

FELIPE BERNARDES SILVA

**CONSUMO DE ÁGUA DE CULTURAS CULTIVADAS EM PERÍMETROS  
IRRIGADOS NA BACIA DO SÃO FRANCISCO: RELAÇÕES DE  
EQUIVALÊNCIA E INFLUÊNCIA NA PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2015

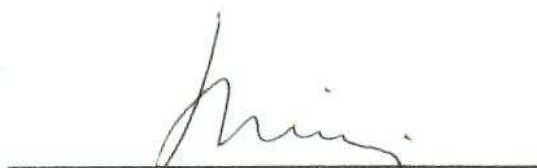
**CONSUMO DE ÁGUA DE CULTURAS CULTIVADAS EM PERÍMETROS  
IRRIGADOS NA BACIA DO SÃO FRANCISCO: RELAÇÕES DE  
EQUIVALÊNCIA E INFLUÊNCIA NA PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 11 de fevereiro de 2015



Edson de Oliveira Vieira



Rubens Alves de Oliveira



Silvio Bueno Pereira  
(Orientador)

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

Silva, Felipe Bernardes, 1988-  
S586c 2015 Consumo de água de culturas cultivadas em perímetros irrigados na Bacia  
do São Francisco : relações de equivalência e influência na produção de energia  
elétrica / Felipe Bernardes Silva. - Viçosa, MG, 2015.  
xvii, 107f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui apêndices.

Orientador: Sílvio Bueno Pereira.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f.75-82.

1. Irrigação Agrícola. 2. Evapotranspiração. 3. Hidrelétricas.

I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia Agrícola.

Programa Pós-graduação em Engenharia Agrícola. II. Título.

CDD 22. ed. 631.587

*Aos meus pais, Marco Antônio e Elenice,  
Meus maiores Mestres  
Dedico.*

*“Se tens fé, cumpre saberes que tudo é possível àqueles que a têm”.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela vida e pela presença em todos os momentos nessa etapa da minha vida.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realização do curso.

Ao Conselho de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos e pelo financiamento dessa pesquisa.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pelos recursos financeiros fornecidos para a realização dessa pesquisa.

Ao professor Silvio Bueno Pereira, pela orientação, sugestões, valorização do trabalho, pela disponibilidade e conhecimentos proporcionados.

Ao professor Mauro Aparecido Martinez, pelo apoio, amizade, orientação, incentivo e pela confiança.

Ao professor Fernando Falco Pruski pela valiosa colaboração, ensinamentos e sugestões.

Ao Edson de Oliveira Vieira, professor da Universidade Federal de Minas Gerais, pela participação na banca examinadora, pelas sugestões e acima de tudo pela amizade e pelas oportunidades cedidas desde a graduação.

Ao Professor Rubens Alves de Oliveira pela participação na banca examinadora, pela colaboração e conhecimentos proporcionados.

Ao estagiário Damásio Alexandre Nunes de Souza, pela disposição e ajuda na condução do trabalho.

Aos meus pais Marco Antônio e Elenice, pelo incentivo, amor incondicional e por nunca medirem esforços para a realização dos meus sonhos.

A minha irmã Karine, pela amizade de sempre, pela sinceridade e pela torcida.

A minha namorada Larissa, pelo amor, carinho, conselhos, e por sempre me apoiar nos momentos de dificuldade.

Aos meus amigos David, Micael, Tarcila, Nayara, Maria Camila e Rayssa, pela convivência agradável, apoio e principalmente pela amizade.

Aos meus amigos de República Vitor e Vinicius, pela ótima convivência e amizade.

A todos que contribuíram para a realização desse trabalho.

## **BIOGRAFIA**

FELIPE BERNARDES SILVA, filho de Marco Antônio da Silva e Elenice Francisco Bernardes da Silva, nasceu em 27 de outubro de 1988, na cidade de Corinto, MG.

Em 2008, iniciou o curso de Agronomia na Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), em Montes Claros, MG, graduando-se em março de 2013.

Em abril de 2013, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola na Universidade Federal de Viçosa (UFV), em nível de mestrado, submetendo-se à defesa da dissertação em fevereiro de 2015.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	viii
LISTA DE QUADROS .....	xii
RESUMO.....	xiv
ABSTRACT .....	xvi
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA .....	4
2.1 Bacia do rio São Francisco .....	4
2.1.1 <i>Clima</i> .....	4
2.1.2 <i>Características físicas e bióticas</i> .....	6
2.1.3 <i>Comportamento Hídrico da bacia</i> .....	6
2.1.4 <i>Solo</i> .....	7
2.1.5 <i>Agricultura irrigada como indutor de desenvolvimento regional</i> .....	7
2.2 Irrigação na bacia do rio São Francisco .....	12
2.2.1 <i>Perímetros irrigados de Gorutuba, Jaíba, Lagoa Grande e Pirapora</i> .....	14
2.2.2 <i>Barreiras</i> .....	15
2.2.3 <i>Juazeiro/Petrolina</i> .....	15
2.3 Geração de energia hidrelétrica na bacia do rio São Francisco .....	16
2.3.1 <i>Usina Hidrelétrica de Três Marias</i> .....	17
2.3.2 <i>Usina Hidrelétrica de Sobradinho</i> .....	17
2.3.3 <i>Usina Hidrelétrica de Itaparica (Luiz Gonzaga)</i> .....	18
2.3.4 <i>Usina Hidrelétrica de Moxotó (Apolônio Sales)</i> .....	18
2.3.5 <i>Usina Hidrelétrica Paulo Afonso I, II e III</i> .....	19
2.3.6 <i>Usina Hidrelétrica Paulo Afonso IV</i> .....	19
2.3.7 <i>Usina Hidrelétrica Xingó</i> .....	19
2.4 Competição pelo uso da água na bacia do rio São Francisco .....	20
3 MATERIAL E MÉTODOS .....	23
3.1 Caracterização dos locais estudados .....	23
3.2 Dados Climatológicos.....	25
3.3 Estimativas da evapotranspiração de referência.....	26
3.4 Evapotranspiração das culturas.....	26
3.4.1 <i>Parâmetros</i> .....	26
3.4.2 <i>Balço de água diário</i> .....	30
3.4.3 <i>Ajuste do Kc</i> .....	30
3.4.4 <i>Profundidade diária efetiva do sistema radicular</i> .....	32
3.4.5 <i>Disponibilidade total de água no solo</i> .....	33
3.4.6 <i>Simulação diária da capacidade real de água no solo</i> .....	33
3.4.7 <i>Simulação diária do coeficiente de estresse hídrico (Ks)</i> .....	34



3.4.8	<i>Balanço diário da água no solo</i> .....	34
3.5	Relações de Equivalência .....	35
3.6	Estimativa da vazão retirada pela irrigação e da potência que deixa de ser gerada nas usinas hidrelétricas .....	36
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	39
4.1	Caracterização climática dos locais em estudo.....	39
4.2	Análise da evapotranspiração média de longo período .....	44
4.3	Consumo de água pelas culturas .....	47
4.3.1	<i>Banana</i> .....	47
4.3.2	<i>Manga</i> .....	50
4.3.3	<i>Uva</i> .....	53
4.3.4	<i>Cana de açúcar</i> .....	56
4.3.5	<i>Milho</i> .....	59
4.3.6	<i>Feijão</i> .....	62
4.4	Relações de equivalência .....	65
4.5	Impacto da irrigação na geração de energia .....	70
5	CONCLUSÃO .....	74
6	REFERÊNCIAS .....	75
	APÊNDICES.....	83

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Bacia do rio São Francisco: estações meteorológicas e hidrelétricas. .....	24
Figura 2 - Temperatura máxima média mensal de longo período para Pirapora - MG, Jaíba - MG, Barreiras - BA e Petrolina - PE. ....	39
Figura 3 - Temperatura mínima média mensal de longo período para Pirapora - MG, Jaíba - MG, Barreiras - BA e Petrolina - PE. ....	40
Figura 4 - Insolação média mensal de longo período para Pirapora - MG, Jaíba - MG, Barreiras - BA e Petrolina - PE.....	41
Figura 5 - Precipitação média mensal de longo período para Pirapora - MG, Jaíba - MG, Barreiras - BA e Petrolina - PE.....	42
Figura 6 - Umidade relativa média mensal de longo período para Pirapora - MG, Jaíba - MG, Barreiras - BA e Petrolina - Pe. ....	42
Figura 7 - Velocidade do vento média mensal de longo período para Pirapora - MG, Jaíba - MG, Barreiras - BA e Petrolina - PE. ....	43
Figura 8 - Evapotranspiração de referência média diária de longo período para Pirapora - MG. ....	44
Figura 9 - Evapotranspiração de referência média diária de longo período para Jaíba - MG.....	45
Figura 10 - Evapotranspiração de referência média diária de longo período para Barreiras - BA. ....	45
Figura 11 - Evapotranspiração de referência média diária de longo período para Petrolina - PE. ....	46
Figura 12 - Evapotranspiração de referência média mensal de longo período para Pirapora - MG, Jaíba - MG, Barreiras - BA e Petrolina - PE.....	47
Figura 13 - Balanço hídrico médio mensal para a cultura da Banana em Pirapora - MG. ....	48

Figura 14 - Balanço hídrico médio mensal para a cultura da Banana em Jaíba - MG.....	49
Figura 15 - Balanço hídrico médio mensal para a cultura da Banana em Barreiras - BA. ....	49
Figura 16 - Balanço hídrico médio mensal para a cultura da Banana em Petrolina - PE. ....	50
Figura 17 - Balanço hídrico médio mensal para a cultura da Manga em Pirapora - MG. ....	51
Figura 18 - Balanço hídrico médio mensal para a cultura da Manga em Jaíba - MG.....	51
Figura 19 - Balanço hídrico médio mensal para a cultura da Manga em Barreiras - BA ....	52
Figura 20 - Balanço hídrico médio mensal para a cultura da Manga em Petrolina - PE. ....	52
Figura 21 - Balanço hídrico médio mensal para a cultura da Uva em Pirapora - MG.....	54
Figura 22 - Balanço hídrico médio mensal para a cultura da Uva em Jaíba - MG. ....	54
Figura 23 - Balanço hídrico médio mensal para a cultura da Uva em Barreiras - BA. ....	55
Figura 24 - Balanço hídrico médio mensal para a cultura da Uva em Petrolina - PE. ....	55
Figura 25 - Balanço hídrico médio mensal para a cultura da Cana soca em Pirapora - MG. ....	57
Figura 26 - Balanço hídrico médio mensal para a cultura da Cana soca em Jaíba - MG. ....	57

Figura 27 - Balanço hídrico médio mensal para a cultura da Cana soca em Barreiras - BA. ....	58
Figura 28 - Balanço hídrico médio mensal para a cultura da Cana soca em Petrolina - PE. ....	58
Figura 29 - Balanço hídrico médio mensal para a cultura do Milho grão em Pirapora - MG. ....	59
Figura 30 - Balanço hídrico médio mensal para a cultura do Milho grão em Jaíba - MG. ....	60
Figura 31 - Balanço hídrico médio mensal para a cultura do Milho grão em Barreiras - BA. ....	60
Figura 32 - Balanço hídrico médio mensal para a cultura do Milho grão em Petrolina - PE. ....	61
Figura 33 - Balanço hídrico médio mensal para a cultura do Feijão grão em Pirapora - MG. ....	62
Figura 34 - Balanço hídrico médio mensal para a cultura do Feijão grão em Jaíba - MG. ....	63
Figura 35 - Balanço hídrico médio mensal para a cultura do Feijão em Barreiras - BA. ....	63
Figura 36 - Balanço hídrico médio mensal para a cultura do Feijão em Petrolina - PE. ....	64
Figura 37 - Lâminas anuais de irrigação necessárias para as culturas da banana, manga, uva, cana, milho e feijão cultivados em Pirapora - MG, Jaíba - MG, Barreiras - BA e Petrolina - PE. ....	68
Figura 38 - Lâmina evapotranspirada por ciclo/safra para as culturas da banana, manga, uva, cana, milho e feijão cultivados em Pirapora - MG, Jaíba - MG, Barreiras - BA e Petrolina - PE. ....	69

Figura 39 - Potência que deixa de ser gerada nas hidrelétricas de Sobradinho, Itaparica, Complexo Paulo Afonso/Moxotó e Xingó, devido a irrigação nos perímetros irrigados do Jaíba - MG e Senador Nilo Coelho - PE. ....73

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Características hidroclimáticas da bacia do rio São Francisco por região hidrográfica.....	5
Quadro 2 - Características físicas da bacia do rio São Francisco por região hidrográfica.....	6
Quadro 3 - Áreas irrigáveis por estado na bacia do rio São Francisco de acordo com a classificação quanto a aptidão para a irrigação.....	13
Quadro 4 - Tipo de sistema de irrigação utilizado, com respectivas áreas (ha), por região na bacia do rio São Francisco.....	14
Quadro 5 - Aproveitamentos hidrelétricos e suas características na bacia do rio São Francisco.....	17
Quadro 6 - Estações meteorológicas utilizadas.....	25
Quadro 7 - Anos selecionados em cada uma das estações meteorológicas utilizadas para a estimativa da $ET_0$ de longo período.....	26
Quadro 8 - Valores adotados de $K_{Cini}$ , $K_{Cmédio}$ e $K_{Cfinal}$ para as culturas de manga, banana, uva, cana (soca), milho e feijão.....	27
Quadro 9 - Valores adotados de $L_{ini}$ , $L_{des}$ , $L_{médio}$ e $L_{final}$ , em dias, para as culturas de manga, banana, uva, cana (soca), milho e feijão.....	28
Quadro 10 - Valores adotados de $Raiz_{min}$ , $Raiz_{max}$ , em metros, e Fator $f$ para as culturas de manga, banana, uva, cana (soca), milho e feijão.....	28
Quadro 11 - Calendário padronizado para as culturas de manga, banana, uva, cana (soca), milho e feijão.....	29
Quadro 12 - Atributos físicos do solo adotados para Pirapora - MG, Jaíba - MG, Barreira - BA e Petrolina - PE.....	29
Quadro 13 - Área ocupada pelas culturas nos perímetros irrigados do Jaíba - MG e Senador Nilo Coelho - PE.....	37

Quadro 14 - Valores médios de eficiência de irrigação em função dos sistemas de irrigação na bacia do rio São Francisco .....	37
Quadro 15 - Altura de queda (m) e rendimento para as usinas utilizadas na simulação .....	38
Quadro 16 - Relações de equivalência entre as demandas de água para irrigação nas culturas da banana, manga, uva, cana (soca), milho e feijão em Pirapora - MG, Jaíba - MG, Barreiras - BA e Petrolina - PE ( $\text{mm mm}^{-1}$ ) .....	66
Quadro 17 - Vazão total demandada pela irrigação das culturas de manga, uva, cana (soca), milho e feijão nos perímetros irrigado do Jaíba - MG e Senador Nilo Coelho - PE .....	70
Quadro 18 - Potência elétrica que deixa de ser produzida (kW) nas usinas hidrelétricas de Sobradinho, Itaparica, Complexo Paulo Afonso/Moxotó e Xingó, e a respectiva porcentagem em função da Potência total instalada (kW) .....	71

## RESUMO

SILVA, Felipe Bernardes, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, Fevereiro de 2015. **Consumo de água de culturas cultivadas em perímetros irrigados na bacia do São Francisco: Relações de equivalência e influência na produção de energia elétrica.** Orientador: Sílvio Bueno Pereira. Co-Orientadores: Mauro Aparecido Martinez e Fernando Falco Pruski.

Objetivando comparar as demandas hídricas das culturas da banana, manga, uva, cana de açúcar, milho e feijão em diferentes regiões na bacia do rio São Francisco, a pesquisa foi realizada com dados das localidades de Pirapora - MG, Jaíba - MG, Barreiras - BA e Petrolina - PE, por estarem próximas a importantes perímetros irrigados. Foram realizadas simulações utilizando parâmetros médios referentes ao clima local, às culturas e ao solo de cada localidade no intuito de se fazer um balanço da demanda de água pelas culturas diariamente ao longo de seu ciclo. Para fins de comparação o horizonte de estudo foi de um ano, sendo pré-estabelecida a utilização da máxima quantidade de safras dentro desse período. Observou-se que em Petrolina - PE ocorreu maior evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) se comparada com as demais localidades, fato que pode ser justificado pela elevada temperatura ao longo de todo o ano, elevada radiação solar que chega à superfície e baixo índice pluviométrico, o que implica em uma  $ET_0$  média de aproximadamente  $2.070 \text{ mm ano}^{-1}$ . Em contrapartida, por apresentar um clima mais ameno, Pirapora - MG apresentou os menores valores diários de  $ET_0$ , totalizando aproximadamente  $1.550 \text{ mm ano}^{-1}$ . Dentre as culturas estudadas nesse trabalho, a cultura da banana foi a que mais demandou água para suas necessidades hídricas, independentemente do local de estudo, variando de  $1.731,4 \text{ mm}$  em Pirapora - MG a  $2.418,34 \text{ mm}$  em Petrolina - PE. As relações de equivalência demonstraram um comparativo geral entre as demandas hídricas das culturas, possibilitando de forma fácil e rápida a visualização da proporção entre a lâmina de irrigação necessária para o atendimento de uma cultura comparada com outra. Como por exemplo, a relação entre a banana cultivada em Petrolina - PE e a uva cultivada em Pirapora - MG foi de 4,03, ou seja, foi necessária uma lâmina 4,03 vezes maior para se produzir banana em Petrolina - PE se comparado com a uva cultivada em Pirapora - MG. Outro tópico importante abordado no trabalho refere-se a potência que deixa de ser gerada em função do uso do recurso hídrico para a irrigação nos perímetros



irrigados do Jaíba - MG e Senador Nilo Coelho - PE. Nos meses de agosto e setembro foram observadas as maiores vazões para atender as demandas hídricas das culturas nesses dois perímetros irrigados, sendo registrados os valores médios de  $12,37 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  e  $12,72 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , que promoveram, conseqüentemente, uma redução de 0,36% e 0,37%, respectivamente, na potência total instalada nas usinas de Sobradinho, Itaparica, Complexo Paulo Afonso/Moxotó e Xingó. Apesar dos resultados encontrados serem aparentemente pequenos, deve-se ressaltar que esses foram obtidos apenas para dois perímetros irrigados, levando-se em consideração apenas seis culturas. A amplitude e a complexidade do assunto aliado à preocupação da sociedade, tornaram, por conseguinte, estudos dessa natureza relevantes no cenário atual de escassez hídrica.

