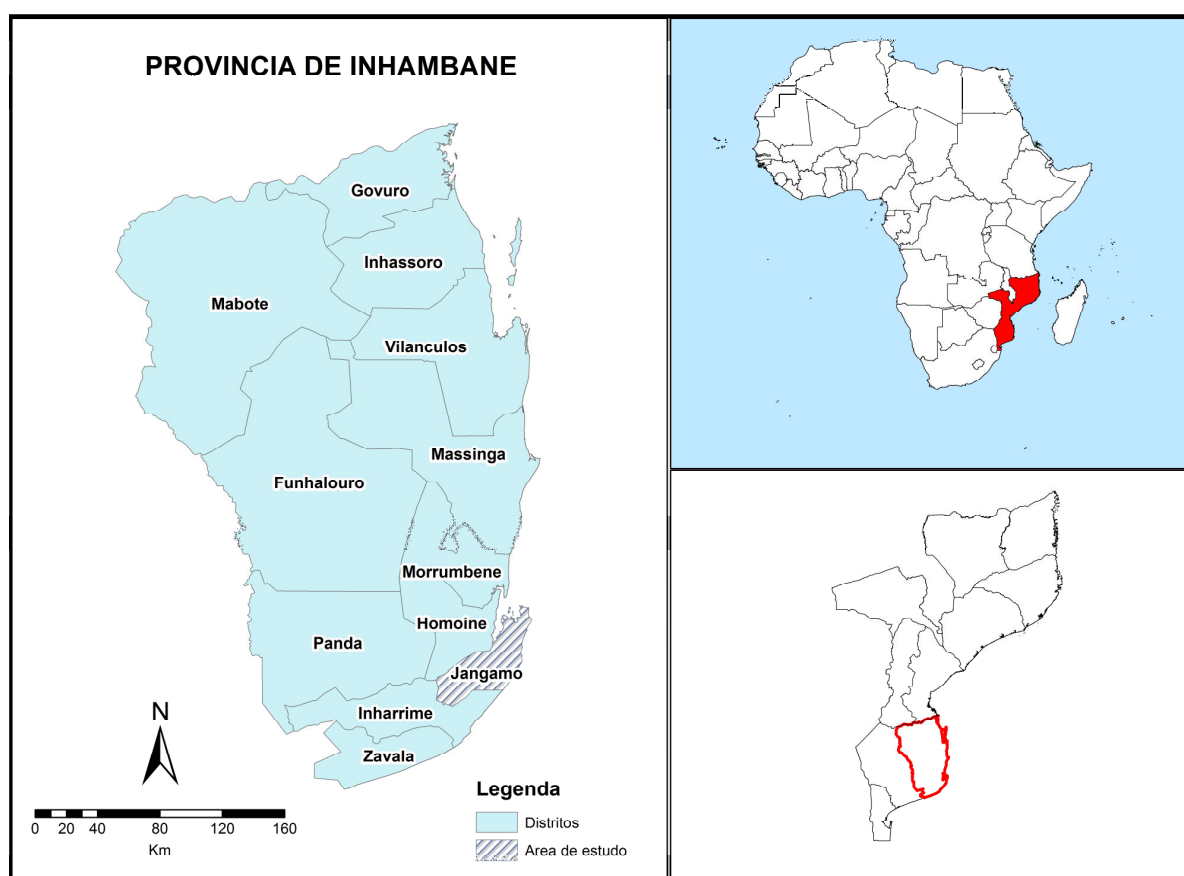


FIGURA 1. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Fonte: adaptado do <http://www.diva-gis.org/> (2013)

O distrito de Jangamo tem uma superfície de 1 294Km<sup>2</sup> e uma população de 93.681, de acordo com os resultados preliminares do censo de 2007, tendo como

resultado uma densidade populacional de 72,4 habitantes/km<sup>2</sup>. A população recenseada em 2007 representa um aumento de 15,5% em relação aos 81.210 habitantes registrados no censo de 1997 (MAE, 2005).

O distrito está dividido em dois Postos Administrativos nomeadamente: o Posto Administrativo de Jangamo e o Posto Administrativo de Cumbana. Possui cinco localidades; Jangamo, Ligogo e Massavana (Posto Administrativo de Jangamo) e as localidades de Cumbana e Bambela (Posto Administrativo de Cumbana), (MAE, 2005).

O clima predominante no distrito, de acordo com a classificação de Köppen, é o tropical úmido (Aw), influenciado pelos ventos do canal de moçambique, com duas estações ao longo do ano: a chuvosa, a partir de outubro a março, e a seca o resto do ano. A precipitação média anual do distrito varia de 800 a 1400 mm, com maior intensidade na região costeira (Posto Administrativo de Jangamo). A temperatura média anual é de 23,8 °C e uma umidade relativa média de 76,7% (MAE, 2005).

Uma das características notórias do distrito prende-se no fato ser costeiro, e possuir pequenas dunas com altitudes que atingem 100 m e outras maiores com altitudes observadas nas dunas interiores ocidentais que atingem 140 m as mais baixas nas planícies aluviais e nas lagoas (GDJ, 2011).

Os solos do distrito de Jangamo são arenosos, pouco evoluídos de granulometria que varia de média a fina e de cor variável dependendo do teor do material orgânico presente. Nos pântanos e zonas de inundação temporária as áreas são argilosas de cor castanho-escura. De um modo geral os solos são pobres para a agricultura, devido à fraca capacidade de retenção de água e baixo conteúdo de nutrientes. A produção agrícola depende da precipitação (GDJ, 2011).

A atividade agrícola é praticada em todo distrito, na sua maioria pelo setor familiar disperso, onde predominam solos fortemente arenosos. Os sistemas de produção são dominados por culturas pouco tolerantes à seca, sendo única cultura

mais tolerante a mandioca (*Manihot esculenta*), em geral consociada com leguminosas como o amendoim (*Arachis hypogaea*), o feijão nhemba (*Vigna unguiculata*) entre outras espécies de feijões como o feijão jugo (*Vigna subterranea*) exploradas em duas épocas e que dependem exclusivamente das quedas pluviométricas. Além destas, associam-se também as culturas exploradas durante todo ano em condições de regadio (irrigação) nas zonas baixas dos rios e lagoas (GDJ, 2011).

O coqueiro (*Cocus nucifera*) ocupa extensas áreas e constitui uma das plantas mais importantes para a economia da população de Jangamo; seguindo esta cultura estão os citrinos; laranjeira (*Citrus sinensis*) e tangerineira (*Citrus reticulata*), a mangueira (*Mangifera indica*) e o abacateiro (*Persea americana*) (GDJ, 2011).

A vegetação predominante é de floresta densa formada por manguezais na zona costeira e no interior predominam gramíneas e arbustos. Dos recursos hídricos existentes no distrito, destaca-se o rio Mutamba que nasce no distrito de Inharrime, atravessa o distrito de Jangamo e desagua na baía de Inhambane. Além deste rio existem no distrito outros recursos hídricos de menor expressão nomeadamente; os riachos e lagoas que se localizam nas diversas localidades e povoados (GDJ, 2011).

A propriedade onde foi instalado o equipamento tem uma área de 0,66 ha e as espécies arbóreas encontradas no mesmo são: coqueiro (*Cocus nucifera*), laranjeira (*Citrus sinensis*), mangueira (*Mangifera indica*), cajueiro (*Anacardium occidentale*), tangerineira (*Citrus reticulata*), mafurreira (*Trichilia emetica*), limoeiro (*Citrus limon*) e o abacateiro (*Persea americana*). Em relação às culturas agrícolas, encontramos a mandioca (*Manihot esculenta*), milho (*Zea mays*), feijão nhemba (*Vigna unguiculata*), amendoim (*Arachis hypogaea*) e a bananeira (*Musa spp.*). temos também a presença de alguns animais tais como o gado bovino (*Bos taurus*), cabritos (*Capra aegagrus*), patos (*Cairina moschata*) e as galinhas (*Gallus gallus*).

A maior parte da população do distrito dedica-se a atividades agrícolas com especial enfoque para os quintais agroflorestais que são a principal fonte de alimento

e renda para as famílias. A agricultura é de sequeiro tal como em todo país e nesta região os solos são pobres e com fraca capacidade de retenção de água. Assim escolheu-se o distrito para testar o uso do Data logger na determinação da transpiração de plantas que são comumente consorciadas com culturas agrícolas, devido ao seu valor econômico.

Com base nas análises laboratoriais das amostras de solo coletadas na área de estudo verificou-se um teor de matéria orgânica de 1.01%, Ph H<sub>2</sub>O (1:2,5) de 5,9 e classe textural arenosa, com cerca de 89,543% de areia

### 3.1.1 Seleção da Propriedade e das Espécies

A seleção da propriedade onde foi instalado o experimento baseou-se na representatividade do quintal em relação às espécies e a dinâmica das práticas culturais predominantes na região, bem como na condição de segurança, pois havia o risco de o equipamento ser danificado por vândalos. Assim foi selecionada a propriedade de uma líder comunitária do povoado de Magaiça localizado entre as coordenadas 24° 14' 47,3" de latitude Sul e 35° 13' 26,5" de longitude Este, que se mostrou acessível a disponibilizar o seu quintal para instalação do equipamento.

Em relação às espécies selecionadas para avaliar o uso do Data logger na determinação da transpiração, as mesmas foram indicadas pelos membros das comunidades abrangidas pela pesquisa em reuniões de grupo, como sendo importantes dentro de seu sistema de produção.

Foi avaliado um indivíduo de cada espécie e o Data logger fazia o registro contínuo dos dados que eram transferidos para o computador semanalmente para verificar qualquer anomalia com os mesmos e corrigir as falhas se necessário. Para evitar que o sistema fosse danificado por animais tais como cabritos e vacas a área

foi isolada com rede tubarão (rede com tramas largas) conforme a figura a seguir (FIGURA 3).



FIGURA 2. VEDAÇÃO DA ÁREA DO EXPERIMENTO PARA EVITAR ENTRADA DE GADO E VANDALISMO

Fonte: o autor (2009)

### 3.1.2 Instalação do Sistema Velocidade do Pulso de Calor (HPV – Sigla Inglesa)

Este método consiste na implantação de um aquecedor em uma linha central do alburno do tronco da árvore. Os aquecedores são feitos de tubos de aço inoxidável com 1.8 mm de diâmetro e 60 mm de comprimento contendo um filamento. São abertos outros dois furos no tronco da árvore equidistante em relação ao aquecedor 6 mm abaixo e 6 mm acima.

Dois sensores térmicos (consistem de um par de fios de cobre incorporados em um tubo de politetrafluoretileno de 2 mm de diâmetro) são inseridos nos orifícios superior e inferior a uma determinada profundidade no câmbio (FIGURA 4).

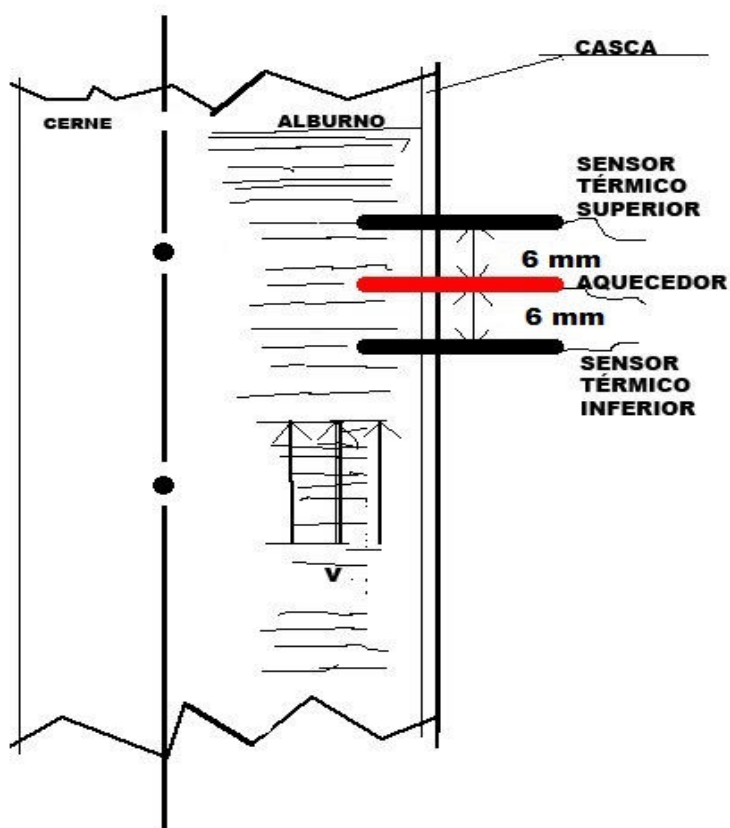


FIGURA 3. REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DA DISPOSIÇÃO DOS  
SENSORES TÉRMICOS E DO AQUECEDOR NA ÁRVORE

Fonte: o autor (2012)

Os furos são feitos com broca de perfuração, projetando-se através de um guia preso a árvore para assegurar que os furos estejam tão perto quanto paralelos (FIGURA 5). Os sensores térmicos são conectados ao Multiplexer (AM 16/32) ou Data logger (CR10X ou Cr1000), enquanto que os aquecedores são conectados a um relé e uma bateria de 12 V. A bateria usada para alimentar o Data logger é de ciclo de alimentação lento, o que permite maior período de uso em campo. A mesma era levada ao campo com uma tensão inicial de até 12.8V e as trocas de bateria eram feitas entre 28 e 30 dias quando atingisse 12.3 V, pois abaixo disso reduz-se a sensibilidade dos sensores.



FIGURA 4. DATA LOGGER CR1000 (EM CIMA À ESQUERDA), DATA LOGGER CR10X (EM CIMA À DIREITA) E O MULTIPLEXER AM 16/32 (EM BAIXO).

Fonte: Campbell Scientific (2012)

Os sensores térmicos foram inseridos em diferentes profundidades abaixo do câmbio para amostrar diferentes pontos do alburno (ver tabela abaixo).

TABELA 1. DETALHES DA INSERÇÃO DOS SENSORES TÉRMICOS NAS ÁRVORES

Espécie	DAP (cm)	Espessura da casca (cm)	Profundidade dos sensores (cm)
<b><i>Citrus sinensis</i></b>	11.5	0.1	0.6, 0.7, 1.0, 1.3
<b><i>Persea americana</i></b>	11.5	0.1	1.7, 2.2, 2.8, 3.5
<b><i>Persea americana</i></b>	13.4	0.3	1.1, 2.1, 3.6, 5.1

Fonte: o autor (2013)

Em casos de bifurcação da árvore onde serão inseridos os sensores o CSIR recomenda a instalação em 8 pontos e todos eles com profundidades diferentes, conforme aconteceu com o *Citrus sinensis*.

O Data logger CR1000 foi programado para calcular o fluxo de seiva a partir de equações em tempo real, a cada segundo e aos dados foi tirada a média e guardada a cada hora. Foram medidas primeiramente as temperaturas dos sensores térmicos superior e inferior. A temperatura de cada sensor era medida 10 vezes e a média dessas 10 medições eram utilizadas para determinar a temperatura de cada sensor. Esses dados eram armazenados no Data logger para cálculos posteriores. Depois disso um curto impulso de calor (5 segundos) era libertado através dos aquecedores ligados a um relê. Os aquecedores estavam distribuídos em grupos de 4 (designado conjunto aquecedor) e cada conjunto é individualmente ligado ao relê.



FIGURA 5. INSTALAÇÃO DO SISTEMA DE VELOCIDADE DE PULSO DE CALOR (HPV SIGLA INGLESA), A ESQUERDA ABERTURA DE FUROS NO ABACATEIRO E A DIREITA CONEXÃO DOS SENSORES NO DATA LOGGER CR1000.

Fonte: o autor (2008)

Os conjuntos aquecedores eram disparados sequencialmente para que o pulso de calor se difundisse através da madeira adjacente e é levado para cima pelo



fluxo de seiva através do xilema. O período de tempo usado para o pulso de calor variou de 0.4-0.8 segundos.

À medida que o pulso de calor era conduzido para cima (ou para baixo) o sensor térmico inferior começava a aquecer (geralmente a um grau maior que o superior devido ao calor transportado pela seiva, embora houvesse convecção de calor para o sensor superior também).

O armazenamento dos dados da razão de calor começava 60 segundos após o início do impulso de calor, e era medido continuamente (aproximadamente a cada segundo, dependendo da velocidade de processamento do logger).

Para determinar a razão de calor, em primeiro lugar determinou-se a variação de temperatura de cada sensor térmico ( $\Delta$  temp.), que era equivalente à temperatura (aquecida) corrente menos a temperatura média do pré-pulso determinada anteriormente. A proporção de calor ( $\Delta$  temp. superior/ $\Delta$  temp. inferior) foi calculada para cada ponto consecutivamente, e este valor mudava com o movimento da seiva aquecida através do xilema.

Estes valores da relação de calor individuais eram acumulados para cada par de sensores térmicos, e no final da janela de medição (depois de 100 segundos), a razão média é calculada para cada conjunto de sensores individualmente. A velocidade do pulso de calor (para cada par de sensores) é igual ao logaritmo natural da taxa de calor médio multiplicado por uma constante que representa a difusividade térmica da madeira e da distância entre o aquecedor e o par de sensores térmicos.

O valor da constante era inicialmente 18, mas pode variar dependendo da qualidade da madeira. A velocidade horária do fluxo para cada par de sensores são os valores finais armazenados no Data logger.

Todos os dados disponíveis no HPV (velocidade de Pulso de Calor) para cada árvore amostrada foram inicialmente analisados para identificar períodos de dados em falta. O primeiro passo no processo de correção foi determinar se haviam dados

de boa qualidade disponíveis a partir de qualquer um dos pontos no período em questão. Os pontos com maior correlação com os pontos a serem corrigidos foram identificados através de uma análise de correlação. Uma equação de regressão linear simples foi usada para corrigir a falta de dados de acordo com o ponto funcional definido. Quando haviam valores horários suspeitos ou em falta, estas falhas eram preenchidas com a média dos valores anteriores e seguintes.

Valores negativos altos e baixos nos dados foram verificados para confiabilidade. Não foram evidentes noutros pontos, e/ou não seguiram nenhum padrão lógico em relação aos valores anteriores e posteriores ou mudanças ambientais, assumiu-se como tendo defeito e foram corrigidos. Os valores horários do fluxo de seiva foram agregados em valores diários.

### 3.3.2 Ciclo e Processo de Medição

A sequência do ciclo de medição é relacionada em conformidade com adaptação de ICT (2012), como segue:

- a) Ciclo de medição iniciado  
(em intervalos de tempo estabelecidos, por ex: a cada 10 minutos)
  
- b) Adquirir a média de 80 s de temperatura inicial de cada sensor individualmente
  
- c) Medição da temperatura inicial média do alburno  
(saídas em mV dos sensores são medidos e convertidos em °C, utilizando a interface inteligente)

d) Pulso de calor liberado

(uma entrada de potência exata em Joules é fornecida através do microprocessador)

e) Aumentos de temperatura no alburno medidos e calculadas as médias

(entre 60 e 100 s começa a soma da  $\Delta$  temperatura para os sensores inferior e superior a partir do aquecedor para se obter a proporção média de aumento da temperatura a jusante para o aumento a montante)

f) Cálculos matemáticos realizados em proporções de temperatura a jusante/montante

(o logaritmo natural da taxa de aumento da temperatura é usado para calcular a velocidade do impulso de calor pela multiplicação por difusividade térmica ( $k$ ), dividindo-se pela distância ( $x$ ) entre qualquer um dos sensores e o aquecedor e converter este valor para  $\text{cmh}^{-1}$  multiplicando por 3600)

g) As medições são armazenadas na memória do Data logger, como HVP (Velocidade de Pulso de Calor), velocidade da seiva corrigido ( $V_s$ ) ou fluxo de seiva

### 3.3.3 Estação Meteorológica Automática

Uma estação meteorológica automática foi instalada para medir a precipitação, radiação solar, temperatura, umidade, velocidade e direção do vento numa base horária em um local aberto e com relva próxima ao quintal caseiro.

A estação meteorológica é baseada em um Data logger no qual é introduzido um programa com os parâmetros a serem medidos e armazena os dados de acordo com o programa e unidades previamente definidas.

O udómetro, solarímetro (ou piranómetro), sensor de temperatura e umidade (HMP50) e o anemómetro foram conectados ao Data logger Cr10X, o qual era alimentado por uma bateria selada e recarregável de 12 V e 7.0 Ah. Os sensores de temperatura e umidade, e o anemómetro foram colocados a uma altura de 2 m do

solo, o solarímetro a 2.50 m e o udômetro a 1.20 m, numa estrutura de tubo metálico desenhada para o efeito.

Uma bateria na estação meteorológica levava em média 45 dias no campo, passado esse período era substituída por outra com carga e os dados eram baixados semanalmente. A estação entrou em funcionamento as 17h00min do dia 15 de outubro de 2008.

Os dados da estação meteorológica são muito importantes na interpretação dos padrões de fluxo de seiva e ajudam no processo de correção.

Para avaliar o efeito das variáveis ambientais sobre a transpiração, fez-se a análise de regressão múltipla de modo a aferir o grau de interferência nas duas espécies.



FIGURA 6. MONTAGEM DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA AUTOMÁTICA

Fonte: Macucule (2008)

### 3.3.4 Data logger CR10X

O CR10X é um sistema de medição e de controle robusto que proporciona medições precisas e confiáveis em uma variedade de aplicações. Projetado para pesquisa e operações do dia-a-dia de monitoramento, o CR10X combina a capacidade de medir praticamente qualquer sensor de controle com a capacidade de responder a condições locais específicas. Do mais simples ao complexo, sistemas de aquisição de dados da Campbell Scientific estão operando em todos continentes no mar e no espaço (CAMPBELL SCIENTIFIC, 2002).