## ABSTRACT

SILVA, Felipe Bernardes, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, February of 2015. **Water consumption by plants cultivated on the irrigated perimeters of the São Francisco basin: The relationship between equivalence and influence in the production of electric energy.** Adviser: Sílvio Bueno Pereira. Co-Advisers: Mauro Aparecido Martinez and Fernando Falco Pruski.

The objective of this study is to compare the water demand for banana, mango, grape, sugar cane, corn and bean cultures in different regions of the São Francisco river basin: Pirapora - MG, Jaíba - MG, Barreiras - BA, and Petrolina - PE. These research locations were chosen for being close to important irrigated perimeters. Simulations were performed utilizing the average parameters related to the local climate, plants, and soil at each location to establish a daily balance of the water demanded by the plants cultivated throughout their cycle. The study was set for one year, utilizing the maximum amount of harvest for comparison. Petrolina - PE presented the highest values in relation to the reference evapotranspiration ( $ET_0$ ) when compared to the other locations, this is due to the high temperatures during the entire year: the elevated temperatures and low pluviometric indices implicated in an average  $ET_0$  of approximately 2.070 mm year<sup>-1</sup>. Accordingly, for presenting a milder climate, Pirapora - MG had the lowest daily  $ET_0$  values that total approximately 1.550 mm year<sup>-1</sup>. Of the plants studied, the banana demanded the most water, independently of the location being studied, varying from 1.731,4 mm in Pirapora - MG to 2.418,34 mm in Petrolina - PE. The equivalence relationships demonstrated an overall comparison of the cultivated plants allowing for an easy and quick visualization of the proportion between the water depth necessary for the cultivation of one plant in relation to another, for example, the relation between the banana cultivated in Petrolina - PE and the grape cultivated in Pirapora - MG was 4,03, which means that it was necessary a depth 4,03 times greater to produce bananas in Petrolina - PE than grapes in Pirapora - MG. Another important topic covered in this work refers to the power that isn't generated by the hydroelectric power stations because of the water used by irrigation in irrigated areas of Jaíba - MG and Senador Nilo Coelho - PE. It was observed that on August and on September the basin presented a larger flow, registering values of 12.37 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> and 12.72 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>, which resulted in the reduction of 0.36% and 0.37%, respectively, of the total power installed in the

hydroelectric power stations: Sobradinho, Itaparica, Complexo Paulo Afonso/Moxotó, and Xingó. Although the results seem to be small, it must be noticed that these were obtained only for two irrigation schemes, taking into account only six crops. The extent and complexity of the case together with the society's concern made, therefore, studies of this nature relevant in the current scenario of water scarcity..

## 1 INTRODUÇÃO

O rio São Francisco, pela sua localização geográfica e pelo contexto que está inserido, é extremamente importante no cenário nacional e regional, pois permite o desenvolvimento de uma série de atividades econômicas em uma região tradicionalmente marcada pela pobreza. Porém os múltiplos usuários da água nessa bacia acabam por interferir uns nos outros, quer seja pela redução da vazão quer seja pela redução da qualidade da água. Os dois setores de maior relevância dentre as atividades na bacia são a irrigação e a geração de energia elétrica.

Devido às condições climáticas da região, principalmente no Médio e Submédio São Francisco, a irrigação de extensas áreas tem ganhado destaque desde a criação da Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e Parnaíba - CODEVASF. Ao longo de toda a bacia, tanto no leito principal quanto em seus afluentes, foram criados diversos perímetros irrigados, que permitiram o desenvolvimento econômico e a geração de empregos.

A fruticultura irrigada, voltada principalmente para o mercado externo, é a atividade de maior relevância no setor agrícola. Dentre os diversos perímetros irrigados na bacia do rio São Francisco pode-se destacar aqueles situados ao redor das cidades de Juazeiro - BA e Petrolina - PE, como por exemplo o Senador Nilo Coelho, o perímetro de irrigação do Jaíba - MG e o perímetro de irrigação de Pirapora - MG, onde são comuns cultivos de manga, banana e uva. No entanto, também existem importantes áreas com cultivo irrigado de culturas anuais tradicionais como, feijão e milho, principalmente no polo de Barreiras no oeste da Bahia, além de cultivo de cana de açúcar irrigada, com destaque para a região de Juazeiro/BA.

A determinação da demanda hídrica das culturas é um fator extremamente importante no processo produtivo, sendo a disponibilidade de água um fator determinante para o sucesso de um empreendimento. Dessa maneira é primordial o conhecimento da lâmina total necessária para atender suas necessidades hídricas.

O consumo de água pelas culturas é função do clima local, das características morfológicas e fisiológicas das plantas, e do ambiente, fatores estes que, em conjunto, determinam a evapotranspiração das culturas. Todavia esta é baseada

na evapotranspiração de referência, que representa a integração dos elementos climáticos da região, ou seja, o poder evaporante da atmosfera local.

Conforme Hoekstra e Hung (2002), é variável a quantidade de água necessária para se produzir um quilograma de grão em função das condições climáticas. Por exemplo, quando se tem um cultivo de sequeiro com condições climáticas favoráveis, são necessários de 1 a 2 m<sup>3</sup> de água para produção de 1kg de grão, porém quando se tem um local árido, com condições climáticas não favoráveis (altas temperaturas e elevada evapotranspiração) são necessários de 3 a 5 m<sup>3</sup> de água para se produzir 1 kg do mesmo grão.

Assim como a irrigação, a geração de energia é uma importante atividade econômica na bacia do rio São Francisco. Devido à topografia favorável e a vazão considerável, o rio São Francisco conta com uma série de usinas hidrelétricas que alimentam uma parte da região Sudeste e a quase totalidade da região Nordeste. As usinas instaladas na calha do rio São Francisco são Três Marias, Sobradinho, Luiz Gonzaga (Itaparica), Moxotó, Paulo Afonso I, II, III e IV e Xingó.

Porém, diferentemente da irrigação, que deriva uma quantidade considerável da vazão do rio São Francisco, as usinas hidrelétricas utilizam a água de maneira não consuntiva para a geração de energia. No entanto é evidente a influência que uma atividade exerce sobre a outra, uma vez que as derivações promovidas pela irrigação interferem diretamente na geração de energia visto que reduzem a vazão do rio, ao passo que a regularização da vazão promovida pelos reservatórios de acumulação das usinas hidrelétricas interfere diretamente a montante da barragem, pela inundação de extensas áreas agrícolas, e a jusante, na dinâmica das cheias, impactando na agricultura que era praticada nas várzeas inundáveis.

Devido às irregularidades das chuvas na região concomitantemente com o aumento das áreas irrigadas, é nítida a possibilidade de competição pelo uso da água entre a irrigação e a geração de energia elétrica na bacia do rio São Francisco.

Nesse contexto os objetivos do presente trabalho foram:

- Caracterizar as variáveis climáticas que interferem no processo da evapotranspiração de referência para as localidades de Pirapora - MG, Jaíba - MG, Barreiras - BA e Petrolina - PE;

- Estimar a evapotranspiração de referência média de longo período para Pirapora - MG, Jaíba - MG, Barreiras - BA e Petrolina – PE;
- Determinar o consumo de água via irrigação e as relações de equivalência para as culturas de banana, manga, uva, cana de açúcar, milho e feijão para as localidades de Pirapora - MG, Jaíba - MG, Barreiras - BA e Petrolina – PE;
- Avaliar o impacto da vazão retirada do rio São Francisco para atender as demandas hídricas das culturas de banana, manga, uva, cana de açúcar, milho e feijão, nos perímetros irrigados do Jaíba - MG e Senador Nilo Coelho - PE, na geração de energia das usinas de Sobradinho, Itaparica, Complexo Paulo Afonso/Moxotó e Xingó ao longo do ano.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Bacia do rio São Francisco**

Conhecido como “rio da integração nacional”, o rio São Francisco liga a região Sudeste à Nordeste, percorrendo desde a região central de Minas Gerais até a divisa dos Estados de Alagoas e Sergipe. Durante o seu percurso encontram-se diferentes vegetações, ecossistemas e condições da sociedade humana, apresentando usos diferenciados da água (BRASIL, 2004a).

A bacia do rio São Francisco apresenta uma área de drenagem de 634.781 km<sup>2</sup>, 8% do território nacional, ocupando seis Estados da Federação (Bahia, Minas Gerais, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Goiás) e o Distrito Federal, dentro dos quais abrange 503 municípios.

Está compreendida entre as latitudes 7° 00' e 21° 00' Sul e as longitudes 37° 00' e 47° 00' Oeste. O rio São Francisco tem sua nascente situada na Serra da Canastra no Estado de Minas Gerais e escoar no sentido sul para norte, passando pelos Estados da Bahia e Pernambuco, a partir de onde altera sua direção para Sudeste, onde passa em seguida pelos Estados de Alagoas e Sergipe até desaguar no Oceano Atlântico. O leito principal do rio tem 2.700 km de extensão, sendo sua bacia situada em grande parte na região Nordeste do país (DOMINGUES, 2006).

Segundo Domingues (2006), a Comissão do Senado Federal de Acompanhamento do Projeto de Revitalização do São Francisco propôs uma nova divisão das quatro zonas fisiográficas, definidas por novos limites: Alto São Francisco, que vai da nascente até a confluência com o rio Jequitaiá (MG); Médio São Francisco, que vai da confluência com o rio Jequitaiá até a barragem de Sobradinho (PE/BA); Submédio, que compreende o trecho entre a barragem de Sobradinho até Belo Monte (AL) e Baixo São Francisco, que vai de Belo Monte a sua foz (AL/SE).

#### **2.1.1 Clima**

Devido à sua dimensão, a bacia do rio São Francisco apresenta uma grande variabilidade espacial em relação aos elementos climáticos, havendo ocorrência dos climas úmido, subúmido-úmido, subúmido-seco, semiárido e árido. É interessante observar a transição do úmido para o semiárido, a ocorrência de temperaturas oscilando entre 18 a 27°C, a baixa nebulosidade, resultando em

elevada radiação solar incidente, e o predomínio de duas estações bem definidas, sendo uma seca e outra chuvosa (BRASIL, 2003).

No Quadro 1 é possível observar as características hidroclimáticas da bacia do rio São Francisco.

Quadro 1 - Características hidroclimáticas da bacia do rio São Francisco por região hidrográfica

<b>Característica</b>	<b>Regiões Fisiográficas</b>			
	<b>Alto</b>	<b>Médio</b>	<b>Submédio</b>	<b>Baixo</b>
<i>Clima predominante</i>	Tropical úmido e temperado de altitude	Tropical semiárido e subsumido seco	Semiárido e árido	Subúmido
<i>Precipitação média anual (mm)</i>	2.000 a 1.100 (1.372)	1.400 a 600 (1.052)	800 a 350 (693)	1.500 a 350 (957)
<i>Temperatura média (°C)</i>	23	24	27	25
<i>Insolação média anual (h)</i>	2.400	2.600 a 3.300	2.800	2.800
<i>Evapotranspiração potencial média anual (mm)</i>	1.000	1.300	1.550	1.500

Fonte: (ANA; GEF; PNUMA; OEA, 2004).

Nas regiões do Alto, Médio e Submédio São Francisco o trimestre mais chuvoso é referente aos meses de novembro a janeiro, quando ocorre 53% das precipitações, já o período mais seco vai de junho a agosto. Porém, na região do baixo São Francisco ocorre uma diferença em relação ao período chuvoso, que se concentra nos meses de maio/junho a agosto/setembro. Outro ponto importante é o fato da bacia apresentar 57% de sua área na região semiárida, da qual fazem parte 218 municípios, na sua maioria pertencentes à região Nordeste, porém uma parte relevante no Norte de Minas Gerais (ANA; GEF; PNUMA; OEA, 2004).

A evapotranspiração potencial média apresenta elevada variabilidade dentro da bacia do rio São Francisco em função da oscilação das temperaturas, da insolação, da localização geográfica e da nebulosidade. No Alto São Francisco verifica-se uma evapotranspiração potencial em torno de 1.000 mm, enquanto no Submédio São Francisco a média é em torno de 1.550 mm. No Submédio, devido à baixa precipitação e à elevada evapotranspiração potencial ocorrem perdas significativas devido ao déficit hídrico, que no setor elétrico são contabilizados como perdas para a geração de energia elétrica (DOMINGUES, 2006).



Segundo Nicácio (2008), a região Nordeste do Brasil apresenta vulnerabilidade climática sendo constantemente atingida por secas severas, sendo a precipitação o principal fator limitante para o desenvolvimento socioeconômico. Como forma de suprir o déficit hídrico, que frequentemente promove perdas na produção, resultando na fome, desemprego e êxodo rural, o governo tem intensificado a implantação de perímetros públicos de irrigação, como forma de suprir as demandas hídricas das culturas, garantindo uma produção satisfatória. Essas medidas reduzem a pobreza e ajudam a fixar o homem ao campo, sendo um importante indutor de desenvolvimento regional.

### 2.1.2 Características físicas e bióticas

No Quadro 2 são apresentadas as características físicas da bacia do rio São Francisco por região fisiográfica.

Quadro 2 - Características físicas da bacia do rio São Francisco por região hidrográfica

<b>Característica</b>	<b>Regiões Fisiográficas</b>			
	<i>Alto</i>	<i>Médio</i>	<i>Submédio</i>	<i>Baixo</i>
Área (km <sup>2</sup> )	100.076 (16%)	402.531 (63%)	110.446 (17%)	25.523 (4%)
Altitudes (m)	1.600 a 600	1.400 a 500	800 a 200	480 a 0
Trecho principal (km)	702	1230	550	214
Declividade do rio principal (m km <sup>-1</sup> )	0,70 a 0,20	0,10	3,10 a 0,10	0,10
Contribuição da vazão natural média (%)	42,0	53,0	4,0	1,0
Vazão média anual máxima (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	Pirapora 1.303 (Fevereiro)	Juazeiro 4.393 (Fevereiro)	Pão de Açúcar 4.660 (Fevereiro)	Foz 4.999 (Março)
Vazão média anual mínima (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	Pirapora 637 (Agosto)	Juazeiro 1.419 (Setembro)	Pão de Açúcar 1.507 (Setembro)	Foz 1.461 (Setembro)
Sedimentos (10 <sup>6</sup> t ano <sup>-1</sup> ) e área (km <sup>2</sup> )	Pirapora 8,3 (61.880)	Morpará 21,5 (344.800)	Juazeiro 12,9 (510.800)	Propriá 0,41 (620.170)

Fonte: (ANA; GEF; PNUMA; OEA, 2004).

### 2.1.3 Comportamento Hídrico da bacia

Por apresentar maior índice pluviométrico, a margem esquerda do Médio São Francisco possui uma maior quantidade de tributários perenes, se comparado com a margem direita (PEREIRA, 2004).

Em relação à distribuição da vazão média de longa duração no rio principal, a bacia do rio São Francisco apresenta a seguinte configuração: no Alto São

Francisco os valores encontram-se na ordem de  $1.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , já no Médio São Francisco esses valores oscilam entre  $1.000$  a  $2.700 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  e, no Submédio e Baixo, a vazão média de longa duração está na faixa de  $2.000$  a  $2.700 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  (ANA; GEF; PNUMA; OEA, 2003a).

A vazão máxima por região hidrográfica no leito do rio São Francisco apresenta, considerando o período de 1950 a 1999, os seguintes valores: no Alto São Francisco menos de  $4.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ; Médio e Submédio, entre  $4.000$  e  $7.800 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ; e no Baixo, entre  $7.000$  e  $7.800 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . É interessante ressaltar que devido à construção da barragem de Sobradinho (BA) as estações a montante dessa seção apresentam a vazão máxima maior que as estações a jusante. As vazões mínimas médias com sete dias de duração são, em geral, crescentes ao longo do rio São Francisco, sendo menores que  $500 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  no Alto São Francisco, entre  $500$  e  $1.700 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  no médio, e de  $1.000$  a  $1.700 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  no Submédio e Baixo (ANA; GEF; PNUMA; OEA, 2003a).

#### **2.1.4 Solo**

As regiões do Alto, Médio e Submédio São Francisco apresentam solos classificados como Latossolos e Argissolos. Esses são aptos para a prática da agricultura irrigada, porém demandam correção da acidez e adubação. São encontrados também nessas regiões, principalmente no Alto e no Submédio São Francisco, Cambissolos e Neossolos. As regiões situadas entre o Submédio e o Baixo São Francisco apresentam solos de menor aptidão para a agricultura. No Baixo São Francisco ocorrem os solos classificados como Argissolos, Latossolos, Neossolos e Espodossolos (ANA; GEF; PNUMA; OEA, 2004).