Para a estação automática, o CR10X mede:

Medidas – mede a velocidade e direção do vento, temperatura do ar, umidade relativa do ar, precipitação, pressão atmosférica e radiação solar. Taxas de varredura são programáveis de 1/64 segundos para 2.5 horas;

Processamento de dados – intervalos de saída para dados brutos ou processados são especificados pelo usuário. Normalmente resumos de hora em hora e diariamente (ex: máximos, mínimos, médias e histogramas) são armazenados. Saídas condicionais, como intensidade da chuva, também podem ser processadas e armazenadas;

Armazenamento de dados – a memória flash não volátil e lítio SRAM armazenam até 62 000 pontos de dados, o que equivale a mais de três meses de dados, quando dados típicos de hora em hora ou diárias são armazenados a partir de um aplicativo meteorológico típico. Uma expansão opcional de memória permite que o CR10X possa armazenar mais de 1 milhão de pontos de dados ou cerca de 12 anos de dados meteorológicos;

Recuperação de dados – os dados podem ser transferidos para um computador usando telefones (incluindo celulares ou voz sintetizada) telemetria, modems de

curta distância, transmissores de satélite, modems multipontos, ethernet, ou módulos de armazenamento;

Bateria de 12 V – o design de baixa potência permite que o CR10X opere até um ano com uma fonte estabilizada de 12 V e 7 Ah, dependendo da taxa digitalização, número de sensores, o método de recuperação de dados e temperatura externa.

### 3.3.5 Solarímetro ou Piranômetro LP02

O piranômetro LP02 consiste de um sensor de termopilha protegido por uma cúpula de vidro e um cabo. A pilha termoelétrica é revestida por um revestimento preto absorvente. A tinta absorve a radiação e converte-a para calor. A diferença de temperatura resultante é convertida para uma tensão pela termopilha de cobre. A pilha termoelétrica é encapsulada na carcaça de tal maneira que tem um campo de visão de 180 graus e as características angulares necessárias para cumprir os requisitos de resposta cosseno (CAMPBELL SCIENTIFC, 2010).

### 3.3.6 Udômetro

Extensa utilização é feita de componentes termoplásticos na fabricação dos baldes, o que ajuda a garantir o máximo de desempenho e valor com o mínimo de manutenção. Os medidores têm incorporado dispositivos de nivelamento (bullseye) para fácil e preciso ajuste.

O desenho utiliza um mecanismo de inflexão de balde comprovado para a simples e eficaz medição da precipitação. A geometria e o material do balde são especialmente selecionados para libertação máxima de água, reduzindo assim a contaminação e erros. A precipitação medida é descarregada através de um tubo de

recolha (que pode ser recolhido se necessário) para verificação da precipitação total (CAMPBELL SCIENTIFC, 2010).

### 3.3.7 Sensor de Temperatura e Umidade Relativa

Este sensor possui um detector de Resistência de Temperatura de Platina (PRT na sigla Inglesa) e um sensor capacitivo de umidade relativa da Vaisala INTERCAP<sup>®7</sup>. Quando usado em campo deve ser alojado em escudo de radiação solar (CAMPBELL SCIENTIFIC, 2006).

### 3.3.8 Conjunto de Anemômetro e de Direção do Vento

O conjunto de anemômetro e de direção do vento 03001 foi usado para medir a velocidade horizontal do vento e direção. A velocidade do vento foi medida com um anemômetro de três copos. A rotação dos copos produz uma tensão AC (Corrente Alternada) de onda senoidal com frequência proporcional à velocidade do vento. A posição do sensor de direção do vento (palheta) era transmitida através de um potenciômetro de 10 Ohms. A tensão de saída foi proporcional à direção do vento (CAMPBELL SCIENTIFIC, 2007).

---

<sup>7</sup> Empresa Finlandesa que desenvolve, fabrica e comercializa produtos e serviços para medição ambiental e industrial.

### 3.3.9 Potencial Hídrico, Conteúdo Volumétrico de Água e Temperatura do Solo

Para o monitoramento do potencial hídrico, conteúdo volumétrico e temperatura do solo foram abertas duas covas de 1.50 m de profundidade cada, sendo uma na região sombreada pela copa das árvores e próximo ao sistema radicial e outra afastada, sob efeito direto da luz solar. Os sensores foram dispostos de acordo com a tabela abaixo:

TABELA 2. DISPOSIÇÃO DOS SENSORES NAS COVAS

<b>Cova</b>	<b>Sensores</b>	<b>Profundidade dos sensores (cm)</b>
<b>Solo com componente arbóreo</b>	Watermark 200 – 253 L	10, 30, 80 e 150
	Reflectômetros do conteúdo de água CS650	10, 30, 80 e 150
	Sensor de temperatura	30
<b>Solo sem componente arbóreo</b>	Watermark 200 – 253 L	10, 30, 80 e 150
	Reflectômetros do conteúdo de água CS650	10, 30, 80 e 150
	Sensor de temperatura	30

Fonte: o autor (2013)

Os sensores Watermark 200 – 253L, potencial matricial fornecem um método conveniente para estimativa do potencial de água em solos úmidos numa amplitude de 0 a 200 kPa, conectados a um Data logger. O watermark 200 é constituído por dois eletrodos concêntricos incorporados numa matriz de referência granular. O material da matriz granular é de uma membrana sintética para proteger contra deterioração. Uma camada de gesso interna protege contra níveis de salinidade encontrados em solos irrigados (CAMPBELL SCIENTIFIC, 2009).

Os reflectômetros do conteúdo de água CS650 são derivados da sensibilidade das sondas para a constante dielétrica do meio circundante por um par de varas de aço inoxidável. O CS650 é configurado como um refletor do teor de água, com as duas varas paralelas que formam uma linha de transmissão em aberto. Um circuito



oscilador está ligado às varas, com uma mudança de estado do oscilador provocada pela devolução de um sinal refletido a partir de uma das varas. O tempo de curso das duas vias das ondas eletromagnéticas que são induzidas pelo oscilador na vara, varia com a mudança da constante dielétrica. A água é o principal contribuinte para a permissividade dielétrica ou de meios porosos, de modo que o tempo de viagem das ondas refletidas aumenta com o aumento do conteúdo de água e vice-versa, por isso o nome reflectômetro do teor de água (CAMPBELL SCIENTIFIC, 2012).



FIGURA 7. DISPOSIÇÃO DOS SENSORES DE UMIDADE NO SOLO SEM COMPONENTE ARBÓREO (À ESQUERDA) E COM COMPONENTE ARBÓREO (À DIREITA).

Fonte: o autor (2008)

### 3.3.10 Modelagem

A transpiração das plantas é afetada tanto por fatores ambientais (fatores externos) e fatores da própria planta (fatores internos). Os fatores ambientais que afetam a transpiração são: a umidade relativa do ar, temperatura, velocidade do

vento, pressão atmosférica (déficit de vapor de pressão) e a disponibilidade da água no solo, e os fatores internos são: a razão raiz e a parte aérea, área foliar e a estrutura da folha.

No presente trabalho, com base nos dados climáticos foi feita uma modelagem com vista a inferir quais dos fatores ambientais afetam de forma significativa a transpiração das duas espécies em estudo no ambiente de quintal agroflorestal.

A modelagem foi feita com base no pacote estatístico SPSS 20, usando o método *stepwise*. A modelagem nos permitiu descrever a relação entre a transpiração e os fatores ambientais e possibilitar prever os valores da transpiração a partir dos mesmos. O método de *stepwise* testa um modelo de regressão simples que inclui o melhor preditor (fator ambiental), aquele que mais se correlaciona. Mas sempre que se introduz um novo preditor no modelo, procede-se à verificação da importância dos que já lá tinham sido anteriormente incluídos. Desta forma garante-se que são excluídos preditores que perderam a importância pela entrada de novas variáveis no modelo de regressão.

Fez-se também um teste *t-student* para comparar as médias de umidade do solo sem árvores e o solo com componente arbóreo. A cobertura vegetal melhora a estrutura do solo pela adição de matéria orgânica, aumentando assim a sua capacidade de retenção de água, deste modo procurou-se perceber se esta situação verificava-se ou não na propriedade onde se fez o estudo. A hipótese nula: não há diferença de umidade entre o solo com árvores e o sem árvores ( $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$ ); e a hipótese alternativa: o solo com árvores mantém mais umidade que o solo sem árvores ( $H_0: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$ ).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 DATA LOGGER NA DETERMINAÇÃO DA TRANSPIRAÇÃO DO ABACATEIRO E DA LARANJEIRA (SISTEMA HPV)

Durante o ano de 2009 montou-se o sistema Velocidade do Pulso de Calor (HPV na sua sigla Inglesa), com o Data logger CR1000 para determinar a transpiração do abacateiro e da laranjeira em uma quintal agroflorestal no distrito de Jangamo, província de Inhambane.

#### 4.1.1 Transpiração do Abacateiro e da Laranjeira

Ao longo do período em estudo o abacateiro registou uma transpiração média de cerca de 41 litros/dia (ANEXO 1) e as maiores taxas de transpiração se registraram no período de transição entre o verão e inverno nos meses de abril e maio. A Figura 9 mostra a variação da transpiração do abacateiro ao longo dos 12 meses do ano de 2009, onde se pode observar que as maiores perdas de água registram-se na primeira metade do ano e durante o período seco as taxas de transpiração reduzem, fato que se presume esteja associado à perda de folhas por parte desta espécie como estratégia de regulação do estresse hídrico típico da estação seca.

No mesmo período a laranjeira registou uma taxa de transpiração média de 61,6 litros/dia (ANEXO 2) e registra as suas maiores taxas no verão, no inverno as mesmas tendem a diminuir. Tomando em conta os fatores ambientais como únicos que afetam a transpiração era de esperar que as duas espécies tivessem o mesmo comportamento, mas nota-se que os picos de perda de água por transpiração entre as duas espécies ocorrem em épocas bem diferentes. Estas diferenças são

resultantes, segundo Kramer e Boyle (1995), das características anatômicas de cada vegetal, tais como a espessura da cutícula, o tamanho e a forma das folhas, a cor, o revestimento (pilosidades) e a orientação delas, em relação à luz, o número e a localização dos estômatos, proporção do parênquima paliçádico e do lacunoso.

Outro aspecto importante que se associa a esta situação é o posicionamento das componentes no campo, visto que para além destas duas espécies existem outras nos estratos superiores que dependendo do período do dia podem influenciar, fornecendo sombra, funcionando como quebra-vento, fatores esses que afetam a transpiração das plantas.