#### **2.1.5 Agricultura irrigada como indutor de desenvolvimento regional**

O turismo e a irrigação são as atividades mais importantes do ponto de vista estratégico para a geração de renda, desenvolvimento e redução da pobreza na região (ANA; GEF; PNUMA; OEA, 2004).

Segundo Nicácio (2008) a agricultura irrigada, principalmente a fruticultura, é o principal vetor de desenvolvimento da região do Submédio São Francisco, desencadeando o crescimento paralelo dos demais setores produtivos, como o industrial, comércio e turismo, promovendo melhorias também na infraestrutura como um todo. As cidades de Petrolina e Juazeiro, por exemplo, configuram o

maior polo exportador de frutas do país, com destaque para as culturas da videira e da mangueira.

As culturas descritas a seguir são as que apresentam destaque estratégico dentro da bacia do rio São Francisco, sendo frutíferas as culturas da banana, manga e uva, e as anuais representadas pelas culturas da cana de açúcar, milho e feijão.

#### **2.1.5.1 Banana (*Musa spp.*)**

A banana originou-se na Ásia, sendo seu cultivo situado entre as latitudes 30° S e 30° N do Equador. A fruta da bananeira é o quarto alimento de origem vegetal mais consumido no mundo, sendo de grande importância para a alimentação mundial, ficando atrás apenas do arroz, trigo e milho (EMBRAPA, 2009). Conforme Coelho (2012), o Brasil no ano de 2009 foi o quinto maior produtor de banana do mundo. Apesar da produção elevada, o Brasil apresenta uma baixa produtividade (12,5 t ha<sup>-1</sup>), abaixo da média mundial (16 t ha<sup>-1</sup>), e principalmente quando se compara com outros países como Equador e Costa Rica (respectivamente, 31 e 46,6 t ha<sup>-1</sup>). A banana é a segunda colocada em volume de frutas produzidas e a primeira em consumo no território nacional (EMBRAPA, 2009).

Segundo Coelho (2012), o Nordeste é a maior região produtora com 37,9%. O maior estado produtor é São Paulo, seguido pela Bahia, Santa Catarina, Minas Gerais e Pernambuco.

Na região do Submédio São Francisco a bananeira ocupa o terceiro lugar, no que se refere à produção e área cultivada, ficando atrás da uva e da manga; além disso, a banana, nessa região, possui uma produtividade superior à média nacional, sendo boa parte da área cultivada no perímetro irrigado Senador Nilo Coelho (EMBRAPA, 2009).

#### **2.1.5.2 Manga (*Mangifera indica L.*)**

Segundo Cunha et al. (2002), a manga tem seu local de origem na Índia, onde existem mais de mil variedades e é cultivada a milênios. Atualmente, a cultura da manga irrigada no semiárido brasileiro corresponde a 69% da área plantada e 76% da área em produção, sendo que 90% da exportação nacional provém dessas áreas (EMBRAPA, 2010a).

A produção se concentra nos estados da Bahia, Pernambuco, São Paulo, Minas Gerais e Ceará, sendo a participação de cada um desses estados as seguintes, na mesma ordem, 45,1%, 16,44%, 15,59%, 8,26% e 3,65% do total nacional (IBGE, 2012 citado por Santos).

A mangueira, por apresentar elevada produtividade e excelente qualidade do fruto quando cultivada em regiões de clima semiárido, tem sido amplamente cultivada na região Nordeste, principalmente em áreas irrigadas (EMBRAPA, 2010a).

Conforme o Anuário Brasileiro da Fruticultura (2011), o vale do São Francisco exportou 99.002 toneladas de manga, o que em termos de porcentagem representou 80% da exportação nacional, movimentando aproximadamente US\$119,9 milhões, destinados principalmente para países como Holanda (60.941 t) e Estados Unidos (24.610 t).

### **2.1.5.3 Uva (*Vitis sp.*)**

Conforme Sousa (1996), a família Vitaceae é dividida em dois gêneros, sendo que no gênero *Vitis* encontram-se as espécies de maior importância econômica, destinadas à produção de uvas para mesa e uvas para a produção de vinho. Já o gênero *Cissus* é composto por espécies ornamentais, com aplicação medicinal.

Dentre as regiões produtoras no Brasil, as de maior destaque são a região Sul, que corresponde a 66% da produção nacional, Nordeste, representando 18,8% da produção, e Sudeste, cuja produção correspondeu a 14,6%, no ano de 2008 (IBGE, 2009 citado por EMBRAPA, 2010b). No entanto, cabe ressaltar que a produção da região Sul é em sua maior parte destinada para a produção de vinho. Já a produção de uva para atender o mercado de mesa corresponde a 49,4% da produção Nacional, sendo que desses, 37,7% correspondem à produção da região Nordeste (EMBRAPA, 2010b).

Segundo Embrapa (2005a), a produção brasileira de uva destinada ao mercado de mesa está em franca expansão no país, e isso é facilitado pela grande adaptabilidade da cultura da videira às mais diversas condições climáticas, boa resposta ao controle da irrigação em climas com baixas precipitações, maior controle fitossanitário devido à baixa umidade, tornando regiões como o Sudeste e o Nordeste do Brasil grandes produtoras.

A produção de uva no semiárido brasileiro, principalmente no Submédio do Vale do São Francisco, é destaque na expansão da área cultivada e, principalmente, pelo volume produzido. Dentre as culturas irrigadas na região do Submédio São Francisco, a cultura da uva é a segunda mais importante estando atrás apenas da manga (EMBRAPA, 2010b).

#### **2.1.5.4 Cana de açúcar (*Saccharum spp.*)**

Provavelmente a cultura da cana de açúcar foi introduzida na China antes do início da era cristã, sendo seu uso como xarope datado desde a Antiguidade. Passou a ser cultivada na Europa, sendo levada pelos árabes, e no século XIV já ocupava vastas áreas da região mediterrânea. Como a produção era insuficiente, os europeus passaram a importar do oriente, porém com a descoberta da América houve a possibilidade de cultivo nas colônias, sendo a primeira atividade produtiva instalada no Brasil (MACHADO, 2008).

Atualmente a cana de açúcar é de grande importância econômica para o Brasil, tanto para o setor agrícola quanto para a indústria energética. Segundo dados do IBGE (2013), atualmente o Brasil é o maior produtor mundial de cana de açúcar, contando com uma área de 10,56 milhões de hectares, que produzem mais de 670 milhões de toneladas de colmos (CARMO, 2013). Os maiores estados produtores são São Paulo (51,31% da área plantada), Goiás (9,3%), Minas Gerais (8%), Mato Grosso do Sul (7,09%), Paraná (7,04%), Alagoas (5,02%) e Pernambuco (3,25%) (CONAB, 2013).

Segundo Singh et al. (2007), em regiões semiáridas a irrigação é um recurso primordial para a produção de cana de açúcar, aumentando consideravelmente o rendimento da cultura.

O município de Juazeiro, situado no Norte do Estado da Bahia na região semiárida do Submédio São Francisco, tem apresentado destaque no que se refere à produtividade da cana de açúcar, principalmente em função da adoção da tecnologia de irrigação (SILVA, 2012).

#### **2.1.5.5 Milho (*Zea mays L.*)**

Pertencente à família Poaceae, a planta de milho é uma gramínea cujo local de origem é provavelmente a América Central ou o México, a aproximadamente 8 ou 10 mil anos (EMBRAPA, 2012).

Segundo Porto (2010), o milho é um dos mais importantes cereais cultivados e consumidos no mundo devido ao seu potencial produtivo, composição química e seu valor nutritivo. É insumo produtivo de uma vasta gama de indústrias, apresentando uma multiplicidade de fins podendo ser utilizado para a alimentação humana e animal, tendo relevante papel socioeconômico (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000 citado por PORTO, 2010).

No cenário mundial, o Brasil ocupa a terceira posição no que refere à produção (6%) estando atrás dos Estados Unidos (44%) e China (21%) (FAO, 2006). A safra do ano 2011/2012 no Brasil apresentou valores recordes de produção e área cultivada (EMBRAPA, 2012).

Somado a produção de soja, a produção de milho brasileira contribui com cerca de 80% da produção de grãos, sendo a maior diferença entre a soja e o milho é mercado a ser atendido, uma vez que a soja é uma “commodity” no comércio internacional e o milho tem sua produção direcionada ao mercado interno. A cultura do milho tem apresentado incrementos, no que se diz respeito à produção e área cultivada, na ordem de 3% e 0,4% ao ano, respectivamente. Apresentando uma produção média superior a 13 milhões de toneladas no triênio 2007-2010, o estado do Paraná é o maior produtor (EMBRAPA, 2012).

No vale do rio São Francisco as áreas irrigadas com milho tiveram destaque anteriormente ao cultivo de frutíferas, sendo posteriormente substituídas pelas frutíferas (Plano de Desenvolvimento da Fruticultura, 2008). Atualmente é produzido de forma expressiva no Oeste baiano.

#### **2.1.5.6 Feijão (*Phaseolus vulgaris* L.)**

O local de origem da cultura do feijão são as Américas, onde foi domesticado a princípio pelos povos indígenas no chamado período pré-colombiano (MENSACK et al., 2010).

O feijoeiro comum, dentre as demais espécies pertencentes ao gênero *Phaseolus*, é a mais cultivada; no entanto, quando se refere a todos os gêneros e espécies classificadas como feijão, aproximadamente 107 países são considerados produtores no mundo (EMBRAPA, 2003).

Grande parte do consumo mundial de feijão concentra-se nas Américas, cujo consumo corresponde a 43,2% do consumo mundial; em seguida vem a Ásia (34,5%), África (18,5%), Europa (3,7%) e Oceania (0,1%), podendo ainda se

afirmar que 86,7% do consumo mundial ocorre em países subdesenvolvidos (EMBRAPA, 2005b).

Segundo Silva (2011), o Brasil é o maior produtor e consumidor de feijão no mundo; no entanto, existe uma ampla diversidade no que se refere à preferência dos consumidores em relação ao tipo de grãos e suas características, como, por exemplo, a forma, tamanho, brilho e cores. Como exemplo, no Sul do país, Rio de Janeiro e Espírito Santo, a preferência é pelo feijão preto. No estado de São Paulo ocorre um predomínio do tipo carioca, já em Minas Gerais as preferências se dividem entre os tipos mulatinho, roxinho, rosinha e pardo.

O cultivo do feijão é bem difundido em todo o território nacional, seja pelo cultivo de subsistência de pequenas comunidades ou produzidos em larga escala adotando tecnologias avançadas incluindo a irrigação e a colheita mecanizada. Conforme a região, o plantio pode ser realizado ao longo de todo o ano, logo, sempre haverá produção em algum local do país visando o abastecimento interno (EMBRAPA, 2003).

Assim como o milho, o feijão no vale do rio São Francisco era cultivado nas áreas irrigadas que antecederam o cultivo de frutíferas (Plano de Desenvolvimento da Fruticultura, 2008). Hoje também é produzido de forma expressiva no Oeste baiano, no polo de desenvolvimento de Barreiras.

## ***2.2 Irrigação na bacia do rio São Francisco***

Dentre as atividades que requerem o uso consuntivo da água pelo homem, a agricultura irrigada destaca-se pelo volume requerido para a produção de alimentos. Quando se fala em termos mundiais, a agricultura irrigada é responsável pela derivação de até 85% da água consumida para o suprimento das atividades humana (SHIKLOMANOV, 2000). No que se refere ao Brasil, esse valor corresponde a 60% da água. Em 1960, a agricultura irrigada no Brasil apresentava, aproximadamente, 64 mil hectares; porém, no ano de 2001 esse valor atingiu 3,149 milhões de hectares (BRASIL, 2006a).

Da década de 70 até a década de 90 do século 20, a área ocupada por culturas irrigadas apresentou um incremento de 286% na bacia do rio São Francisco (LIMA, MIRANDA; 2001), em virtude principalmente da criação dos perímetros irrigados.

A bacia do rio São Francisco apresenta um total de 342.712 ha irrigados, dentre os quais 13% estão no Alto São Francisco, 50% no Médio, 27% no Submédio e 10% no Baixo São Francisco (ANA; GEF; PNUMA; OEA, 2004).

Os locais de maior representatividade em relação a agricultura irrigada na bacia são: Norte de Minas, onde se destacam os perímetros irrigados de Gorutuba, Pirapora, Jaíba e Janaúba; Distrito Federal; Bahia, com destaque para Formoso/Correntina, Barreiras, Guanambi e Irecê; e os projetos no Baixo São Francisco, nos Estados de Alagoas e Sergipe. A região semiárida da bacia do rio São Francisco tornou ainda mais expressiva a participação do Brasil no mercado internacional de frutas, isto se deve principalmente ao polo de desenvolvimento Juazeiro-Ba/Petrolina-PE. Nos perímetros citados tem prevalecido o cultivo de culturas de maior valor econômico como grãos, frutas, olerícolas e a cultura do café (ANA; GEF; PNUMA; OEA, 2004).

Segundo o PLANVASF (1989), a bacia do São Francisco possui cerca de 30 milhões de hectares aptos para a prática da agricultura, sendo que desses 8,1 milhões de hectares são potencialmente irrigáveis, ficando esta restrita à disponibilidade de recursos hídricos. Como citado no ANA; GEF; PNUMA; OEA, (2004), segundo a CODEVASF, o limite para a irrigação, sem que haja conflitos entre os múltiplos usos, são 800.000 ha. O Quadro 3 apresenta a divisão das áreas por estado e pela classificação da terra quanto à aptidão para a irrigação.

Quadro 3 - Áreas irrigáveis por estado na bacia do rio São Francisco de acordo com a classificação quanto a aptidão para a irrigação

<b>Solos irrigáveis com acessibilidade a águas superficiais (ha)</b>				
<i>Estado</i>	<i>Classe de Terras para a Irrigação</i>			<i>Total</i>
	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	
<i>Minas Gerais</i>	178.000	2.389.700	5.500	2.573.200
<i>Bahia</i>	552.200	4.310.200	-	4.862.400
<i>Pernambuco</i>	-	453.500	-	453.500
<i>Sergipe</i>	-	65.000	-	65.000
<i>Alagoas</i>	-	133.700	12.200	145.900
<i>Total</i>	730.200	7.352.100	17.700	8.100.000

Fonte: PLANVASF (1989) apud Projeto ANA/GEF/PNUMA/OEA (2003).

É importante ressaltar a necessidade de se ter uma melhoria na eficiência e no manejo da irrigação na bacia. Cada método de irrigação diferente apresenta um determinado valor de eficiência, sendo que aqueles de menor eficiência apresentam maiores perdas por percolação como pode ser observado nos



sistemas de irrigação por gravidade (sulcos, faixas de infiltração, etc) (BRASIL, 2006b).

O Quadro 4 apresenta a relação do tipo de sistema de irrigação utilizado por região e a área ocupada por estado.

Quadro 4 - Tipo de sistema de irrigação utilizado, com respectivas áreas (ha), por região na bacia do rio São Francisco

<i>Região</i>	<i>Superfície</i>	<i>Aspersão</i>	<i>Pivô Central</i>	<i>Localizada</i>	<i>Total</i>
<i>Alto</i>	15.053	10.541	12.275	6.222	44.091
<i>Médio</i>	34.588	44.722	54.739	36.711	170.760
<i>Sub-Médio</i>	23.191	38.366	14.079	17.544	93.180
<i>Baixo</i>	5.970	15.901	2.043	1.412	34.681
<i>Total</i>	78.882	109.530	83.136	61.889	342.712

Fonte: Adaptado de ANA/GEF/Pnuma/OEA (2003) apud BRASIL (2006b).

Conforme ANA; GEF; PNUMA; OEA (2003a) no estudo da quantificação e análise da eficiência do uso da água pelo setor agrícola na bacia do São Francisco, a agricultura irrigada na bacia é conduzida com baixa eficiência de aplicação de água, tanto nos sistemas de irrigação localizada quanto na irrigação por aspersão, com valores médios de 79,1% e 70,3%, respectivamente.

Em Minas Gerais, os maiores consumos de água por unidade de área foram observados na utilização do sistema de irrigação por superfície, enquanto os menores foram observados nos sistemas por gotejamento e mangueira. Já na Bahia, os maiores consumos de água foram observados nos sistemas de aspersão convencional e pivô central, e as menores demandas foram registradas nos sistemas de irrigação localizada (BRASIL, 2006b).

### **2.2.1 Perímetros irrigados de Gorutuba, Jaíba, Lagoa Grande e Pirapora**

Situados na região norte do estado de Minas Gerais, os perímetros irrigados somados abrangem uma área de 46.075 ha em operação. As fontes hídricas de maior representatividade para a região são os rios São Francisco, Verde Grande, Gorutuba, Jequitaí e das Velhas.

Além dos perímetros já implantados, outros encontram-se em fase de projeto como o projeto Jequitaí, sendo que dos 34.605 ha previstos 18.593 ha já estão com o projeto básico concluído. Outro projeto em fase de estudos prévios e de viabilidade é o projeto rio das Velhas, cuja área irá abranger aproximadamente

25.000 ha. A região apresenta uma produção diversificada, sendo que as culturas de maior relevância são banana, uva, citrus, olerícolas e grãos (CODEVASF, 2014).

### **2.2.2 Barreiras**

Localizada no oeste da Bahia, os perímetros São Desidério/Barreiras Sul, Riacho Grande, Nupeba e Barreiras Norte, abrangem uma área total de 7.214 ha em operação. Em fase de estudos prévios, o projeto Brejos da Barras possuirá 4.300 ha. O rio Grande é a fonte de água utilizada.

A fruticultura, principalmente o plantio de coco verde, banana, manga e limão, e o cultivo de grãos (feijão e milho) são os destaques da produção agrícola da região (CODEVASF, 2014).

### **2.2.3 Juazeiro/Petrolina**

Região situada no entorno das cidades de Juazeiro e Petrolina, sendo pioneira em perímetros irrigados na bacia do rio São Francisco, e hoje considerado o polo de irrigação mais desenvolvido na bacia. Os primeiros estudos de viabilidade tiveram início na década de 1960, sendo os primeiros irrigantes instalados nos perímetros de Bebedouro e Mandacaru em 1968, pela Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste – SUDENE (CODEVASF, 2014).

Segundo a CODEVASF (2014), encontram-se hoje em operação um total de 44.145 ha, distribuídos pelos perímetros irrigados de Curaçá, Maniçoba, Tourão, Mandacaru, Senador Nilo Coelho e Bebedouro, além do projeto Itaparica, onde encontram-se os projetos de Pedra Branca, Glória, Rodelas, Manga de Baixo, Apolônio Sales, Brígida, Icó-Mandantes e Caraíbas. Além dos já implantados encontram-se em fase de implantação os projetos Salitre (1ª Etapa) e Pontal, que totalizam 39.167 ha, dentre os quais 8.680 ha já foram implantados. Outros ainda encontram-se em fase de estudos prévios e de viabilidade.

A região é destaque nacional no que se refere à fruticultura irrigada voltada para exportação, sendo seus produtos destinados a vários países do mundo.

### **2.3 Geração de energia hidrelétrica na bacia do rio São Francisco**

A obtenção de energia pela hidroeletricidade é predominante em território brasileiro, sendo essa uma característica peculiar do Brasil em comparação com as demais nações do mundo, uma vez que apenas 28% da nossa energia elétrica é proveniente de termelétricas (ANEEL, 2015).

De acordo com Cicogna (2003), a geração elétrica brasileira apresenta algumas características que a difere dos demais sistemas hidrogeradores do mundo:

- predominância do sistema hidrelétrico apesar das grandes distâncias existentes entre os locais geradores e os centros consumidores;
- possibilidade de vários aproveitamentos em um mesmo curso d'água, presença de reservatórios com regularização plurianual;
- possui o Sistema Interligado Nacional (SIN), que conecta os sub sistemas geradores;
- variação nos regimes hidrológicos e pluviométricos entre as diferentes regiões;
- Ainda possui um grande potencial hidrelétrico a ser explorado (aproximadamente 200 GW), com a maior parte deles localizados na região Amazônica.

Segundo Rodriguez (2004), além da irrigação, outra atividade econômica de extrema importância na bacia do rio São Francisco é a geração de energia elétrica. Atualmente o rio São Francisco conta com uma vasta gama de hidrelétricas já instaladas, sendo as de maior relevância as usinas de Três Marias, Sobradinho, Itaparica, Moxotó, Complexo Paulo Afonso e Xingó. O Quadro 5 apresenta as características das hidrelétricas instaladas na calha do rio São Francisco.

Quadro 5 - Aproveitamentos hidrelétricos e suas características na bacia do rio São Francisco

<i>Usina</i>	<i>Dist. até a foz (km)</i>	<i>Dis. Entre Usinas (km)</i>	<i>Área de Drenagem (km<sup>2</sup>)</i>	<i>A. Drenagem incremental (km<sup>2</sup>)</i>	<i>Volume Útil (hm<sup>3</sup>)</i>	<i>Potência Instalada (MW)</i>
<i>Três Marias</i>	2.220		50.560	50.560	15.278	396
<i>Sobradinho</i>	800	1.420	498.425	447.865	28.669	1.050
<i>Itaparica</i>	310	490	587.000	88.575	3.548	1.500
<i>Moxotó</i>	270	40	599.200	12.200	226	400
<i>P.A. I, II e III</i>	270	0	599.200	0	90	1.423
<i>P.A. IV</i>	270	0	599.200	0	30	2.460
<i>Xingó</i>	210	60	608.700	9.500	5	3.000

FONTE: ANA; GEF; PNUMA; OEA (2002).

### **2.3.1 Usina Hidrelétrica de Três Marias**

A usina Hidrelétrica de Três Marias, localizada no Estado de Minas Gerais, mais precisamente no Município de Três Marias, é a única das Hidrelétricas que se localiza no trecho do Alto São Francisco e também é a única na calha principal do rio São Francisco que não é administrada pela CHESF, sendo sua operação a cargo da Companhia Energética do Estado de Minas Gerais - CEMIG.

A usina começou a ser construída no ano de 1957 e teve o início de sua operação no ano de 1962. A barragem apresenta um comprimento máximo de 2.700 m e uma altura máxima de 75 m, possui seis unidades geradoras, com turbina Kaplan, sendo cada uma com 66.000 kW, totalizando 396.000 kW (CEMIG, 2014). Além da geração de energia a barragem de Três Marias é responsável pela regularização da vazão do rio São Francisco.

### **2.3.2 Usina Hidrelétrica de Sobradinho**

Segundo a Companhia Hidrelétrica do São Francisco – CHESF (2014), a Hidrelétrica de Sobradinho está situada no estado da Bahia, e fica aproximadamente 40 km a montante das cidades de Juazeiro/BA e Petrolina. O início de sua construção ocorreu no mês de junho de 1973 e o início de sua operação no mês de novembro de 1979.

Além da geração de energia elétrica também possui um papel fundamental na regularização da vazão no rio, assim como Três Marias. Isso é possível graças ao seu imenso reservatório que possui 320 km de extensão, um espelho d'água de 4.214 km<sup>2</sup>, e uma capacidade de armazenamento total de 34,1 bilhões

de metros cúbicos, o que garante a operação das demais usinas a jusante desse reservatório (CHESF, 2014).

A barragem possui um comprimento total de 12,5 km, altura máxima de 41 m, a casa de força conta com seis unidades geradoras sendo que cada uma possui 175.050 kW, sendo no total 1.050.300 kW. As demais estruturas da barragem são vertedouro de superfície e desarenador, e uma tomada d'água com uma vazão de até  $25 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  para os projetos de irrigação na região (CHESF, 2014).

### **2.3.3 Usina Hidrelétrica de Itaparica (Luiz Gonzaga)**

A Usina hidrelétrica de Itaparica está localizada aproximadamente 25 km a jusante da cidade de Petrolândia, no estado de Pernambuco, e 50 km a montante do Complexo Hidrelétrico de Paulo Afonso. Além da geração de energia tem a função de regularização das vazões diárias e semanais das usinas a jusante (CHESF, 2014).

A construção de Luiz Gonzaga teve início em julho de 1979 e sua conclusão ocorreu somente nove anos depois em 13 de junho de 1988. O comprimento total da barragem é de 4,7 km, 105 m de altura, a área total do reservatório é de  $828 \text{ km}^2$ , o volume total do reservatório é de 10,782 bilhões de  $\text{m}^3$ . Na casa de força tem seis unidades com potência unitária instalada de 246.600 kW, sendo o total aproximadamente 1.500.000 kW. O vertedouro possui nove comportas do tipo setor (CHESF, 2014).

### **2.3.4 Usina Hidrelétrica de Moxotó (Apolônio Sales)**

A Usina de Moxotó teve seu projeto e sua construção executados pela CHESF, com o início das obras em 15 de janeiro de 1971 e início da operação em abril de 1977. Integrante do Complexo Paulo Afonso, a usina está situada no município de Delmiro Gouveia no estado de Alagoas, e a 8 km da cidade de Paulo Afonso, na Bahia. Pelo fato de se localizar apenas 3 km a montante do Complexo Paulo Afonso, a mesma vazão que alimenta suas turbinas também é verificada no complexo situado logo a jusante (CHESF, 2014).

A barragem apresenta 30 m de altura, o comprimento total da crista é 2.825 m, além de contar com um desarenador, um vertedouro de descarga controlada equipado com 20 comportas tipo setor e cuja vazão máxima é de  $28.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . A casa de máquinas possui quatro unidades geradores acoplados com turbinas

tipo Kaplan, com potência unitária de 100.000 kW, totalizando 400.000 kW (CHESF, 2014).

### **2.3.5 Usina Hidrelétrica Paulo Afonso I, II e III**

As usinas de Paulo Afonso I, II e III estão situadas na mesma represa, porém possuem casas de máquina diferentes. Foram projetadas e construídas pela CHESF, e se localizam no município de Paulo Afonso, na Bahia. O barramento possui 20 metros de altura, sendo o comprimento da crista de 4.707 m, um vertedouro do tipo Kreager, quatro vertedores de superfície com comportas tipo vagão, um desarenador, dois drenos de areia e tomada d'água. A casa de força é subterrânea a uma profundidade de 80 m, escavada na rocha (CHESF, 2014).

Paulo Afonso I possui três unidades geradoras acopladas a turbinas Francis, com potência individual de 60.000 kW, totalizando 180.000 kW. Paulo Afonso II apresenta seis geradores acoplados a turbinas tipo Francis, destas duas tem potência 70.000 kW, três com 76.000 kW e uma com 75.000 kW, tendo um somatório total de 443.000 kW. Já a Usina de Paulo Afonso III, possui quatro unidades acionadas por turbinas Francis, com potência individual de 198.550 kW, que somadas totalizam 794.200 kW (CHESF, 2014).

### **2.3.6 Usina Hidrelétrica Paulo Afonso IV**

A usina de Paulo Afonso IV compõe o Complexo Paulo Afonso, porém seu represamento situa-se em um local distinto das usinas I, II e III. É alimentado por um canal de derivação escavado que parte do reservatório de Moxotó. A altura máxima é em torno de 35 m, e o comprimento da crista de 7.430 m, possui um vertedouro com oito comportas do tipo crista/controlado, com uma capacidade total de descarga de  $10.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  e conta com uma tomada d'água. A casa de máquinas é subterrânea, possuindo seis unidades geradoras que totalizam 2.462.400 kW, sendo que cada uma é acionada por uma turbina Francis de eixo vertical com uma potência instalada de 410.400 kW (CHESF, 2014).

### **2.3.7 Usina Hidrelétrica Xingó**

A hidrelétrica de Xingó situa-se entre os estados de Alagoas e Sergipe, mais precisamente a 12 km do município de Piranhas - AL e a 6 km do município Canindé do São Francisco cujo início da construção ocorreu em março de 1987 e a operação em dezembro 1994. É a última das Hidrelétricas da CHESF, ficando

a 65 km a jusante do Complexo Paulo Afonso, sendo importante fonte de água para projetos de irrigação na região, além de fonte de abastecimento de água para a cidade de Canindé - SE (CHESF, 2014).

A altura máxima da barragem é de 140 m, do lado esquerdo do barramento (AL) está localizado o vertedouro com duas calhas e 12 comportas do tipo segmento com descarga máxima de  $33.000 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ . Do lado direito do barramento (SE) estão a tomada d'água, os condutos que levam a água até a casa de força. São seis geradores acoplados em turbinas tipo Francis com 527.000 kW cada uma totalizando 3.162.000 kW (CHESF, 2014).

#### **2.4 Competição pelo uso da água na bacia do rio São Francisco**

Os desafios referentes ao gerenciamento dos recursos hídricos ocorrem devido à complexidade hidrológica aliada à questão socioeconômica da utilização da água em bacias hidrográficas (BERGER et al, 2007).

Segundo Brasil (2006a), os estudos realizados pelo *International Irrigation Management Institute* – IIMI revelam que a água será o fator limitante ao processo produtivo no decorrer do século XXI em vários locais do mundo. Sendo assim é imprescindível um planejamento adequado da sua utilização de acordo com seus limites, uma vez que as captações de água doce aumentaram sete vezes no século passado (GLEICK, 2000).

A utilização da água para múltiplos fins se dá pelo fato de a mesma ser parte integrante do processo produtivo, compor a paisagem e interferir em processos biogeoquímicos, além de suprir as necessidades hídricas da população. Desde a sua retirada ocorrem perdas que promovem alterações na sua quantidade, bem como na sua qualidade conforme as suas finalidades (NASCIMENTO, 2011).

A Política Nacional de Recursos Hídricos estabelece que "em situações de escassez, o uso de maior prioridade é o consumo humano e a dessedentação de animais", o que implica o uso da água como bem essencial à vida. Sendo assim, os seus objetivos são garantir à atual e às futuras gerações, a necessária disponibilidade de água, de modo que a mesma atenda, em termos de qualidade, aos respectivos usos, além de promover sua utilização de forma integrada e racional. Fundamentado em seu artigo 1º, "a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico". Portanto a gestão dos recursos hídricos deve proporcionar sempre o múltiplo uso das águas (BRASIL, 2006a).

Segundo o Relatório de Impacto Ambiental do Projeto de Transposição do rio São Francisco (2004), as águas desse mesmo rio atendem a diversos usos dentre os quais se destacam a geração de energia elétrica e irrigação.

Brasil (2006a) descreve com clareza os eventos conflitivos na bacia do rio São Francisco pelos diversos usuários da água desse rio. A bacia do São Francisco apresenta uma característica marcante e peculiar: nela são encontrados os mais diversos tipos de usos da água, e durante muito tempo cada setor agiu de forma independente, não levando em consideração a influência que um setor tem sobre o outro. Os primeiros conflitos surgiram pela construção das primeiras hidrelétricas, Três Marias (MG) e Sobradinho (BA), que causaram a desapropriação de várias famílias, sendo que muitas delas tinham seu sustento pela pesca no rio ou irrigação de pequenas áreas, e tiveram seus hábitos de vida alterados significativamente. Impactos também foram registrados a jusante de Sobradinho, uma vez que com a construção da barragem a vazão do rio passou a ser regularizada, logo, as cheias do São Francisco, comuns entre os meses de março e fevereiro passaram a não mais ocorrer, impedindo a população ribeirinha de cultivar arroz e criar de peixes conforme a tradição. Com o passar dos anos e o aumento das áreas irrigadas, os conflitos passaram a ser pelo uso da água em sub - bacias do São Francisco, como, por exemplo, nas áreas irrigadas do alto Paracatu, mais precisamente em seus afluentes Preto e Entre - Ribeiros, onde devido à irrigação de vastas áreas com pivôs-centrais, diversas veredas foram comprometidas. A irrigação atua de duas formas diferentes: a primeira como usuária consuntiva e a segunda como grande consumidora de energia. No geral, na calha do São Francisco há um balanço positivo na relação consumo versus disponibilidade, sendo os maiores problemas encontrados em suas sub - bacias, cujo consumo compromete pequenos aproveitamentos hidrelétricos, além da captação para abastecimento das cidades a jusante. O conflito entre irrigação e geração de energia na calha principal é latente, e o setor elétrico está à frente no que diz respeito ao planejamento de longo prazo para assegurar a vazão.

Segundo Mascarenhas (2008), existe uma tendência em relação ao crescimento dos usos múltiplos e a conseqüente redução na disponibilidade hídrica para o potencial de geração de energia já instalado. O mesmo autor ainda menciona no que se refere à disponibilidade *versus* as demandas na bacia do rio São Francisco, sendo que o setor de geração de energia é o principal usuário



da água, por mais que este não seja um uso consuntivo, a limitação da vazão próxima a  $1.500 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  restringe os usos consuntivos na bacia, com vistas de assegurar a geração de energia.

Atendendo as demandas do Setor elétrico, a Agência Nacional de Águas – ANA, lançou em 22 de julho de 2002 a Resolução 145, que apresenta as estimativas de áreas irrigadas na bacia para o período compreendido entre 1999 e 2007, levando em consideração uma taxa de crescimento de  $8.000 \text{ ha ano}^{-1}$  (ANA; GEF; PNUMA; OEA, 2002).

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Caracterização dos locais estudados**

Os locais de estudo compreendem os perímetros irrigados situados em Jaíba e Pirapora, localizados no Norte do Estado de Minas Gerais, Barreiras, que se encontra no Oeste da Bahia e Petrolina, situada em Pernambuco (PE), além das hidrelétricas do Sistema CHESF: Sobradinho - BA, Itaparica - PE, Moxotó – BA, Paulo Afonso I, II, III e IV - BA e Xingó - AL e SE.

Segundo a Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e Parnaíba (CODEVASF), o perímetro irrigado de Pirapora apresenta uma área de 1.236 ha de lotes empresariais, cuja produção se dedica à fruticultura, com destaque para a produção de banana, tangerina e uva (CODEVASF, 2014).

O projeto Jaíba I, situado entre os municípios de Jaíba, Matias Cardoso e Verdelândia, no Médio São Francisco, encontra-se atualmente com 19.080 ha implantados, com previsão total de 65.879 ha irrigados, divididos entre lotes empresariais e familiares. Da área implantada, mais da metade é destinada à produção de frutas, sendo limão a de maior relevância (CODEVASF, 2014).

O polo Barreiras, situado no Oeste Baiano, apresenta uma área total em operação de 7.214 ha, com destaque a fruticultura (coco verde, banana, manga e limão) e a produção de grãos (milho, feijão e soja).