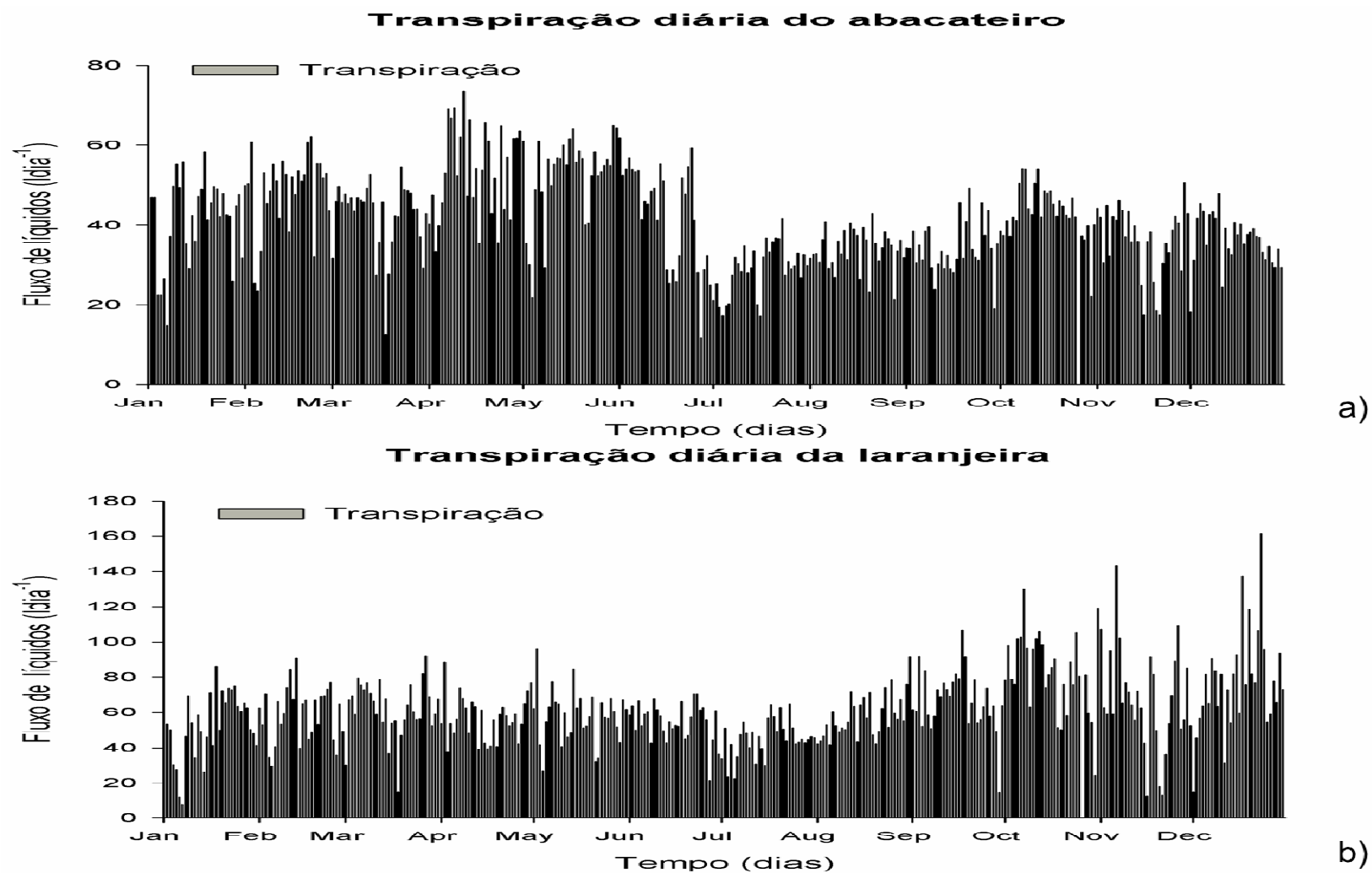


FIGURA 8. TRANSPIRAÇÃO DIÁRIA DO ABACATEIRO E DA LARANJEIRA.  
Fonte: o autor (2013)

## 4.2 INFLUÊNCIA DE FATORES AMBIENTAIS NA TRANSPIRAÇÃO DE *PERSEA AMERICANA* E *CITRUS CINENSIS*

### 4.2.1 Temperatura

Na Figura 9 verifica-se a variação da transpiração de *Persea americana* e *Citrus sinensis* em função da temperatura, onde é possível perceber que as taxas de transpiração do abacateiro aumentam com o aumento da temperatura. Este comportamento é semelhante ao descrito por Kramer e Boyle (1995), que a temperatura tem uma influência direta na transpiração, assim, a transpiração aumenta conforme o aumento da temperatura.

O mesmo verifica-se em relação às taxas de transpiração de *Citrus sinensis* que aumentam com o aumento da temperatura, fenômeno este visível a partir dos meses de Outubro a Dezembro. Larcher (2006), aponta que a transpiração intensifica-se com a diminuição da umidade relativa e com o aumento da temperatura do ar.

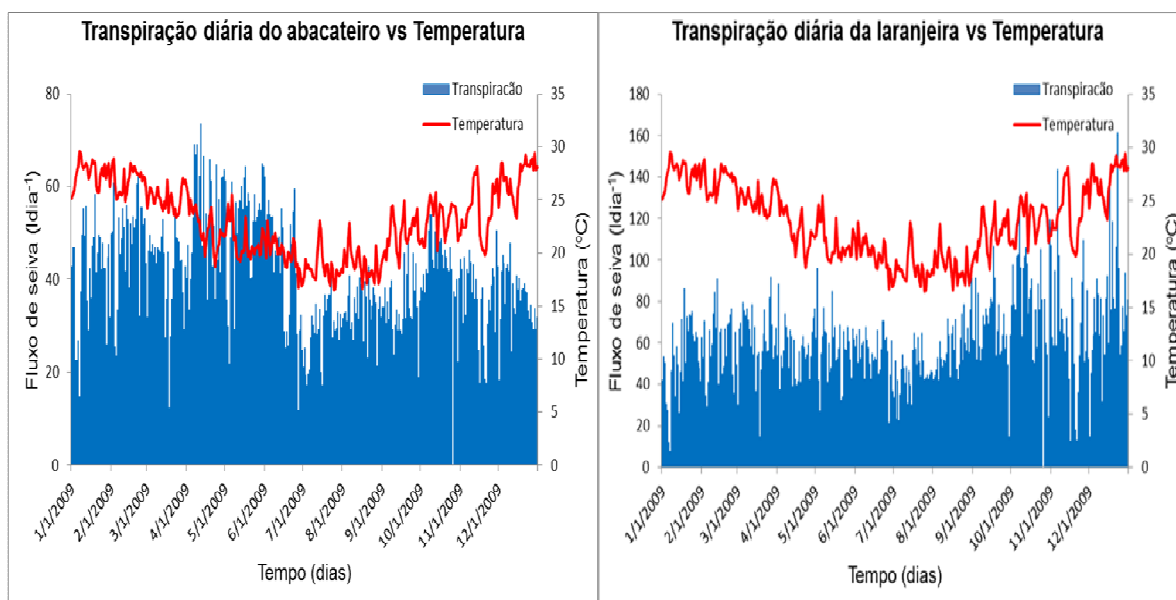


FIGURA 9. TRANSPIRAÇÃO DIÁRIA DO ABACATEIRO E DA LARANJEIRA vs TEMPERATURA.

Fonte: o autor (2013)

#### 4.2.2 Radiação Solar

Na Figura 10 pode-se observar a variação da transpiração em função da radiação solar, que segundo Kramer e Boyle (1995) é um dos fatores mais importantes na transformação da água no estado líquido em vapor. Quanto mais intensa a radiação solar maior a transpiração. Em relação à radiação solar é possível perceber que a transpiração aumenta com o aumento para *Persea americana*, mas para *Citrus sinensis*, verifica-se o contrário.

Segundo Medeiros (2002) a radiação é um importante fator climático, pois proporciona energia para a vaporização e remoção do vapor de água. A quantidade potencial de energia que alcança a superfície é determinada pelo local e época do ano, devido a diferentes posições do sol.

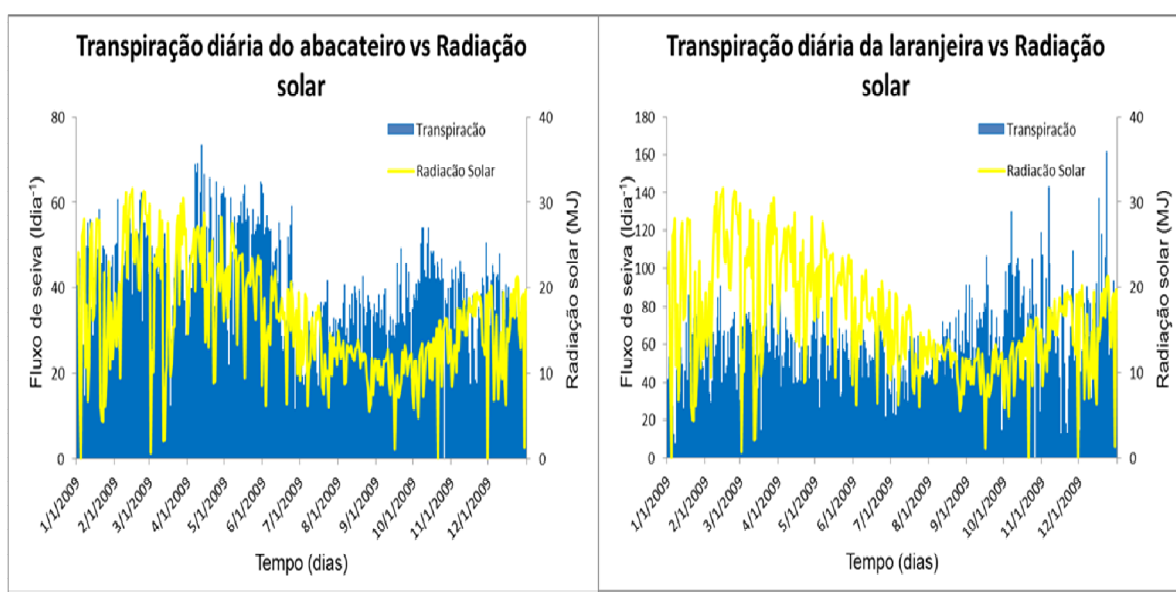


FIGURA 10. TRANSPIRAÇÃO DIÁRIA DO ABACATEIRO E DA LARANJEIRA VS RADIAÇÃO SOLAR

Fonte: o autor (2013)

#### 4.2.3 Déficit de pressão de vapor (DPV)

Na Figura 11 pode-se verificar a variação da transpiração em função do déficit do vapor de pressão, que é a diferença entre a quantidade de umidade no ar e a quantidade de umidade que o ar pode conter quando estiver saturado, isto é, a capacidade máxima de retenção de água (também chamado ponto de orvalho) e aumenta com a temperatura. Observando para a figura pode-se perceber que a transpiração aumenta com o aumento do déficit de vapor de pressão e a redução do mesmo implica uma redução na transpiração, comportamento que vai de acordo com o constatado por (Poiré; Tardieu, s. d.).

Quanto maior o DPV, maior a tendência de a planta perder água, pois valores muito altos de DPV subtraem água da célula e, portanto diminuem o valor do potencial hídrico do sistema celular (LARCHER, 2006).