O polo de irrigação mais desenvolvido no vale do rio São Francisco localiza-se no entorno das cidades de Juazeiro e Petrolina. É composto por diversos perímetros que totalizam 44.145 ha em operação, divididos entre Curaçá, Maniçoba, Tourão, Mandacaru, Senador Nilo Coelho e Bebedouro (CODEVASF, 2014).

A aproximadamente 850 km a jusante do perímetro irrigado do Jaíba situa-se a hidrelétrica de Sobradinho, a primeira hidrelétrica que compõe a cascata do sistema CHESF ao longo do leito do rio São Francisco. A represa da Hidrelétrica de Sobradinho garante uma regularização da vazão, possibilitando a operação de todas as usinas situadas a jusante, segundo a Companhia Hidrelétrica do São Francisco (CHESF, 2014).

Na Figura 1 estão representadas as estações meteorológicas utilizadas nas localidades de Pirapora, Jaíba, Barreiras e Petrolina, situadas próximas aos

perímetros irrigados, assim como a localização das hidrelétricas na bacia do rio São Francisco.

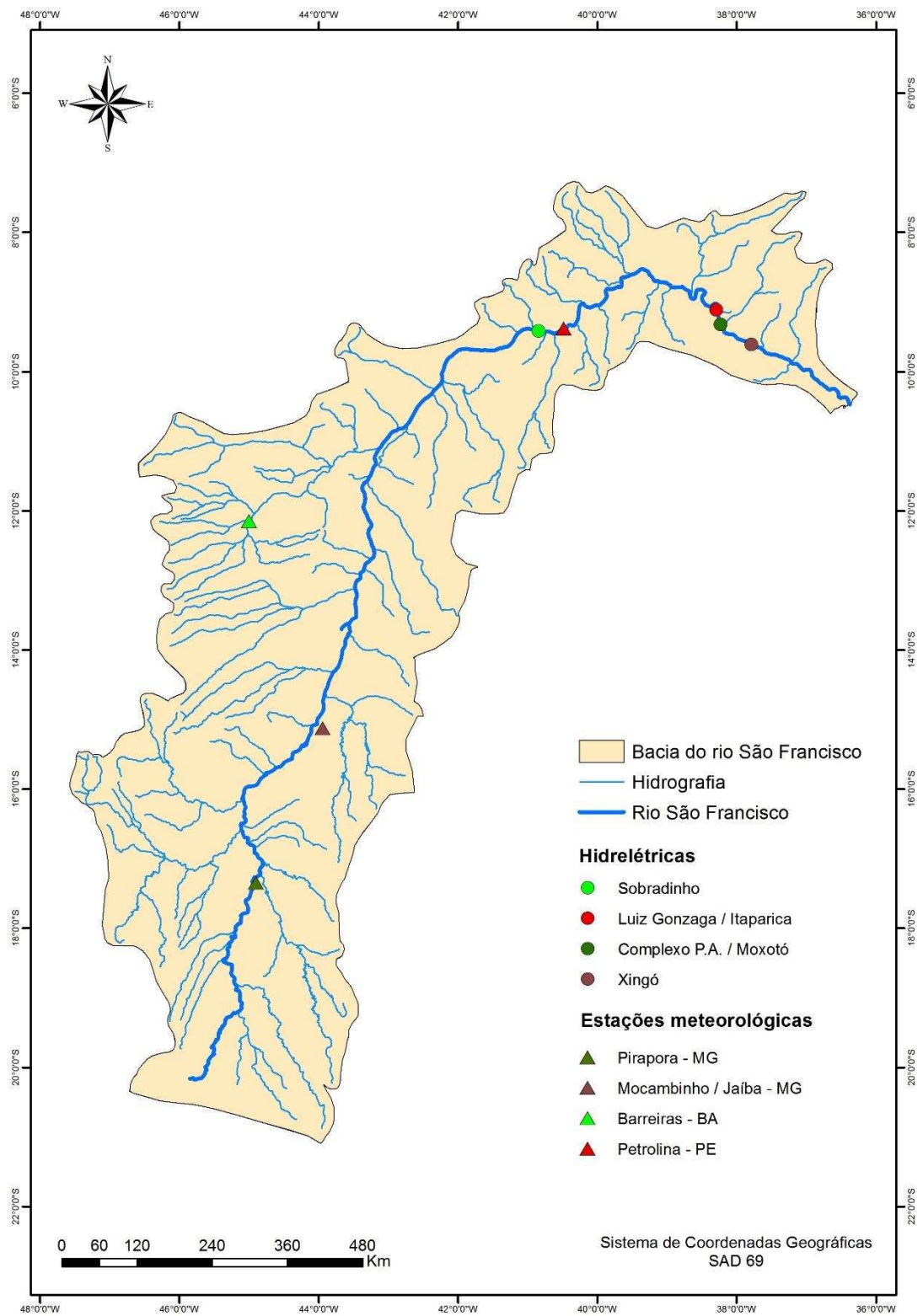


Figura 1 - Bacia do rio São Francisco: estações meteorológicas e hidrelétricas.

### 3.2 Dados Climatológicos

Os dados climatológicos foram obtidos junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), no Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), para Pirapora - MG, Jaíba - MG, Barreiras - BA e Petrolina - PE. Foram adquiridos os dados de temperatura máxima (°C), temperatura mínima (°C), insolação (horas), umidade relativa média do ar (%) e velocidade do vento média ( $m.s^{-1}$ ), todos em escala diária.

Utilizou-se como base para a coleta dos dados o período compreendido entre o primeiro ano de registro dos dados disponíveis na base de dados pelo INMET, ou seja 1961, até o último ano de dados completos, portanto o ano de 2013.

Os critérios utilizados para a seleção dos anos utilizados no estudo foram os seguintes:

- Os anos selecionados possuísem o mínimo de dados perdidos possível, sendo padronizados os 10 anos com a menor quantidade de dados faltantes para cada variável climática utilizada.
- Os anos que apresentaram pelo menos um mês inteiro com ausência de dados não foram utilizados na análise.
- Para efeitos de padronização não foi utilizado o dia 29/02 em anos bissextos, sendo assim todos os anos apresentaram exatos 365 dias.

As estações utilizadas para a seleção dos dados podem ser visualizadas no Quadro 6.

Quadro 6 - Estações meteorológicas utilizadas

<b>Atributo</b>	<b>Estações meteorológicas</b>			
	<i>Código</i>	<i>Latitude (°)</i>	<i>Longitude (°)</i>	<i>Altitude (m)</i>
<i>Pirapora - MG</i>	83483	-17,35	-44,91	505,24
<i>Mocambinho/Jaíba - MG</i>	83389	-15,08	-44,01	452,00
<i>Barreiras - BA</i>	83236	-12,15	-45,00	439,29
<i>Petrolina - PE</i>	82983	-9,38	-40,48	370,46

FONTE: INMET (2014)

Após a seleção dos dados, aqueles considerados incoerentes ou inconsistentes foram considerados falhos e em seguida foram excluídos e substituídos pela média do mês em questão. É possível observar quais anos foram selecionados para cada estação utilizada (Quadro 7).

Quadro 7 - Anos selecionados em cada uma das estações meteorológicas utilizadas para a estimativa da  $ET_0$  de longo período

<b>Estação</b>	<b>Anos utilizados para a estimativa da <math>ET_0</math> de longo período</b>
<i>Pirapora - MG</i>	1970, 1976, 1990, 1991, 1999, 2000, 2003, 2006, 2011, 2012
<i>Mocambinho/Jaíba - MG</i>	1986, 1987, 1988, 1991, 1996, 1997, 2000, 2001, 2002, 2009
<i>Barreiras - BA</i>	1967, 1969, 1970, 1978, 1979, 2001, 2002, 2003, 2006, 2007
<i>Petrolina - PE</i>	1973, 1975, 2003, 2006, 2007, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013

FONTE: INMET (2014)

### **3.3 Estimativas da evapotranspiração de referência**

Os cálculos da evapotranspiração de referência para as estações climatológicas presentes nos locais de estudo foram realizados com base no método de Penman-Monteith, seguindo o modelo publicado na FAO 56 (ALLEN *et al.*, 1998).

A evapotranspiração de referência foi calculada diariamente para todos os anos selecionados em cada uma das quatro localidades utilizando o software Reference Evapotranspiration Calculator - Ref ET (ALLEN, 2000). Após o cálculo obteve-se a média da evapotranspiração diária para os 10 anos, ou seja, a evapotranspiração diária de longo período para Pirapora - MG, Jaíba - MG, Barreiras - BA e Petrolina - PE.

Como o estudo visa obter relações entre o consumo de água das culturas nos referidos locais de estudo, a decisão de se trabalhar com uma evapotranspiração média de longo período tem por objetivo chegar a valores representativos, uma vez que a utilização de um determinado ano poderia levar a erros em função da utilização de um ano atípico, ou que não representasse as condições reais do local.

### **3.4 Evapotranspiração das culturas**

#### **3.4.1 Parâmetros**

A evapotranspiração das culturas foi estimada em base diária fazendo o balanço de água no solo. Para isso adotou-se a Planilha do Apêndice 8 do Boletim 56 da Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), porém, com algumas modificações, pois a planilha trabalha com o coeficiente de cultura duplo, ou seja, o coeficiente responsável pela transpiração da cultura ( $k_{cb}$ ) somado ao coeficiente de evaporação no solo ( $K_e$ ). As alterações na planilha foram no sentido de alterar a metodologia para o coeficiente de cultura

único ( $K_c$ ) que engloba os efeitos médios de evaporação no solo e transpiração da planta em um único coeficiente.

Foram utilizadas as culturas perenes de manga, banana e uva, e as culturas anuais de milho, feijão e cana de açúcar, que representam, no caso das perenes, as culturas de maior relevância dentro dos perímetros irrigados selecionados e no caso das anuais, pela sua importância no cenário nacional e regional.

A evapotranspiração das culturas banana, manga, uva, milho, feijão e cana de açúcar foi calculada diariamente levando-se em consideração a evapotranspiração de referência diária, o coeficiente de cultura  $K_c$ , e o coeficiente de estresse hídrico do solo  $K_s$ , conforme a equação:

$$ET_c = K_s K_c ET_o \quad (1)$$

em que:

$ET_c$  = evapotranspiração da cultura, ( $\text{mm d}^{-1}$ );

$K_c$  = coeficiente de cultura, adimensional;

$K_s$  = coeficiente de estresse hídrico do solo, adimensional;

$ET_o$  = evapotranspiração da cultura de referência, ( $\text{mm d}^{-1}$ ).

Foram adotados, quando possível, valores obtidos em experimentos realizados nos locais de estudo e, caso contrário, os valores tabelados da publicação 56 da FAO (ALLEN *et al.*, 1998). No Quadro 8 são apresentados os valores de  $K_c$  utilizados.

Quadro 8 - Valores adotados de  $K_{c_{ini}}$ ,  $K_{c_{médio}}$  e  $K_{c_{final}}$  para as culturas de manga, banana, uva, cana (soca), milho e feijão

<b>Culturas</b>	<b><math>K_{c_{ini}}</math></b>	<b><math>K_{c_{médio}}</math></b>	<b><math>K_{c_{final}}</math></b>	<b>Fonte</b>
<i>Manga</i>	0,70	1,00	0,60	EMBRAPA (2005c)
<i>Banana</i>	1,00	1,20	1,10	ALLEN <i>et al.</i> (1998)
<i>Uva</i>	0,30	0,85	0,45	ALLEN <i>et al.</i> (1998)
<i>Cana (soca)</i>	0,75	0,87	0,52	DO CARMO (2013)
<i>Milho</i>	0,50	1,20	0,60	DOORENBOS; KASSAN (1979)
<i>Feijão</i>	0,40	1,15	0,35	ALLEN <i>et al.</i> (1998)

Em relação à duração dos estádios de desenvolvimento das culturas foram adotados, também, quando disponíveis, valores obtidos em experimentos realizados nos locais de estudo, caso contrário foram utilizados os valores tabelados na publicação 56 da FAO (ALLEN *et al.*, 1998). O Quadro 9 apresenta

os valores de duração, em dias, dos estádios inicial ( $L_{ini}$ ), desenvolvimento ( $L_{des}$ ), intermediário ( $L_{médio}$ ) e final ( $L_{final}$ ) de desenvolvimento das culturas.

Quadro 9 - Valores adotados de  $L_{ini}$ ,  $L_{des}$ ,  $L_{médio}$  e  $L_{final}$ , em dias, para as culturas de manga, banana, uva, cana (soca), milho e feijão

<b>Culturas</b>	<b><math>L_{ini}</math></b>	<b><math>L_{des}</math></b>	<b><math>L_{médio}</math></b>	<b><math>L_{final}</math></b>	<b>Fonte</b>
<i>Manga</i>	30	100	95	70	EMBRAPA (2005c)
<i>Banana</i>	120	60	180	5	ALLEN et al. (1998)
<i>Uva</i>	30	40	75	15	FREITAS et al. (2006)
<i>Cana (soca)</i>	22	90	195	41	DO CARMO (2013)
<i>Milho</i>	20	35	40	25	ALLEN et al. (1998)
<i>Feijão</i>	15	25	30	20	ALLEN et al. (1998)

O Quadro 10 a seguir apresenta os valores de comprimento mínimo de raiz ( $Raiz_{min}$ ) e comprimento máximo efetivo de raiz ( $Raiz_{max}$ ), em metros, e fator  $f$  de disponibilidade hídrica da água no solo que foram utilizados na simulação.

Quadro 10 - Valores adotados de  $Raiz_{min}$ ,  $Raiz_{max}$ , em metros, e Fator  $f$  para as culturas de manga, banana, uva, cana (soca), milho e feijão

<b>Culturas</b>	<b><math>Raiz_{min}</math></b>	<b><math>Raiz_{max}</math></b>	<b>Fator <math>f</math> (FAO)</b>	<b>Fonte</b>
<i>Manga</i>	0,75	0,75	0,50*	SANTOS, 2012
<i>Banana</i>	0,40	0,40	0,35**	EMBRAPA, 2014
<i>Uva</i>	0,50	0,50	0,35	EMBRAPA, 2014
<i>Cana (soca)</i>	0,20	0,60	0,65	ALMEIDA, 2008
<i>Milho</i>	0,15	0,40	0,55	EMBRAPA, 2014
<i>Feijão</i>	0,15	0,30	0,45	PIRES, 1991

\*: Obtido no Software Irriga (2004)

\*\* : Obtido na Embrapa (2014).

Por se tratar de um estudo comparativo padronizou-se o calendário das culturas de modo que fosse possível o estudo na escala anual. Dessa maneira adotou-se, para fins de simulação, a data do primeiro plantio/início do ciclo no dia 1 do mês de janeiro. No entanto, devido à variabilidade em relação à duração do ciclo das culturas, convencionou a utilização da maior quantidade de safras possível dentro do período de 1 ano, de modo que fosse possível comparar a demanda de água entre as culturas, evitando a superestimativa se fosse comparado uma cultura perene com uma cultura anual, por exemplo. Sendo assim foi padronizado para as simulações o cultivo de um ciclo de banana, um ciclo de manga, dois ciclos de uva, uma safra de cana soca, três safras de milho e quatro safras de feijão. Dificilmente, na prática, ocorreria três safras de milho

e quatro de feijão consecutivas na mesma área, contudo como o intuito deste trabalho é avaliar comparativamente o consumo anual foram pré estabelecidas essas condições. No Quadro 11 segue a distribuição dos ciclos das culturas durante o ano.

Quadro 11 - Calendário padronizado para as culturas de manga, banana, uva, cana (soca), milho e feijão

<b>Culturas</b>	<b>Jan</b>	<b>Fev</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>Mai</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Set</b>	<b>Out</b>	<b>Nov</b>	<b>Dez</b>
Banana	1 ciclo											
Manga	1 ciclo											
Cana (soca)	1 ciclo											
Uva	1ª safra					2ª safra						
Milho	1ª safra			2ª safra				3ª safra				
Feijão	1ª safra			2ª safra			3ª safra			4ª safra		

A fim de tornar as simulações próximas das condições locais, foram utilizados os atributos físicos dos solos da região. No Quadro 12 são apresentados os atributos físicos dos solos de cada uma das localidades que fazem parte do estudo.

Quadro 12 - Atributos físicos do solo adotados para Pirapora - MG, Jaíba - MG, Barreira - BA e Petrolina - PE

	<b>Pirapora - MG</b>	<b>Jaíba - MG</b>	<b>Barreiras - BA</b>	<b>Petrolina - PE</b>
<b>Atributos</b>	<b>Tipos de solo predominante</b>			
	<b>Neossolo<sup>1</sup></b>	<b>Neossolo Quartzarênico<sup>2</sup></b>	<b>Argissolo Vermelho Amarelo<sup>3</sup></b>	<b>Neossolo Quartzarênico<sup>4</sup></b>
Areia (%)	57,00	85,00	52,00	93,81
Silte (%)	26,00	7,00	23,00	0,63
Argila (%)	17,00	8,00	25,00	5,56
Capacidade de campo (% volume)	17,88	13,96	27,80	11,90
Ponto de murcha permanente (%volume)	10,43	6,02	15,10	2,90
Água total disponível (mm m <sup>-1</sup> )	74,50	79,40	127,44	90,00

FONTE: 1 - Medeiros (2002);  
 2 - Moura (2007);  
 3 - Oliveira et al. (1993);  
 4 - Nascimento (2009).



### 3.4.2 Balanço de água diário

Para o balanço de água diário no solo foram considerados parâmetros referentes ao clima, à planta e às características físicas do solo. Os parâmetros de entrada no modelo do Apêndice 8 da FAO 56 (ALLEN et al., 1998) são os valores de  $K_c$  de cada fase fenológica e as durações dos respectivos estádios, a data de plantio (mês e dia), a altura máxima da planta, a profundidade efetiva mínima da raiz, a profundidade efetiva máxima de raiz e a água total disponível em função das características físicas do solo.

Além dos parâmetros citados, também são necessários, porém na escala diária, dados de temperatura máxima ( $^{\circ}\text{C}$ ), velocidade do vento a 2 metros de altura ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ), temperatura do ponto de orvalho ( $^{\circ}\text{C}$ ), precipitação média diária de longo período (mm) e a evapotranspiração de referência padrão FAO obtida no *software* Ref-ET.

### 3.4.3 Ajuste do $K_c$

Os valores de  $K_{c\text{médio}}$  e  $K_{c\text{final}}$  disponíveis na tabela 12 da FAO foram obtidos para climas sub úmidos e com a umidade relativa média diária próxima de 45% e a velocidade média do vento na faixa de  $2 \text{ m s}^{-1}$ . Dessa forma, para as culturas nas quais esses valores foram obtidos por meio da tabela 12 houve a necessidade do ajuste dos mesmos para as condições locais. O ajuste de  $K_{c\text{médio}}$  e  $K_{c\text{final}}$  foi feito pela equação:

$$K_c = K_{c_{\text{(tab)}}} + [0,04(u_2 - 2) - 0,0004(UR_{\text{min}} - 45)] \left(\frac{h}{3}\right)^{0.3} \quad (2)$$

em que:

$K_{c_{\text{(tab)}}}$  = valor de  $K_{c\text{médio}}$  ou  $K_{c\text{final}}$ , adimensional, obtido na tabela 12 da FAO;

$u_2$  = velocidade média do vento a dois metros de altura, ( $\text{m s}^{-1}$ ), obtido sobre uma superfície com grama durante o estágio em questão;

$UR_{\text{min}}$  = umidade relativa mínima média diária durante o estágio em questão, (%), para  $20\% \leq UR_{\text{min}} \leq 80\%$ ;

$h$  = altura média da planta durante os estádios intermediário e final, (m), para  $0,1 \text{ m} \leq h \leq 10 \text{ m}$ .

Como os dados de velocidade do vento foram adquiridos de estações meteorológicas do INMET, estes devem ser corrigidos para dois metros de altura, o que pode ser feito com aplicação da equação:

$$u_2 = u_z \frac{4,87}{\ln(67,8 z_w - 5,42)} \quad (3)$$

em que:

$u_2$  = velocidade do vento ajustada para dois metros sobre a superfície, ( $\text{m s}^{-1}$ );

$u_z$  = velocidade média do vento diária, ( $\text{m s}^{-1}$ ), medido a uma altura  $z_w$ , (m), sobre a superfície;

$z_w$  = altura de medida do vento sobre a superfície, (m), geralmente para estações meteorológicas é adotado 10 m de altura.

Para a correção do  $K_c$  (equação 2) é necessário o conhecimento da umidade relativa mínima para o dia, porém, os dados de umidade relativa adquiridos no BDMEP são referentes à média diária, sendo necessário, portanto, estimar a umidade relativa mínima. Segundo a FAO (1998) pode se fazer uma aproximação da umidade relativa com a temperatura máxima. Essa aproximação pode ser feita segundo a equação:

$$UR_{\min} = \frac{e^\circ(T_{\text{dew}})}{e^\circ(T_{\text{max}})} 100 \quad (4)$$

em que:

$UR_{\min}$  = umidade relativa mínima média diária, (%);

$e^\circ(T_{\text{dew}})$  = pressão de saturação de vapor para a temperatura do ponto de orvalho, (kPa);

$e^\circ(T_{\text{max}})$  = pressão de saturação de vapor para a temperatura máxima média diária do ar, (kPa).

A pressão de saturação de vapor do ar é estimada pela equação (FAO, 1998):

$$e^\circ(T) = 0,6108 \left( \frac{17,27 T}{T+237,3} \right)^{0.3} \quad (5)$$

em que:

$e^\circ(T)$  = pressão de saturação de vapor em função da temperatura  $T$ , (kPa);

T = temperatura do ar em (°C).

Devido a necessidade de se fazer o balanço de água no solo diariamente, adotou-se a metodologia para a estimativa do Kc para cada dia do ciclo da cultura para os estádios em que ele não é constante, ou seja, nas fases de crescimento vegetativo e senescência. A equação 6 foi utilizada para o cálculo do Kc diário estimando os valores que seriam utilizados ao longo de todo o ciclo da cultura:

$$Kc_i = Kc_{(anterior)} + \left( \frac{i - \sum(L_{anterior})}{L_{estádio}} \right) (Kc_{(anterior)} - Kc_{(próximo)}) \quad (6)$$

em que:

Kc<sub>i</sub> = coeficiente de cultura no dia i, adimensional;

i = número do dia dentro do estágio de crescimento ou senescência, adimensional;

L<sub>estádio</sub> = duração do estágio considerado, (dias);

$\sum(L_{anterior})$  = soma da duração dos estádios anteriores, (dias);

Kc<sub>(anterior)</sub> = valor de Kc do estágio anterior ao considerado, adimensional;

Kc<sub>(próximo)</sub> = valor de Kc do estágio seguinte, adimensional.

#### 3.4.4 Profundidade diária efetiva do sistema radicular

A simulação do crescimento de raiz segue a mesma metodologia apresentada no modelo do Anexo 8 do Boletim 56 da FAO. Porém a simulação na planilha da FAO leva em consideração os coeficientes de cultura basal (Kcb) para fazer a interpolação do crescimento da raiz na fase de desenvolvimento, já na planilha modificada é utilizado para a interpolação os coeficientes Kc. É importante ressaltar que a profundidade máxima efetiva da raiz é atingida ao final da fase de desenvolvimento vegetativo. A simulação do crescimento diário da raiz é calculada pela a equação:

$$Z_{r i} = Z_{r \min} + (Z_{r \max} - Z_{r \min}) \left( \frac{K_{cb i} - K_{cb ini}}{K_{cb mid} - K_{cb ini}} \right), \text{ para } J < J_{mid} \quad (7)$$

em que:

Z<sub>r i</sub> = profundidade efetiva do sistema radicular no dia i, (m);

- $Z_{r \min}$  = profundidade efetiva inicial do sistema radicular, ou na data de plantio, (m);
- $Z_{r \max}$  = profundidade efetiva máxima do sistema radicular, ou seja, no final do estágio de crescimento vegetativo, (m);
- J = Dia do ano (1 a 365).

Para culturas anuais, segundo a recomendação da FAO (1998), a profundidade inicial deve ser representativa da profundidade de plantio adicionada de mais alguns centímetros de profundidade de solo que podem contribuir para a absorção de água das sementes, sendo considerado 15 cm. Por se tratarem de cultivos perenes, as culturas de manga, uva, banana e cana (pelo fato de ser de um segundo ciclo) apresentam a profundidade do sistema radicular constante.

### **3.4.5 Disponibilidade total de água no solo**

A disponibilidade total de água no solo é obtida pela equação (BERNARDO et al., 2009):

$$DTA = \frac{(C_c - P_m)}{10} d_a \quad (8)$$

em que:

- DTA = disponibilidade total de água no solo, (mm cm<sup>-1</sup> de solo);
- C<sub>c</sub> = capacidade de campo, (% em peso);
- P<sub>m</sub> = ponto de murcha permanente, (% em peso);
- d<sub>a</sub> = densidade do solo, (g cm<sup>-3</sup>).

### **3.4.6 Simulação diária da capacidade real de água no solo**

A capacidade real de água (CRA) no solo representa a lâmina de água disponível levando em consideração a profundidade efetiva do sistema radicular e o fator de disponibilidade de água no solo. Sendo assim, é um parâmetro variável na escala diária, no caso de culturas anuais. A CRA é calculada usando a equação:

$$CRA = DTA Z_{r i} f \quad (9)$$

em que:

- CRA = capacidade real de água no solo, (mm);  
 $Z_{r_i}$  = profundidade efetiva do sistema radicular no dia i, (m);  
 $f$  = fator de disponibilidade de água no solo, adimensional, sempre menor que 1.

### 3.4.7 Simulação diária do coeficiente de estresse hídrico ( $K_s$ )

A medida que a umidade do solo diminui ocorre uma redução na evapotranspiração da cultura em função do estresse hídrico, a qual é descrita pelo coeficiente de estresse hídrico do solo ( $K_s$ ). O cálculo do estresse hídrico da água no solo segue as seguintes condições (equações 10 e 11), conforme o Anexo 8 da FAO 56 (1998):

$$K_s = 1, \text{ se } Dr_{i-1} \leq CRA \quad (10)$$

$$K_s = \frac{DTA - Dr_{i-1}}{DTA - CRA}, \text{ se } Dr_{i-1} > CRA \quad (11)$$

em que:

- $K_s$  = Coeficiente de estresse hídrico, adimensional, varia de 0 a 1;  
 $Dr_{i-1}$  = Depleção da água na zona radicular no dia anterior (mm).

### 3.4.8 Balanço diário da água no solo

Para fins de padronização, a depleção inicial foi considerada zero para todas as simulações, supondo que antes da simulação ocorreu um evento de precipitação ou irrigação suficiente para elevar o conteúdo de água no solo até a capacidade de campo. A equação 12 é utilizada para o cálculo da depleção de água ao final do primeiro dia de cultivo:

$$Dr_1 = D_e - P_1 - ET_{c1} \quad (12)$$

em que:

- $Dr_1$  = depleção da água na zona radicular no final do primeiro dia (mm);  
 $D_e$  = depleção inicial da água no solo no começo da simulação (mm);  
 $P_1$  = precipitação no primeiro dia (mm);  
 $ET_{c1}$  = evapotranspiração da cultura no primeiro dia i (mm);

O cálculo da depleção da água no solo a partir do segundo dia de simulação é feito por:

$$Dr_i = Dr_{i-1} - P_i - IRN_i - ET_{ci} + DP_i, \text{ para } i \geq 1 \quad (13)$$

em que:

$Dr_i$  = depleção da água na zona radicular no final do dia  $i$  (mm);

$Dr_{i-1}$  = depleção da água na zona radicular no fim do dia anterior (mm);

$P_i$  = precipitação no dia (mm);

$ET_{ci}$  = evapotranspiração da cultura no dia  $i$  (mm);

$IRN_i$  = irrigação real necessária no dia  $i$  (mm);

$DP_i$  = perda por percolação ou drenagem para fora da zona radicular no dia  $i$  (mm).

A irrigação sempre irá ocorrer quando a depleção da água no solo exceder CRA, sendo a lâmina a ser aplicada igual a depleção da água no final do dia considerado, logo a equação utilizada foi:

$$IRN_i = Dr_i, \text{ para } Dr_i \geq CRA \quad (14)$$

Para o cálculo do balanço diário não levou-se em consideração o escoamento superficial, uma vez que não foi possível estimá-lo. Caso o solo esteja na capacidade de campo e ocorra um evento de precipitação, a lâmina de água no solo pode exceder a capacidade de campo, excesso esse que será perdido por drenagem. A drenagem é determinada pela expressão:

$$DP_i = P_i + IRN_i - ET_{ci} - Dr_{i-1} \quad (15)$$

Após as simulações diárias, os dados de irrigação necessária para cada cultura foram agrupados mês a mês, com a finalidade de obter a vazão demandada pela irrigação em cada mês do ano para suplementar as necessidades hídricas das culturas em questão em cada perímetro irrigado.

### **3.5 Relações de Equivalência**

Para a obtenção das relações de equivalência entre as culturas, as lâminas de irrigação para cada cultura em cada perímetro irrigado foram agrupadas

anualmente, obtendo-se uma lâmina média anual que cada cultura necessita, além das precipitações anuais, para suprir suas necessidades hídricas de acordo com as características climáticas de cada local.

O cálculo foi realizado comparando a lâmina de água necessária para a produção de uma cultura ao longo de um ano, situado em um dos perímetros em estudo, com o consumo necessário para a produção da mesma cultura em perímetros irrigados diferentes ou de culturas diferentes em um mesmo perímetro irrigado.

### **3.6 Estimativa da vazão retirada pela irrigação e da potência que deixa de ser gerada nas usinas hidrelétricas**

Através da vazão demandada pela irrigação de cada cultura nas localidades de Pirapora - MG, Jaíba - MG, Barreiras - BA e Petrolina - PE, das eficiências médias de irrigação associadas a cada método de irrigação utilizado e a área ocupada por cada cultura estimou-se a potência elétrica que deixa de ser gerada em função da irrigação na escala mensal.

A vazão utilizada pela irrigação em cada mês foi estimada conforme adaptação da equação descrita por Rodriguez (2004):

$$Q_m = \sum_{j=1}^{cn} \left[ \frac{\left( \frac{IRN_j}{Ea_j} \right) A_j}{1000 \cdot ND \cdot 86400} \right] \quad (16)$$

em que:

- $Q_m$  = vazão média, ( $m^3 s^{-1}$ );
- $IRN_j$  = irrigação real necessária, ( $mm \text{ mês}^{-1}$ );
- $A_j$  = área irrigada de cada cultura, (ha);
- $Ea$  = eficiência de aplicação da irrigação, decimal, adimensional;
- $ND$  = número de dias do mês;
- $cn$  = número de culturas irrigadas.

Como os maiores perímetros irrigados na bacia encontram-se em Jaíba/MG e Petrolina/PE, a estimativa da energia elétrica que deixa de ser produzida em função da irrigação levou em consideração apenas os valores de área das culturas implementadas no Perímetro irrigado do Jaíba e no Perímetro irrigado Senador Nilo Coelho. No Quadro 13 são apresentados os valores referentes a área ocupada pelas culturas nos perímetros irrigados.

Quadro 13 - Área ocupada pelas culturas nos perímetros irrigados do Jaíba - MG e Senador Nilo Coelho - PE

<b>Dados dos perímetros irrigados</b>		
	<b>Perímetro irrigado do Jaíba/MG<sup>1</sup></b>	<b>Perímetro irrigado Nilo Coelho/BA<sup>2</sup></b>
<b>Culturas</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Área (ha)</b>
Banana	1098,39	1837,52
Manga	730,40	7745,60
Uva	2,50	4547,83
Cana	16,96	Não informado
Milho	36,00	Não informado
Feijão	10,27	Não informado

FONTE: 1 - Distrito de irrigação de Jaíba (2007);  
2 - Distrito de irrigação Senado Nilo Coelho (2014).

Os valores médios de eficiência de irrigação em função dos sistemas de irrigação foram obtidos na literatura. No quadro 14 são apresentados os valores utilizados nas simulações.

Quadro 14 - Valores médios de eficiência de irrigação em função dos sistemas de irrigação na bacia do rio São Francisco

<b>Eficiência de irrigação por sistema</b>		
<b>Cultura</b>	<b>Sistema</b>	<b>Eficiência</b>
Banana	Microaspersão	0,79
Manga	Gotejamento	0,79
Uva	Gotejamento	0,79
Cana	Aspersão	0,70
Milho	Aspersão	0,70
Feijão	Aspersão	0,70

FONTE: (ANA; GEF; PNUMA; OEA, 2003a)

A estimativa da potência (kW) que deixa de ser gerada pelo sistema CHESF no leito do rio São Francisco é estimada pela equação:

$$P = 0,736r \gamma \frac{QH}{75} \quad (17)$$

em que:

- P = potência ou capacidade instantânea de produção de energia elétrica que deixa de ser gerada, (kW);  
 $\gamma$  = peso específico da água, kgf m<sup>-3</sup>.



- r = rendimento do conjunto turbina-gerador (valor médio sobre todas as unidades), adimensional;
- H = altura de queda líquida, correspondente à diferença entre os níveis de montante e de jusante, menos as perdas médias por atrito na tubulação, (m);
- Q = vazão total que deixa de ser turbinada pelo conjunto de unidades geradoras, em função das retiradas pela irrigação, ( $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ ).

No Quadro 15 são apresentados os valores utilizados de altura de queda e rendimento do conjunto turbina-gerador para as usinas hidroelétricas que compõem o sistema CHESF e que foram utilizadas na simulação (CICOGNA, 2003).

Quadro 15 - Altura de queda (m) e rendimento para as usinas utilizadas na simulação

<b>Usina</b>	<b>Altura de queda <math>h</math> (m)</b>	<b>Rendimento</b>
<i>Sobradinho</i>	27,2	0,90
<i>Itaparica</i>	46,3	0,90
<i>Complexo Paulo Afonso/Moxotó</i>	112,8	0,98
<i>Xingó</i>	117,9	0,98

Fonte: Hydroexpert (CICOGNA, 2003).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Caracterização climática dos locais de estudo

Situada na região do Submédio São Francisco, Petrolina, possui um clima do tipo semiárido e árido, que representa, segundo a classificação de Köppen, o tipo BShw, possuindo uma precipitação insuficiente se comparada com a elevada evaporação. Nesta localidade foram registrados valores de temperatura máxima que variaram ao longo do ano entre 29,1 e 35,4°C (Figura 2), enquanto que Teixeira (2010) obteve valores entre 29,6 e 34,0°C para a mesma localidade no período entre 1965 a 2009.