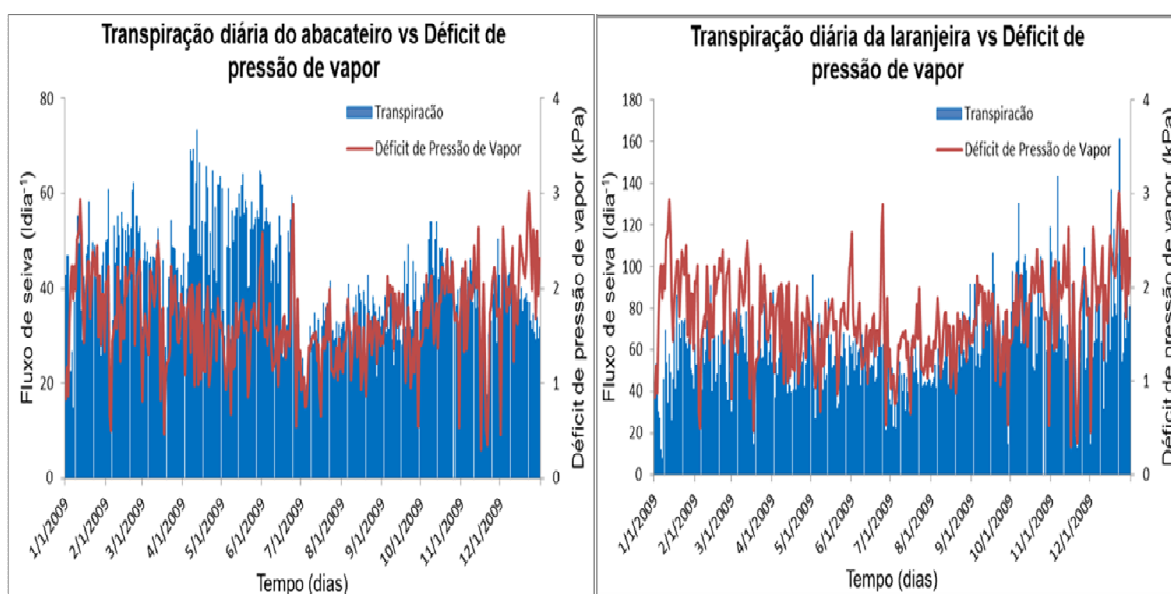


FIGURA 11. TRANSPIRAÇÃO DIÁRIA DO ABACATEIRO E DA LARANJEIRA VS DÉFICIT DE PRESSÃO DE VAPOR

Fonte: o autor (2013)



#### 4.2.4 Velocidade do vento

Na Figura 12 pode-se verificar a relação entre a velocidade do vento e transpiração, e segundo Kramer e Boyle (1995), tem um papel importante, pois ventos moderados evitariam a acumulação de ar saturado em cima da folha, podendo aumentar, dessa forma a transpiração. Ventos muito fortes provocam um aumento inicial da transpiração, seguidos de um fechamento dos estômatos. Observando o gráfico da Figura 12 verifica-se que o aumento da velocidade do vento diminui a transpiração de *Persea americana*, mas aumenta a transpiração de *Citrus sinensis*. O comportamento de *Persea americana*, pode dever-se a outros fatores internos que não foram avaliados ou a ação das outras espécies presentes no quintal que podem ter atuado como quebra-vento.

Segundo o site [www.colegioweb.com.br](http://www.colegioweb.com.br) (2013), o vento que bate sobre a folha, proporciona o aumento da transpiração. Porém em casos de vendaval, pode-se provocar o fechamento do estômato e conseqüente diminuição da transpiração.

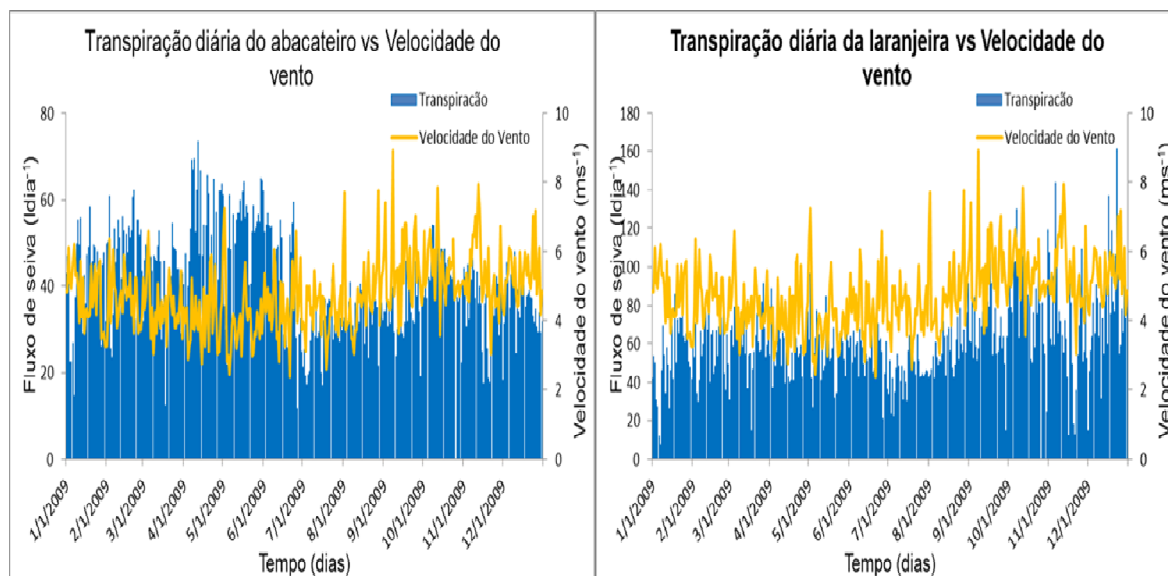


FIGURA 12. TRANSPIRAÇÃO DIÁRIA DO ABACATEIRO E DA LARANJEIRA VS VELOCIDADE DO VENTO

Fonte: o autor (2013)

#### 4.2.5 Umidade do solo

A umidade do solo é outro fator ambiental que também influencia o processo da transpiração, pois com a diminuição da quantidade da água no solo a taxa de transpiração também diminui. Isto se deve a flacidez das células guarda<sup>8</sup>. Na Figura 13 pode-se observar que a transpiração de *Persea americana* aumenta com o aumento da disponibilidade de água no solo, o mesmo não acontece com *Citrus sinensis* que as taxas de transpiração não registram nenhum aumento, o que pode estar associado há uma estratégia de economia de água por parte desta espécie para períodos mais críticos.

As plantas que vivem em solo úmido possuem uma alta intensidade de transpiração, já as plantas que vivem em solo seco diminuem a sua transpiração ([www.colegioweb.com.br](http://www.colegioweb.com.br), 2013).

<sup>8</sup> São duas células especializadas que delimitam o espaço intercelular e são responsáveis pela abertura e fechamento do ostíolo. Compõem o estômato.

Sarmiento et al. (1985) concluíram que a transpiração de espécies lenhosas depende mais das condições atmosféricas do que da disponibilidade de água no solo.

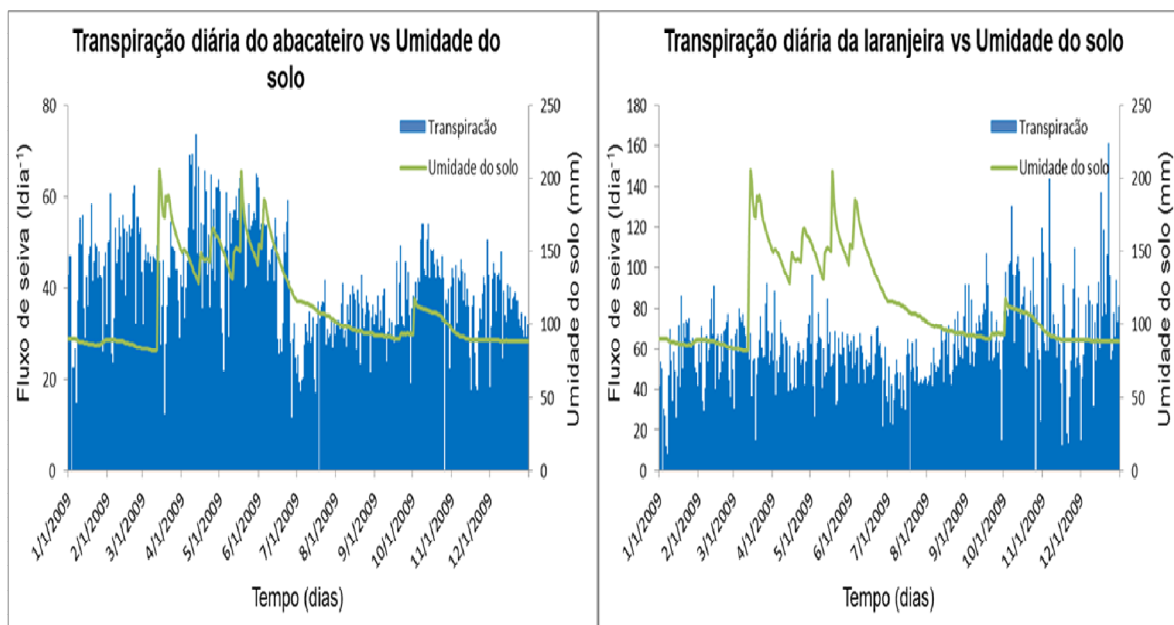


Figura 13. TRANSPIRAÇÃO DIÁRIA DO ABACATEIRO E DA LARANJEIRA vs UMIDADE DO SOLO  
Fonte: o autor (2013)

#### 4.2.6 Umidade relativa do ar

No gráfico da Figura 14 verifica-se a influência da umidade relativa do ar sobre a transpiração, que segundo Kramer e Boyle (1995) teria um efeito inverso, quanto maior a umidade relativa do ar, menor seria a transpiração, pois diminui o gradiente de pressão de vapor de água na folha e no ar que a envolve. Observando a Figura 14 é possível notar que o aumento da umidade relativa do ar implica uma redução nas taxas de transpiração, corroborando com o descrito por Kramer e Boyle (1995).

O aumento da umidade relativa do ar influencia a diminuição das taxas de transpiração de *Persea americana* bem como de *Citrus sinensis*.

Quando a umidade do ar é intensa a transpiração diminui. Porém quando o ar está seco, a transpiração ocorre com mais facilidade ([www.colegioweb.com.br](http://www.colegioweb.com.br), 2013).