As médias mensais de temperatura máxima de Barreiras e Jaíba oscilaram pouco entre os meses de janeiro a junho, sendo que em Jaíba ocorre um pico na temperatura máxima no mês de fevereiro devido à elevada insolação solar nesse mês. A partir do mês de julho a temperatura máxima aumenta em Barreiras e Jaíba, sendo a média mensal mais alta registrada no mês de setembro em Barreiras e na região de Jaíba em outubro. Barreiras e Jaíba por se situarem no Médio São Francisco apresentam uma variação semelhante em relação à temperatura máxima. A região do Médio São Francisco é caracterizada pelo clima Tropical semiárido e subúmido seco, segundo Köppen é do tipo Aw, apresentando ausência da estação inverno, sendo a precipitação superior à evapotranspiração potencial.

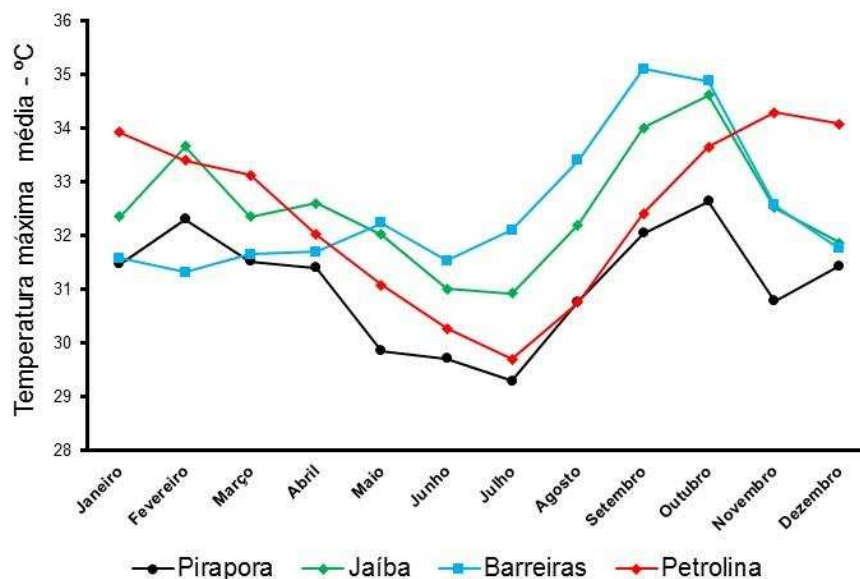


Figura 2 - Temperatura máxima média mensal de longo período para Pirapora - MG, Jaíba - MG, Barreiras - BA e Petrolina - PE.

A região de Pirapora apresenta um clima mais ameno em relação às demais localidades. Isso ocorre porque está situada na região do Alto São Francisco, sendo também caracterizada por apresentar um clima do tipo Aw, com predomínio das chuvas no verão e com maior precipitação que as regiões do Médio e Submédio São Francisco.

Essa mesma região apresenta as menores médias de temperatura máxima dentre as demais localidades, estando os valores entre 31 e 33°C na maior parte do ano, exceto nos meses de maio, junho e julho, quando estes situam-se abaixo dos 30°C. O clima mais ameno dessa região também é justificado, além das menores médias mensais de temperatura máxima, pelas baixas médias mensais de temperatura mínima, portanto, menor é a diferença entre as médias mensais de temperatura mínima e máxima, logo, menor é a amplitude térmica da região se comparada com as demais.

Tanto Pirapora, quanto Jaíba e Barreiras apresentam comportamento semelhante em relação à temperatura mínima (Figura 3). Os valores comumente encontrados nos meses de janeiro a abril e entre outubro e dezembro estão na faixa dos 20 a 21°C, sendo os menores valores registrados nos meses de junho e julho, quando ocorre o inverno na região. Petrolina, diferentemente das demais regiões, apresenta valores elevados de temperatura mínima.

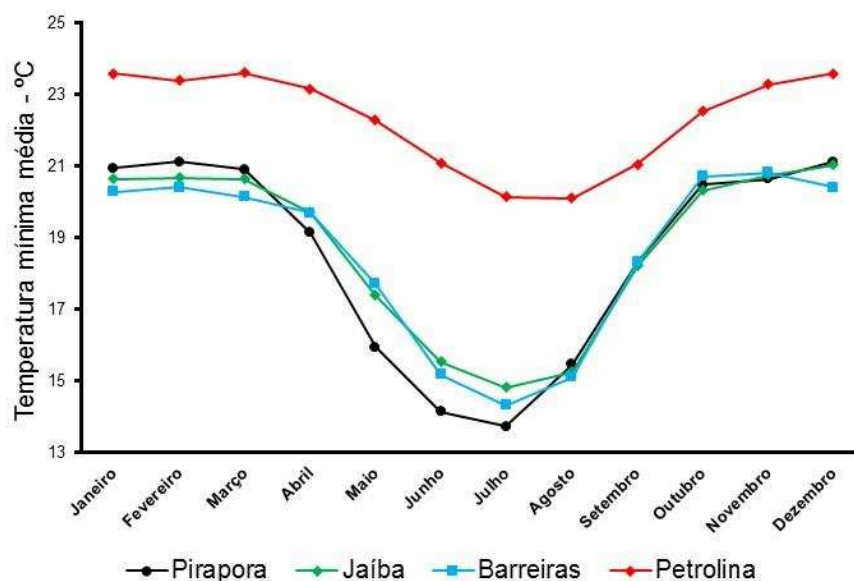


Figura 3 - Temperatura mínima média mensal de longo período para Pirapora - MG, Jaíba - MG, Barreiras - BA e Petrolina - PE.

A insolação média (Figura 4) mensal apresenta comportamento variado em relação às localidades em estudo. Apesar da diferença em termos de valores,

Pirapora e Jaíba apresentam comportamento semelhante no que se diz respeito à tendência dos valores ao longo do ano.

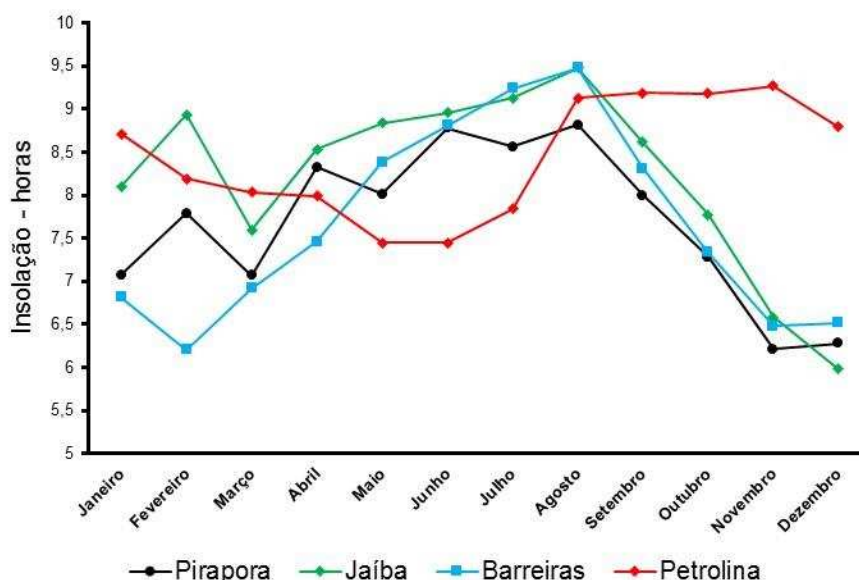


Figura 4 - Insolação média mensal de longo período para Pirapora - MG, Jaíba - MG, Barreiras - BA e Petrolina - PE.

Inicialmente ocorrem valores médios de 7 e 8 horas diárias para Pirapora e Jaíba, respectivamente, porém no mês de fevereiro acontece um aumento na média da insolação solar diária. No mês de março a insolação reduz novamente em decorrência das chuvas, comuns nesse mês na região (Figura 5). Os valores apresentam acréscimo no decorrer da estação seca, até alcançar seu valor máximo no mês de agosto. Após esse mês, tanto Pirapora quanto Jaíba apresentam reduções na média da insolação mensal, resultante do início do período chuvoso e da maior incidência de nuvens.

A principal diferença de Barreiras em relação a Pirapora e Jaíba é a ausência do pico de insolação no mês de fevereiro.

Devido ao baixo índice pluviométrico característico de regiões de clima semiárido (Figura 5), Petrolina apresenta pequena variação na insolação média mensal ao longo do ano, sendo interessante observar o efeito que a estação chuvosa provoca na insolação em Pirapora, Jaíba e Barreiras, comportamento esse antagônico ao de Petrolina.

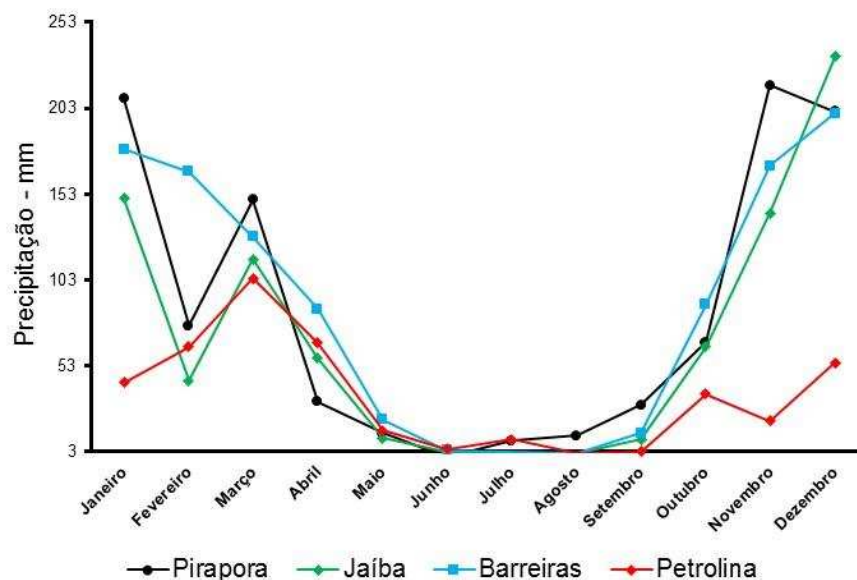


Figura 5 - Precipitação média mensal de longo período para Pirapora - MG, Jaíba - MG, Barreiras - BA e Petrolina - PE.

É importante ressaltar que apesar da insolação diária nos meses de maio, junho e julho, apresentar maiores valores se comparados com os demais meses do ano, não significa, necessariamente, que a radiação que chega à superfície nesses meses é maior que nos demais meses do ano, pois a latitude do local, a estação do ano e a posição do sol interferem diretamente na intensidade da radiação que incide sobre a superfície da Terra (ALLEN et al., 1998).

A umidade relativa média mensal (Figura 6) para os locais de estudo está relacionada com as precipitações médias (Figura 5).

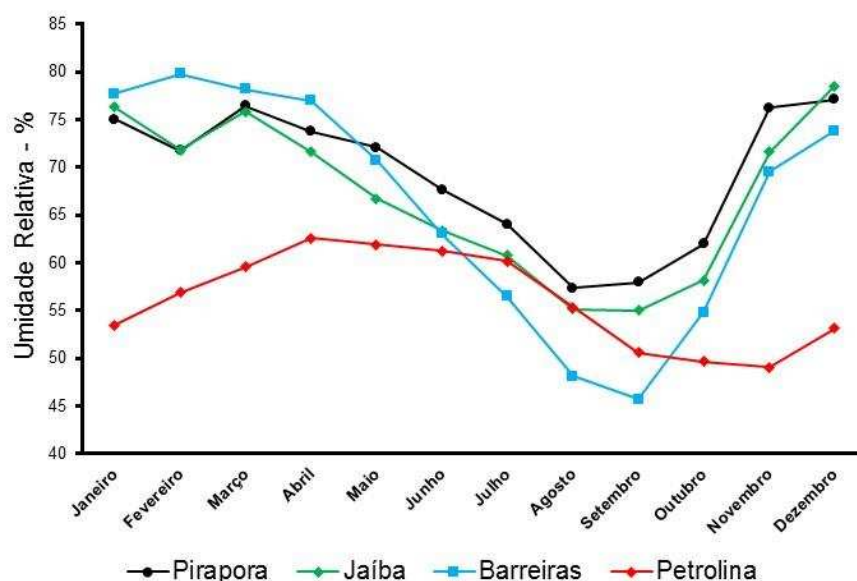


Figura 6 - Umidade relativa média mensal de longo período para Pirapora - MG, Jaíba - MG, Barreiras - BA e Petrolina - Pe.

Pirapora, Jaíba e Barreiras, apresentam uma umidade relativa média mensal por volta de 75% no mês de janeiro, decrescendo até o mês de setembro, quando atinge valores mínimos, por volta de 57% para Pirapora, 55% para Jaíba e 48% para Barreiras. Desse mês em diante a umidade relativa começa a se elevar em função do início da estação chuvosa.

Em Petrolina a umidade relativa média mensal está sempre abaixo dos 65%, sendo que somente abril, maio, junho e julho possuem valores acima de 60% e os meses de janeiro, setembro, outubro e novembro apresentam os menores valores.

Altamente correlacionada com a umidade relativa, temperatura do ar e com a radiação, a velocidade do vento (Figura 7) é maior onde o ar está mais seco e quente.

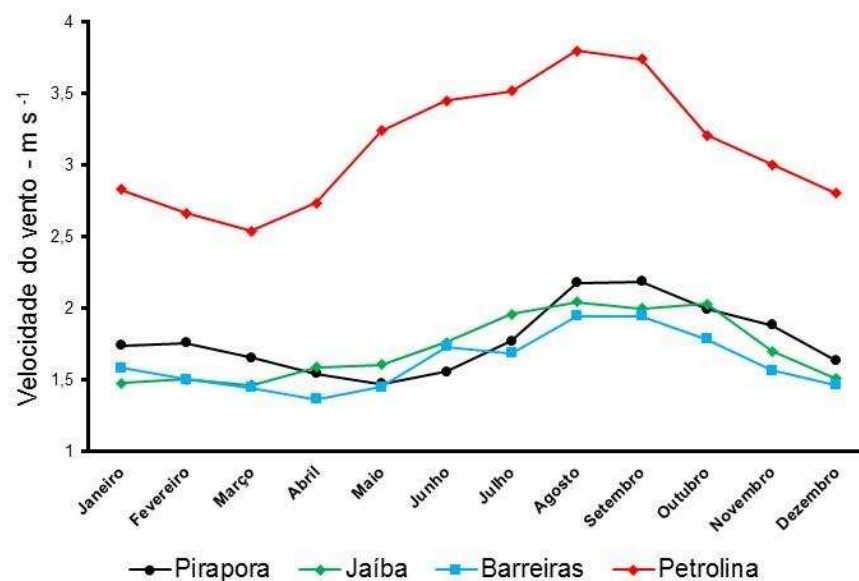


Figura 7 - Velocidade do vento média mensal de longo período para Pirapora - MG, Jaíba - MG, Barreiras - BA e Petrolina - PE.

Analisando a Figura 7 é notória a diferença entre a velocidade do vento média mensal de Petrolina com Pirapora, Jaíba e Barreiras. A baixa umidade do ar observada em praticamente todos os meses do ano, aliada à alta temperatura, proporciona uma maior movimentação do ar. Em Petrolina, o menor valor de velocidade do vento é observado no mês de março, quando também é registrado o maior valor de precipitação média mensal para essa região, comprovando a correlação entre umidade relativa do ar e a velocidade do vento. As médias mensais de velocidade do vento em Petrolina estão acima das demais regiões, visto que os maiores valores obtidos para Pirapora, Jaíba e Barreiras (em torno

de  $2,0 \text{ m s}^{-1}$ ) ainda encontram-se abaixo dos menores valores registrados em Petrolina.

#### 4.2 Análise da evapotranspiração média de longo período

É interessante observar (Figura 8) que nos dias com maior precipitação no ano (meses de janeiro, fevereiro, março, outubro, novembro e dezembro), a dispersão dos valores diários de evapotranspiração de referência é maior. Isso ocorre porque em dias consecutivos nessa época do ano pode ocorrer baixa insolação diária em função da presença de nuvens e elevada umidade do ar decorrente das chuvas, assim como pode ocorrer também, dias com baixa presença de nuvens e elevada insolação, fato que explica a dispersão dos dados diários de evapotranspiração de referência nos meses mais úmidos do ano.

Por apresentar um clima mais ameno, Pirapora registra os menores valores de evapotranspiração de referência, em torno de  $3,0 \text{ mm}$  diários nos meses de maio, junho e julho, se comparados aos demais locais de estudo. Isso é justificado pelas baixas temperaturas no período e pela menor radiação solar (perpendicular) incidente em função da inclinação da terra nesta época do ano.

Os maiores valores de evapotranspiração de referência diários para Pirapora encontram-se nos meses de fevereiro, agosto e setembro, quando são registrados valores superiores a  $5,0 \text{ mm d}^{-1}$ .