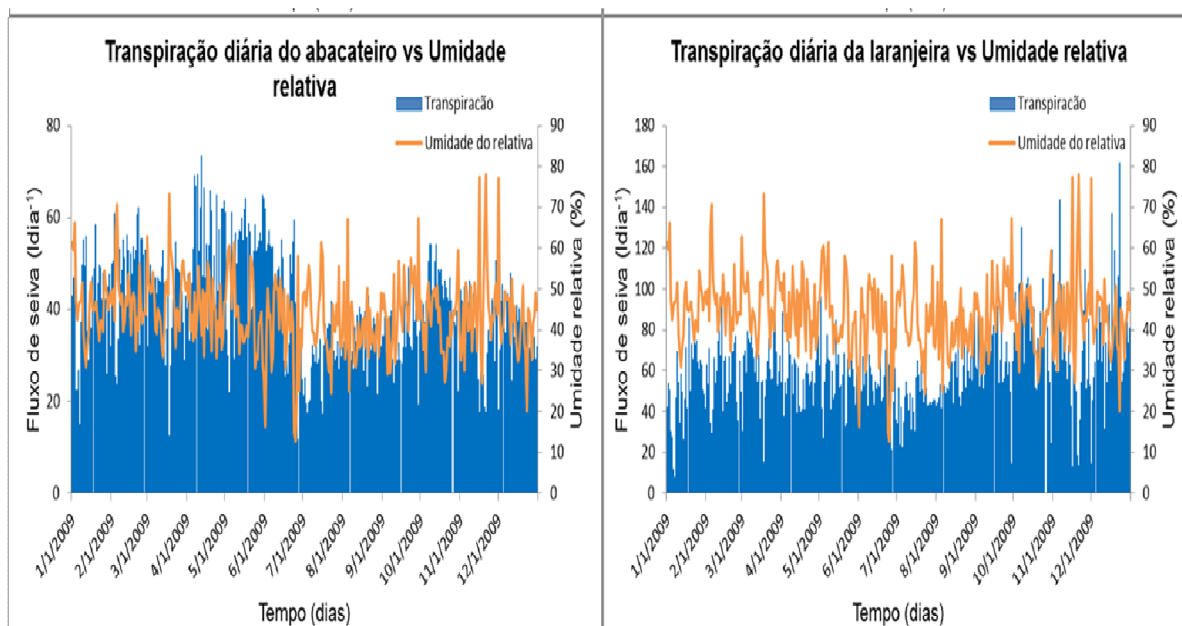


FIGURA 14. TRANSPIRAÇÃO DIÁRIA DO ABACATEIRO E DA LARANJEIRA vs UMIDADE RELATIVA DO AR  
Fonte: o autor (2013)

#### 4.3 MODELAGEM

Utilizando o software estatístico SPSS 20, foram feitas regressões múltiplas com o método *Stepwise* utilizando todas variáveis ambientais. Antes de rodar as regressões múltiplas procurou-se saber o quanto as variáveis a serem utilizadas possuem relação entre elas e entre a variável dependente, neste caso a transpiração. Seguem em anexo as matrizes de correlação para as duas espécies (ANEXOS 1 e 2).

Como os coeficientes de variação de todas variáveis são menores do que 50% considera-se que as variáveis não possuem alta dispersão. Por isso não foi feita nenhuma transformação nos dados (ANEXO 4).

Os ANEXOS 1 E 2 mostram que não há problemas de multicolinearidade entre as variáveis, pois os valores de VIF são inferiores a cinco e Tolerância próximo de zero.

Os modelos escolhidos pelo método *Stepwise* estão indicados na TABELA 3, sendo que para *Citrus sinensis* e *Persea americana* os modelos são significativos a 5%. Para o caso de *Citrus sinensis* o  $R^2_{\text{ajustado}} = 28.1\%$  da variação total é explicada pela relação entre o déficit de pressão de vapor e a velocidade do vento (variáveis independentes) e transpiração (variável dependente) com um desvio padrão do modelo igual a 17,5. O efeito de ambos os preditores é significativo, embora o efeito da velocidade do vento seja menor que o efeito do déficit de pressão de vapor (ANEXO 2).

No modelo da *Persea americana* o  $R^2_{\text{ajustado}} = 40.9\%$  da variação total é explicada pela relação entre déficit de pressão de vapor, umidade do solo e radiação solar (variáveis independentes) e transpiração (variável dependente), com um desvio padrão do modelo igual a 8.82. O déficit de vapor de pressão demonstrou ser o mais significativo neste modelo, seguido pela umidade do solo e por fim a radiação solar. (ANEXO 1).

Chen, *et al.* (2011) realizaram um estudo semelhante para o controle da transpiração no ambiente urbano no norte da China com cinco espécies e 3 repetições para cada uma, onde os modelos gerados para espécie *Metasequoia glyptostroboides* o seu  $R^2_{\text{ajustado}}$  para os três modelos significativos variava de 17,4% a 33.8%, o que permite afirmar que os fatores ambientais tem um efeito diferenciado para cada espécie, tal como foi observado entre *Citrus sinensis* e *Persea americana*.

Kramer e Boyle (1995), afirmam que fatores da própria planta podem influenciar a transpiração. A espessura da cutícula, o tamanho e a forma das folhas, a cor, o revestimento (pilosidades), o revestimento e a orientação das folhas em relação à luz, o número e a localização dos estômatos, a proporção do parênquima paliçádico e do lacunoso. Numa mesma planta pode haver variação na transpiração, se as folhas se encontram em pleno sol ou na sombra.

No presente estudo, no entanto, não foram considerados fatores ecofisiológicos capazes de influenciar na transpiração das plantas conforme indicado por Kramer e Boyle (1995), o que pode ter influenciado os resultados obtidos. Esta possibilidade é consubstanciada pela presença de outras espécies de maior porte no entorno das plantas estudadas, *Cocos nucifera*, *Mangifera indica*, *Anacardium occidentale*, que podem ter alterado o microclima local.

TABELA 3. EQUAÇÕES DE REGRESSÃO STEPWISE DA TRANSPIRAÇÃO DIÁRIA ( $\hat{Y}$ ) EM FUNÇÃO TEMPERATURA (T), RADIAÇÃO SOLAR ( $R_{solar}$ ), DÉFICIT DE PRESSÃO DE VAPOR (DPV), VELOCIDADE DO VENTO ( $V_{vento}$ ), UMIDADE DO SOLO ( $U_{solo}$ )

<b>Espécie</b>	<b>Modelo de Regressão</b>	<b><math>R^2_{Ajust}</math></b>
<i>Citrus sinensis</i>	$\hat{Y} = 5.957 + 19.118DPV + 5.018V_{vento}$	0.281
<i>Persea americana</i>	$\hat{Y} = -1.555 + 12.241DPV + 0.146U_{solo} + 0.359R_{solar}$	0.409

Equações significantes a  $\alpha = 0.05$

Fonte: o autor (2013)

#### 4.4 DISPONIBILIDADE DE ÁGUA NO SOLO

Na Figura 15a e 15c pode-se observar o comportamento do solo em relação à capacidade de retenção de umidade, sendo que o solo sem componente arbóreo apresenta níveis maiores de retenção de umidade que o solo com o componente arbóreo. Deve-se salientar que as duas áreas possuem um comportamento similar em relação a resposta à precipitação conforme se pode notar na Figura 15d onde os níveis de umidade aumentam ou diminuem de acordo com a precipitação.

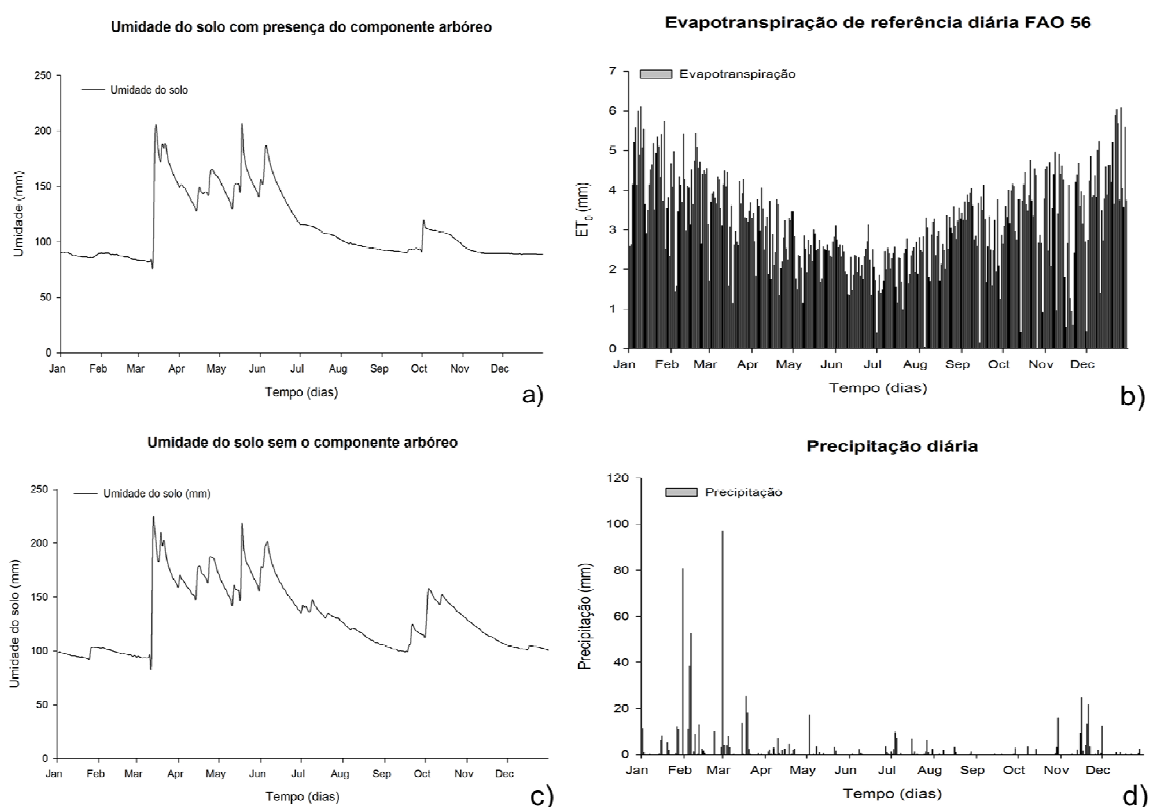


FIGURA 15. (a) UMIDADE DO SOLO COM COMPONENTE ARBÓREO, (b) EVAPOTRANSPIRACAO (c) UMIDADE DO SOLO SEM COMPONENTE ARBÓREO E (d) PRECIPITAÇÃO.

Fonte: o autor (2013)

Para verificar as diferenças entre os níveis de umidade do solo, com componente arbóreo e sem componente arbóreo fez-se o teste *t-student* bilateral para pares de médias, onde se notou que *p-value* dado pelo output é menor quando comparado com  $\alpha$  (0.05). Assim, rejeita-se a  $H_0$  e pode-se afirmar com 95% de confiança que há uma diferença entre as médias de umidade no solo com componente arbóreo e no solo sem componente arbóreo (ANEXO 3).

Observou-se também o comportamento da Evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ), determinada com o método de Penman-Monteith (Padrão FAO 56) que depende de fatores climáticos, nomeadamente a radiação solar, temperatura do ar, umidade do ar e velocidade do vento. É possível notar que a evapotranspiração de referência apresenta valores mais altos nas épocas mais quentes do ano entre os meses de outubro a abril, e no período seco de maio a setembro os valores mais baixos devido à redução da temperatura do ar, radiação solar e umidade do ar (Figura 15b).

A  $ET_0$  é um elemento indicativo da demanda hídrica das culturas da área onde foi realizado o presente estudo, isto é, estima à quantidade de água que será perdida pelas plantas (transpiração) mais a água evaporada do solo (evaporação), e nesta área média de  $ET_0$  situa-se nos 3.14 mm/dia.



## 5 CONCLUSÕES

Diante dos resultados obtidos pode-se concluir que;

- O Data logger usado para determinação da transpiração de espécies arbóreas é adequado e eficiente.
- A laranjeira apresenta maiores taxas totais de transpiração que o abacateiro.
- A laranjeira transpira mais em períodos de baixa precipitação, enquanto que no abacateiro a intensificação desse processo fisiológico ocorre nos períodos de maior disponibilidade de água.
- Para a laranjeira o verão ou inverno não provocam necessariamente elevação ou redução da transpiração, ou seja, não se trata de um fenômeno sazonal.
- O déficit de vapor de pressão revela-se como o fator ambiental que mais controla a transpiração no ambiente de quintal agroflorestal.
- Cada espécie tem uma intensidade de transpiração particular, mas isso depende dos fatores ambientais estudados.

## **6 RECOMENDAÇÕES**

- Para novos estudos com a mesma temática, recomenda-se o incremento do tamanho da amostra e a inclusão de um número maior de espécies presentes em quintais agroflorestais.
- Além de avaliar apenas o efeito dos fatores ambientais recomenda-se também a inclusão de fatores fisiológicos da planta que podem afetar a transpiração.
- Utilizar sensores compactos (HRM 30) para facilitar o aumento do tamanho da amostra e reduzir os custos de instalação conforme demonstrativo apresentado no ANEXO 5.

## 7 REFERÊNCIAS

- ABDO, M. T.V. N.; VALERI, S. V.; MARTINS, A. L.M.; Sistemas Agroflorestais e Agricultura Familiar: Uma Parceria Interessante. **Revista Tecnologia e Inovação Agropecuária**. 2008. 10 p.
- ALTIERI, M.; **Agroecologia: A Dinâmica produtiva da Agricultura Sustentável**. 5 ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS. 2004. 120 p.
- BARRETT, D. J.; HATTON, T.J.; ASH, J.E. e BALL, M. C. **Evaluation of the heat pulse velocity technique for measurement of sap flow in rainforest and eucalypt forest of south-eastern Australia**. *Plant Cell Environ.* 18: p 463–469. 1995.
- BURGESS, S. S. O.; ADAMS, M. A.; TURNER, N. C.; BEVERLY, C. R.; ONG, C. K.; KHAN, A. A. H. e BLUBY, T. M. **An improvement heat pulse method to measure low and reverse rates of sap flow in woody plants**. *Tree Physiology* 21, p 589-598. 2001.
- CAMPBELL SCIENTIFIC; **CR10X measurement and control system**. 2002. 7 p.
- CAMPBELL SCIENTIFIC; **LP02 pyranometer: instruction manual**. 2010. 18 p.
- CAMPBELL SCIENTIFIC; **Tipping bucket rain gage: instruction manual**. 2010. 15 p.
- CAMPBELL SCIENTIFIC. **HMP50 temperature and relative humidity probe: instruction manual**. 2006. 18 p.
- CAMPBELL SCIENTIFIC. **03001 R.M. young wind sentry set, 03101 R.M. young wind sentry anemometer and 03301 R.M. young wind sentry vane: manual instruction**. 2007. 34 p.
- CAMPBELL SCIENTIFIC. **Models 253-L and 257-L (Watermark 200) soil matric potential sensors: instructions manual**. 2009. 24 p.
- CAMPBELL SCIENTIFIC. **CS650 and CS655 water content reflectometers: instruction manual**. 2012. 54 p.
- CHEN, L.; ZHANG, Z.; LI, Z.; TANG, J.; CALDWELL, P.; ZHANG, W. **Biophysical control of whole tree transpiration under an urban environment in Northern China**. *Journal of Hydrology* (402). p 388-400. 2011
- GOVERNO DO DISTRITO DE JANGAMO (GDJ). **Plano Estratégico de Desenvolvimento Distrital de Jangamo**. Inhambane-Moçambique. 2011. 87 p.

GEOSCIENTIFIC. **Data logger Fundamentals for Environmental Monitoring Applications**. 9 p. (s. d.) Disponível em: <[http://www.geoscientific.com/technical/tech\\_references\\_pdf\\_files/Data\\_Logger\\_Fundamentals.pdf](http://www.geoscientific.com/technical/tech_references_pdf_files/Data_Logger_Fundamentals.pdf)>. Acesso em: 12/08/2012.

GUSH, M.; TAYLOR, N.; MENGISTU, M.; ETISSA, E. e ROBBERTSE, H. **Interim water-use measurement report**. CSIR-University of Pretoria. 2008. 61 p.

INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY (ICT). **Heat Ratio Method (HRM): Installation and Operation Manual**. 2012. 125 p. Disponível em: <[http://www.ictinternational.com.au/brochures/hrm\\_manual\\_old.pdf](http://www.ictinternational.com.au/brochures/hrm_manual_old.pdf)>. Acesso: 20/11/2012.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA (INE). [www.ine.gov.mz](http://www.ine.gov.mz). Acesso: 12/11/2012.

JOSE, D.; SCHUNMUGARATNAM, N. **Traditional home gardens of Kerala: a sustainable human ecosystem**. *Agroforestry systems*, v.24, n. 2, p 203-213, 1993.

KRAMER, P.J. e BOYLE, J. S.; **Water relations of plants and soils**. New York. Ed. McGraw-Hill, 1995. 482 p.

KUMAR, B. M. e NAIR, P. K. R.; The Enigma of Tropical Home garden. **Agroforestry Systems** 61: p 135-152. Kluwer Academic Publishers. 2004.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RIMA, 2006. 550 p.

MINISTÉRIO DA ADMINISTRAÇÃO ESTATAL; **Perfil do distrito de Jangamo, província de Inhambane**. 54 p. 2005.

MINISTÉRIO PARA A COORDENAÇÃO DA AÇÃO AMBIENTAL (MICOA). **Plano de ação nacional de combate à seca e à desertificação**. Ficha técnica. 87 p. Disponível em: <<http://www.unccd.int/ActionProgrammes/mozambique-other2002.pdf>>. Acesso em: 17/10/2012.

NAIR, M.A. e SREEDHARAN C. **Agroforestry farming systems the homesteads of Kerala, southern India**. *Agroforest Syst* 4: p 339–363. 1986.

NAIR, P. K. R. **An Introduction to Agroforestry**. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands. 1993. 489 p.

POIRÉ, R.; TARDIEU, F. Vapour pressure deficit. INRA, LEPSE Montpellier. (s. d.), Disponível em: <<http://bioweb.supagro.inra.fr/phenoarch/images/sensor5.pdf>> Acesso em 18/04/2013.

RAO, K. P. C.; VERCHOT, L. V.; LAARMAN, J. **Adaptation to Climate Change through Sustainable Management and Development of Agroforestry Systems**. ICRISAT/ICRAF. V 4. Nairobi-Kenya. 2007. 30 p.

SITOE, T. A. **Agricultura Familiar em Moçambique Estratégias de Desenvolvimento Sustentável**. 2005. 32 p.

STAPE, J. L.; RYAN, M. G.; BINKLEY, D. Testing the utility of the 3-PG model for growth of *Eucalyptus grandis* x *urophylla* with natural natural and manipulated supplies of water and nutrients. **Forest and Ecology of Management**, Amsterdam, v. 139, p. 219-234. 2004.

## **ANEXOS**

ANEXO 1. OUTPUT SPSS DAS ANÁLISES ESTATÍSTICAS DO ABACATEIRO

ANEXO 2. OUTPUT SPSS DAS ANÁLISES ESTATÍSTICAS DA LARANJEIRA

ANEXO 3. OUTPUT SPSS DO TEST T PARA MÉDIAS DE UMIDADE DO SOLO  
COM E SEM O COMPONENTE ARBÓREO

ANEXO 4. COEFICIENTE DE VARIAÇÃO

ANEXO 5. SENSORES MÉTODO DE RAZAO DE CALOR (HRM sigla Inglesa)

## ESTATÍSTICA DESCRITIVA

Descriptive Statistics			
	Mean	Std. Deviation	N
Transpiração	41.01789983623470	11.480677955397700	365
Temperatura	23.0171	3.38498	365
Radiação Solar	16.19780	6.728472	365
Déficit de Pressão de Vapor	1.66228	.479020	365
Velocidade do Vento	4.7652	1.03754	365
Umidade do solo	112.4852	29.73814	365
Umidade do ar	44.014	9.1271	365

## CORRELAÇÃO

		Correlations						
		Transpiração	Temperatura	Radiação Solar	Déficit de Pressão de Vapor	Velocidade do Vento	Umidade do solo	Umidade do ar
Pearson Correlation	Transpiração	1.000	.205	.320	.445	-.125	.315	-.315
	Temperatura	.205	1.000	.277	.513	.199	-.301	.161
	Radiação Solar	.320	.277	1.000	.061	-.211	.209	.128
	Déficit de Pressão de Vapor	.445	.513	.061	1.000	.115	-.209	-.662
	Velocidade do Vento	-.125	.199	-.211	.115	1.000	-.309	.049
	Umidade do solo	.315	-.301	.209	-.209	-.309	1.000	.001
	Umidade do ar	-.315	.161	.128	-.662	.049	.001	1.000

## VARIÁVEIS INSERIDAS/REMOVIDAS

Variables Entered/Removed <sup>a</sup>			
Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Déficit de Pressão de Vapor		Stepwise (Criteria: Probability-of-F-to-enter <= .050, Probability-of-F-to-remove >= .100).
2	Umidade do solo		Stepwise (Criteria: Probability-of-F-to-enter <= .050, Probability-of-F-to-remove >= .100).
3	Radiação Solar		Stepwise (Criteria: Probability-of-F-to-enter <= .050, Probability-of-F-to-remove >= .100).

a. Dependent Variable: Transpiração

Fonte: o autor

## SUMÁRIO DO MODELO

Model Summary <sup>d</sup>									
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				Sig. F Change
					R Square Change	F Change	df1	df2	
1	.445 <sup>a</sup>	.198	.195	10.297819145189900	.198	89.424	1	363	.000
2	.610 <sup>b</sup>	.372	.368	9.125871756645940	.174	100.220	1	362	.000
3	.643 <sup>c</sup>	.414	.409	8.828660342508630	.042	25.783	1	361	.000

a. Predictors: (Constant), Déficit de Pressão de Vapor

b. Predictors: (Constant), Déficit de Pressão de Vapor, Umidade do solo

c. Predictors: (Constant), Déficit de Pressão de Vapor, Umidade do solo, Radiação Solar

d. Dependent Variable: Transpiração

## ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS MODELOS

ANOVA <sup>a</sup>						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	9483.008	1	9483.008	89.424	.000 <sup>b</sup>
	Residual	38494.364	363	106.045		
	Total	47977.372	364			
2	Regression	17829.456	2	8914.728	107.043	.000 <sup>c</sup>
	Residual	30147.916	362	83.282		
	Total	47977.372	364			
3	Regression	19839.139	3	6613.046	84.842	.000 <sup>d</sup>
	Residual	28138.233	361	77.945		
	Total	47977.372	364			

a. Dependent Variable: Transpiração

b. Predictors: (Constant), Déficit de Pressão de Vapor

c. Predictors: (Constant), Déficit de Pressão de Vapor, Umidade do solo

d. Predictors: (Constant), Déficit de Pressão de Vapor, Umidade do solo, Radiação Solar

Fonte: o autor



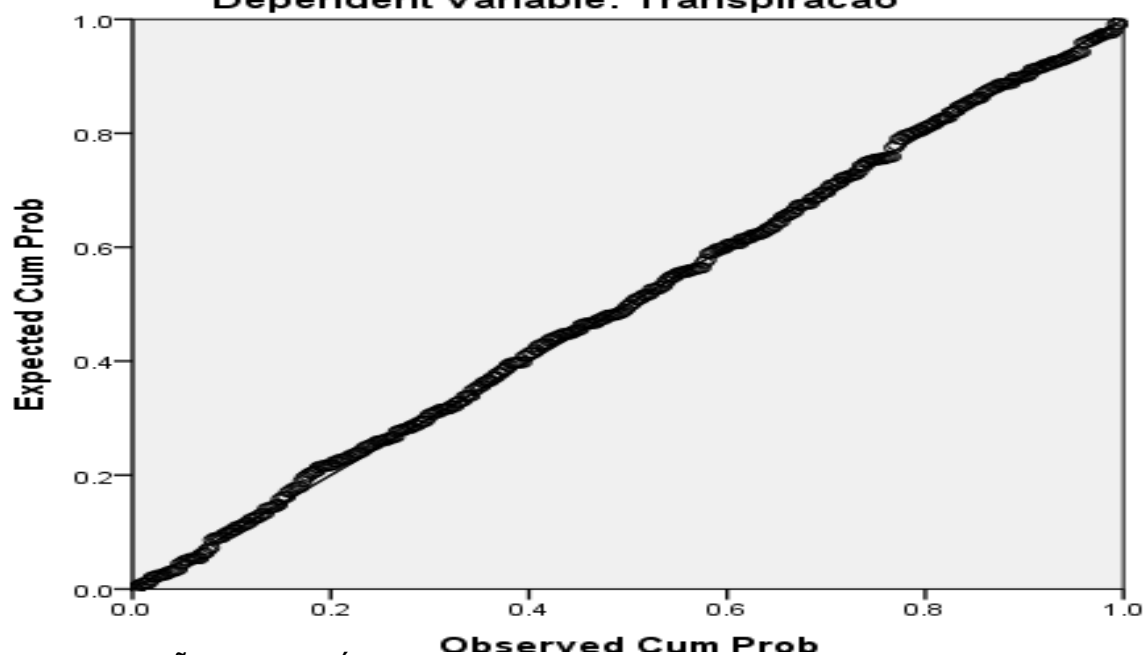
## COEFICIENTES

		Coefficients <sup>a</sup>												
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients		t	Sig.	95.0% Confidence Interval for B		Correlations			Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta				Lower Bound	Upper Bound	Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF
1	(Constant)	23.306	1.949			11.957	.000	19.473	27.139					
	Déficit de Pressão de Vapor	10.655	1.127	.445		9.456	.000	8.440	12.871	.445	.445	.445	1.000	1.000
2	(Constant)	1.233	2.801			.440	.660	-4.275	6.741					
	Déficit de Pressão de Vapor	12.792	1.021	.534		12.527	.000	10.784	14.800	.445	.550	.522	.956	1.046
	Umidade do solo	.165	.016	.427		10.011	.000	.132	.197	.315	.466	.417	.956	1.046
3	(Constant)	-1.555	2.765			-.562	.574	-6.992	3.882					
	Déficit de Pressão de Vapor	12.241	.994	.511		12.317	.000	10.286	14.195	.445	.544	.496	.945	1.058
	Umidade do solo	.146	.016	.378		8.928	.000	.114	.178	.315	.425	.360	.907	1.102
	Radiação Solar	.359	.071	.211		5.078	.000	.220	.498	.320	.258	.205	.945	1.058

a. Dependent Variable: Transpiração

Fonte: o autor

**Normal P-P Plot of Regression Standardized Residual**  
**Dependent Variable: Transpiração**



DISTRIBUIÇÃO DE RESÍDUOS

Fonte: o autor

## ANEXO 2. OUTPUT SPSS DAS ANÁLISES ESTATÍSTICAS DA LARANJEIRA

## ESTATÍSTICA DESCRITIVA

Descriptive Statistics			
	Mean	Std. Deviation	N
Transpiração	61.64902165276450	20.701666986484100	365
Temperatura	23.0171	3.38498	365
Radiação Solar	16.19780	6.728472	365
Déficit de Pressão de Vapor	1.66228	.479020	365
Velocidade do Vento	4.7652	1.03754	365
Umidade do solo	112.4852	29.73814	365
Umidade do ar	44.014	9.1271	365

## CORRELAÇÃO

		Correlations						
		Transpiração	Temperatura	Radiação Solar	Déficit de Pressão de Vapor	Velocidade do Vento	Umidade do solo	Umidade do ar
Pearson Correlation	Transpiração	1.000	.216	-.093	.471	.303	-.144	-.309
	Temperatura	.216	1.000	.277	.513	.199	-.301	.161
	Radiação Solar	-.093	.277	1.000	.061	-.211	.209	.128
	Déficit de Pressão de Vapor	.471	.513	.061	1.000	.115	-.209	-.662
	Velocidade do Vento	.303	.199	-.211	.115	1.000	-.309	.049
	Umidade do solo	-.144	-.301	.209	-.209	-.309	1.000	.001
	Umidade do ar	-.309	.161	.128	-.662	.049	.001	1.000

## VARIÁVEIS INSERIDAS/REMOVIDAS

Variables Entered/Removed <sup>a</sup>			
Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Déficit de Pressão de Vapor		Stepwise (Criteria: Probability-of-F-to-enter <= .050, Probability-of-F-to-remove >= .100).
2	Velocidade do Vento		Stepwise (Criteria: Probability-of-F-to-enter <= .050, Probability-of-F-to-remove >= .100).

a. Dependent Variable: Transpiração

## SUMÁRIO DO MODELO

Model Summary <sup>c</sup>										
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics					
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change	
1	.471 <sup>a</sup>	.222	.220	18.282047324873900	.222	103.726	1	363	.000	
2	.534 <sup>b</sup>	.285	.281	17.557447647849800	.062	31.580	1	362	.000	

a. Predictors: (Constant), Déficit de Pressão de Vapor

b. Predictors: (Constant), Déficit de Pressão de Vapor, Velocidade do Vento

c. Dependent Variable: Transpiração

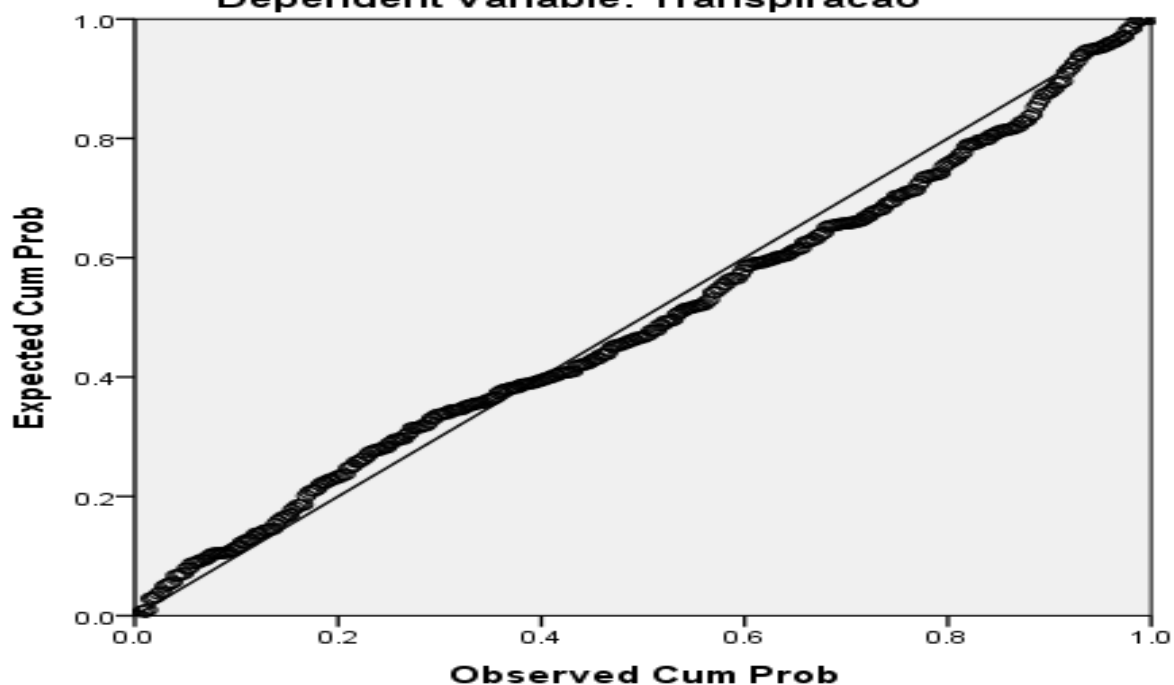
## COEFICIENTES

Coefficients <sup>a</sup>													
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95.0% Confidence Interval for B		Correlations			Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound	Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF
		1	(Constant)	27.783			3.460		8.029	.000	20.978	34.587	
	Déficit de Pressão de Vapor	20.373	2.000	.471	10.185	.000	16.440	24.307	.471	.471	.471	1.000	1.000
2	(Constant)	5.957	5.111		1.165	.245	-4.095	16.009					
	Déficit de Pressão de Vapor	19.118	1.934	.442	9.885	.000	15.315	22.922	.471	.461	.439	.987	1.014
	Velocidade do Vento	5.018	.893	.251	5.620	.000	3.262	6.774	.303	.283	.250	.987	1.014

a. Dependent Variable: Transpiração

Fonte: o autor

**Normal P-P Plot of Regression Standardized Residual**  
**Dependent Variable: Transpiração**



DISTRIBUIÇÃO DE RESÍDUOS

Fonte: o autor,

**ANEXO 3. OUTPUT SPSS DO TEST T PARA MÉDIAS DE UMIDADE DO SOLO  
 COM E SEM O COMPONENTE ARBÓREO**

<b>Paired Samples Statistics</b>					
		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	Umidade do solo com arvores	112.4852	365	29.73814	1.55657
	Umidade do solo sem arvores	130.660	365	31.0579	1.6256

Paired Samples Correlations				
		N	Correlation	Sig.
Pair 1	Umidade do solo com arvores & Umidade do solo sem arvores	365	.962	.000

Paired Samples Test									
Paired Differences									
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	Interval of the		t	df	Sig. (2-tailed)
					Lower	Upper			
Pair 1	Umidade do solo com arvores - Umidade do solo sem arvores	-18.17490	8.51741	.44582	-19.05161	-17.29819	-40.767	364	.000

Fonte: o autor

#### ANEXO 4. COEFICIENTE DE VARIAÇÃO

Descriptive Statistics				
	Mean	Std. Deviation	N	CV
Transpiração abacateiro	41.01789984	11.48067796	365	0.280
Transpiração laranjeira	61.649	20.702	365	0.336
Temperatura	23.0171	3.38498	365	0.147
Radiação Solar	16.1978	6.728472	365	0.415
Déficit de Pressão de Vapor	1.66228	0.47902	365	0.288
Velocidade do Vento	4.7652	1.03754	365	0.218
Umidade do solo	112.4852	29.73814	365	0.264
Umidade do ar	44.014	9.1271	365	0.207

Fonte: o autor,



ANEXO 5. SENSORES MÉTODO DE RAZAO DE CALOR (HRM sigla Inglesa)  
Fonte: ICT, 2012