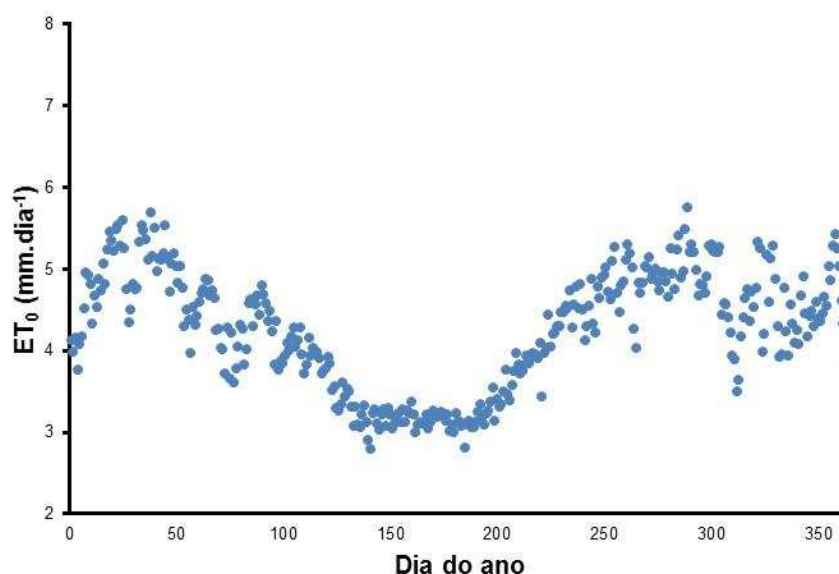


Figura 8 - Evapotranspiração de referência média diária de longo período para Pirapora - MG.

Na Figura 9 é apresentada a evapotranspiração diária de longo período referente a Jaíba.

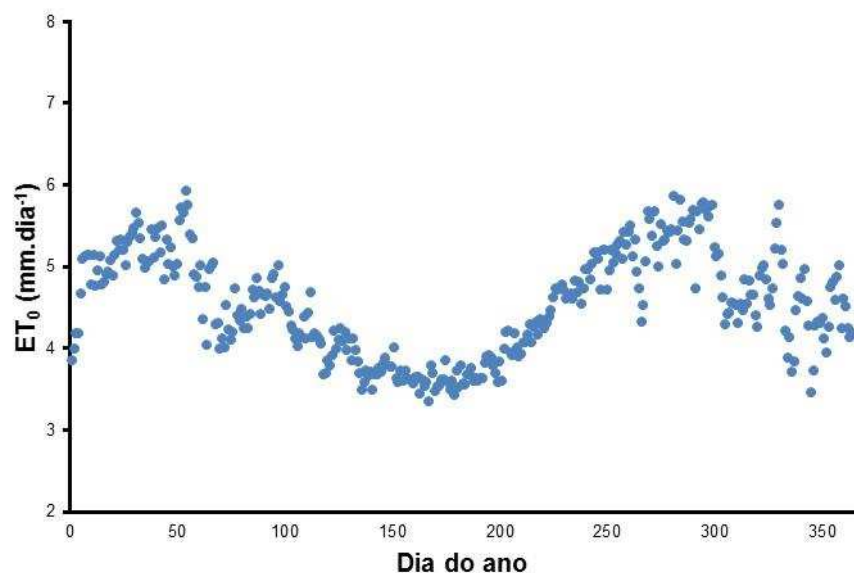


Figura 9 – Evapotranspiração de referência média diária de longo período para Jaíba - MG.

Comparando as localidades de Pirapora (Figura 8) e Jaíba (Figura 9) é possível inferir que Pirapora e Jaíba apresentam a mesma tendência no comportamento da evapotranspiração de referência ao longo do ano.

Diferentemente da tendência apresentada por Pirapora e Jaíba, a evapotranspiração de referência média para Barreiras (Figura 10) não apresenta um pico com valores elevados em meados do mês de fevereiro.

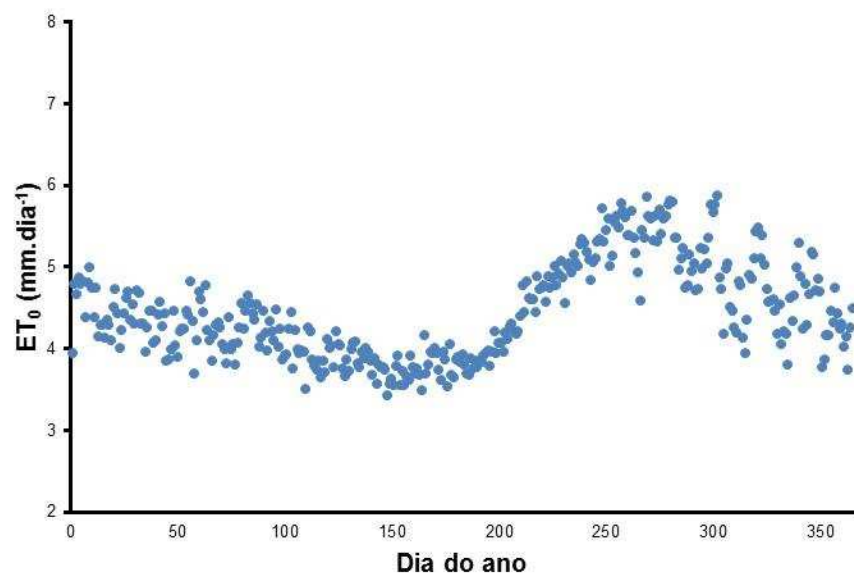


Figura 10 - Evapotranspiração de referência média diária de longo período para Barreiras - BA.

Os valores mínimos de evapotranspiração de referência para Barreiras foram entre 3,5 a 4,0 mm d<sup>-1</sup>, nos meses de junho e julho, e os maiores entre 5,5 e 6,0 mm d<sup>-1</sup>, nos meses de setembro e outubro.



Devido às condições climáticas locais, Petrolina apresenta dentre todos os locais de estudo, os maiores valores estimados de evapotranspiração de referências média de longo período, o que pode ser justificado pelos maiores valores de temperatura mínima, pequena variação na insolação média diária, umidade relativa concentrada entre 50 e 65% ao longo de todo o ano, elevada velocidade do vento com valores entre  $2,5 \text{ m s}^{-1}$  e  $4,0 \text{ m s}^{-1}$  e baixa precipitação média anual (Figura 11).

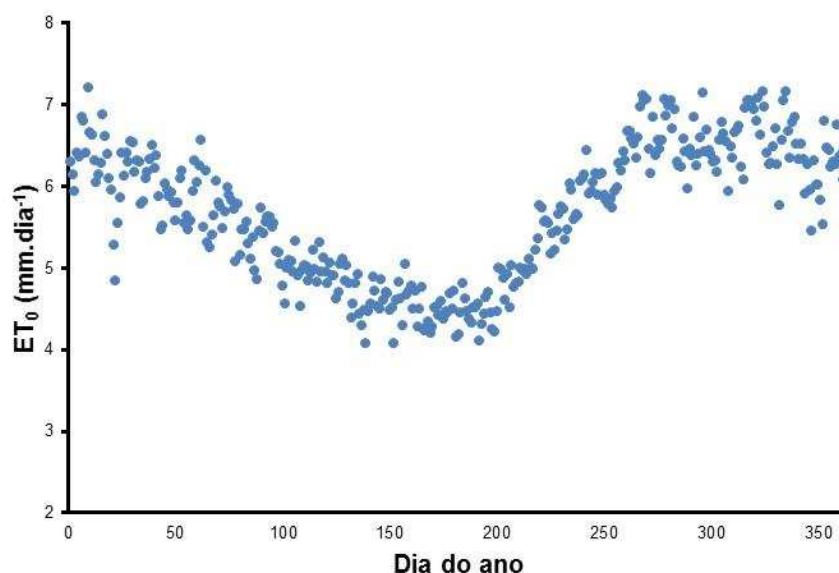


Figura 11 - Evapotranspiração de referência média diária de longo período para Petrolina - PE.

Os menores valores de evapotranspiração de referência média de longo período para Petrolina encontram-se acima de  $4,0 \text{ mm diários}$ , sendo a média para o mês de junho acima de  $4,5 \text{ mm d}^{-1}$ . As maiores taxas evapotranspirométricas são encontradas nos meses de janeiro, setembro, outubro, novembro e dezembro, sendo em média acima de  $6,0 \text{ mm d}^{-1}$ , sendo comum a ocorrência de valores acima de  $7,0 \text{ mm d}^{-1}$ .

A Figura 12 apresenta as médias mensais de evapotranspiração de referência média de longo período para cada um dos locais de estudo.

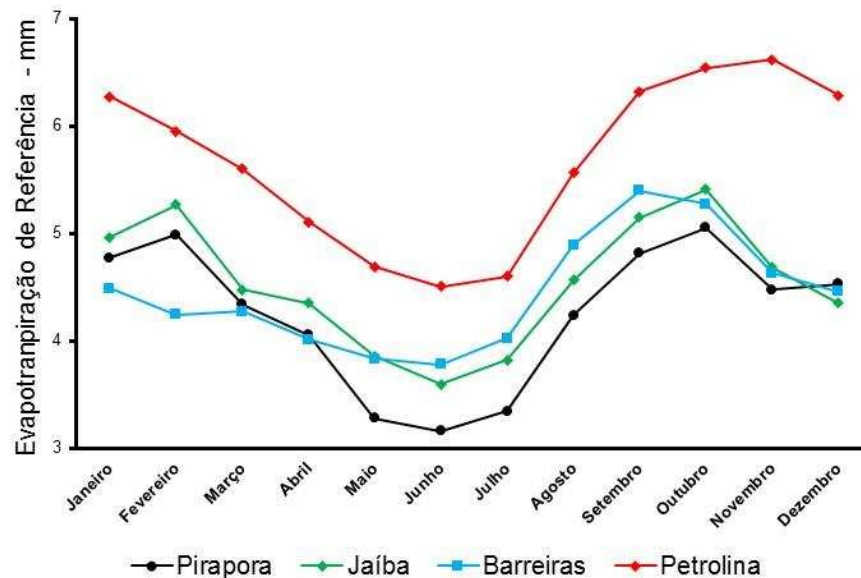


Figura 12 - Evapotranspiração de referência média mensal de longo período para Pirapora - MG, Jaíba - MG, Barreiras - BA e Petrolina - PE.

### 4.3 Consumo de água pelas culturas

Nesta seção é discutida a demanda de água pelas culturas em cada uma das localidades, determinadas por meio de simulações dos ciclos das culturas.

Há de se ressaltar que os calendários das culturas foram ajustados para um período de um ano.

#### 4.3.1 Banana

A cultura da banana, cultivada nas diferentes localidades, apresentou demandas diferentes no que se diz respeito à necessidade de irrigação, resultado este esperado, visto que a evapotranspiração de referência foi bem diferente em cada um desses locais.

Em Pirapora, no mês de janeiro, a lâmina de água necessária a ser suplementada pela irrigação foi baixa, 11,3 mm, devido à elevada precipitação média na região durante esse mês, aproximadamente 210 mm. A porcentagem da evapotranspiração da cultura que foi fornecida pela irrigação foi 8% nesse mês. No mês de fevereiro, porém, esse valor aumenta para 63% visto que a precipitação média nesse mês é menor se comparada com janeiro e março. Em março, a lâmina necessária pela irrigação diminui novamente em virtude do aumento da precipitação (Figura 13).

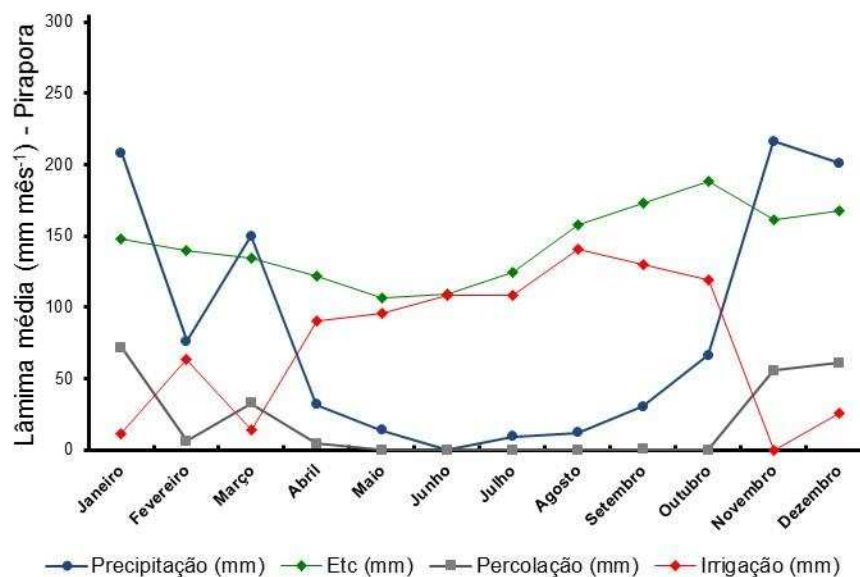


Figura 13 - Balanço hídrico médio mensal para a cultura da Banana em Pirapora - MG.

A partir do mês de abril, devido à redução na precipitação em consequência do início da estação seca, a lâmina necessária de irrigação supera a precipitação se aproximando da ETc. Em meados de junho, mês que registra a menor média de precipitação, a lâmina de irrigação representa 99% da ETc. Em virtude do início das precipitações, a partir do mês de outubro, a lâmina de irrigação reduz chegando a zero no mês de novembro, mês em que é registrado um total mensal em torno de 216,0 mm de chuva.

A ETc da banana estimada para Jaíba foi de 1.848,5 mm, sendo que a porcentagem da ETc que é suprida pela irrigação é de 61% ao longo do ciclo da cultura (Figura 14), enquanto em Pirapora é de 52%.

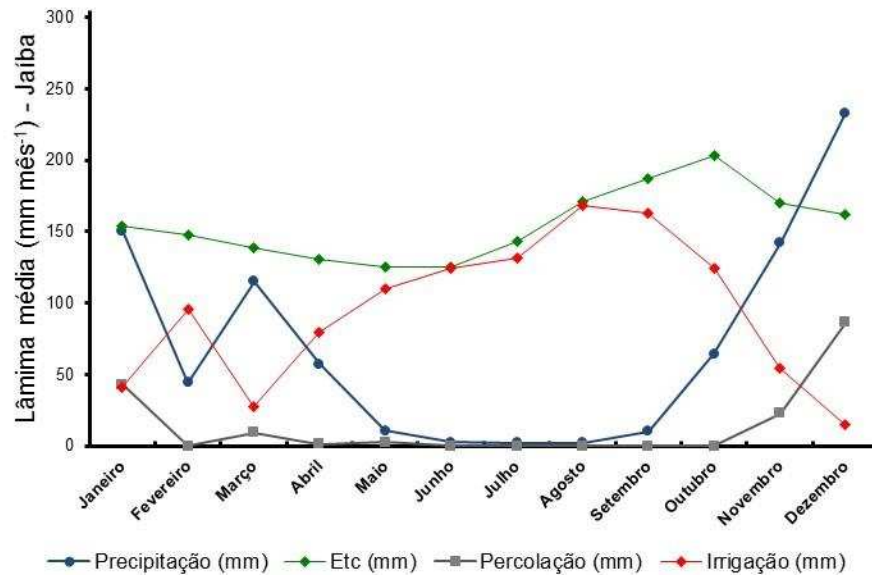


Figura 14 - Balanço hídrico médio mensal para a cultura da Banana em Jaíba - MG.

Em Barreiras, o solo, aliado ao bom índice pluviométrico, resulta numa menor utilização da água pela irrigação, o que é comprovado pela porcentagem da ETC que é suprida pela irrigação, que está na ordem de 52%, sendo a ETC necessária ao longo do ciclo da cultura de 1.841,0 mm (Figura 15).

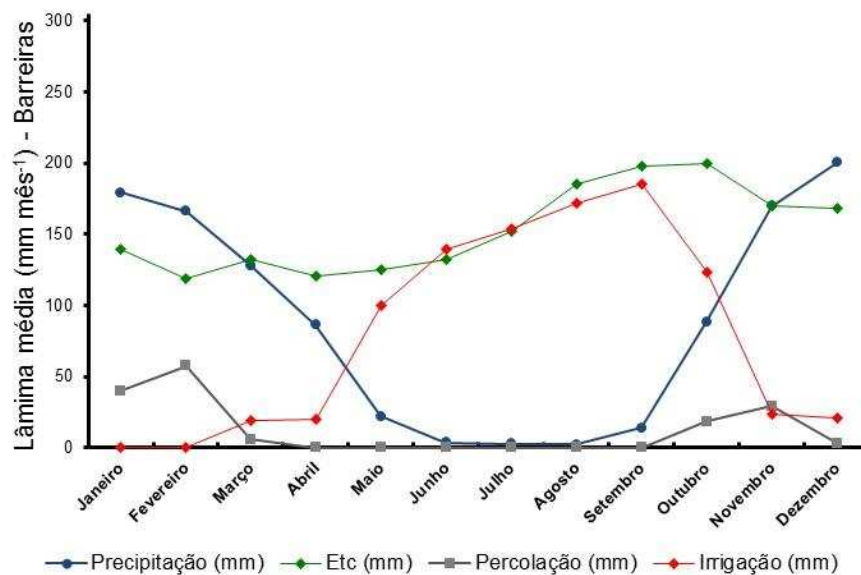


Figura 15 - Balanço hídrico médio mensal para a cultura da Banana em Barreiras - BA.

Observando a Figura 16 verifica-se que a lâmina necessária de irrigação mensal esteve sempre acima de 140 mm em Petrolina, exceto nos meses de fevereiro, março e abril onde se tem alguma precipitação. Como consequência disso, 77% da ETC deve ser suprida via irrigação visando atender o déficit hídrico da cultura da banana para Petrolina.

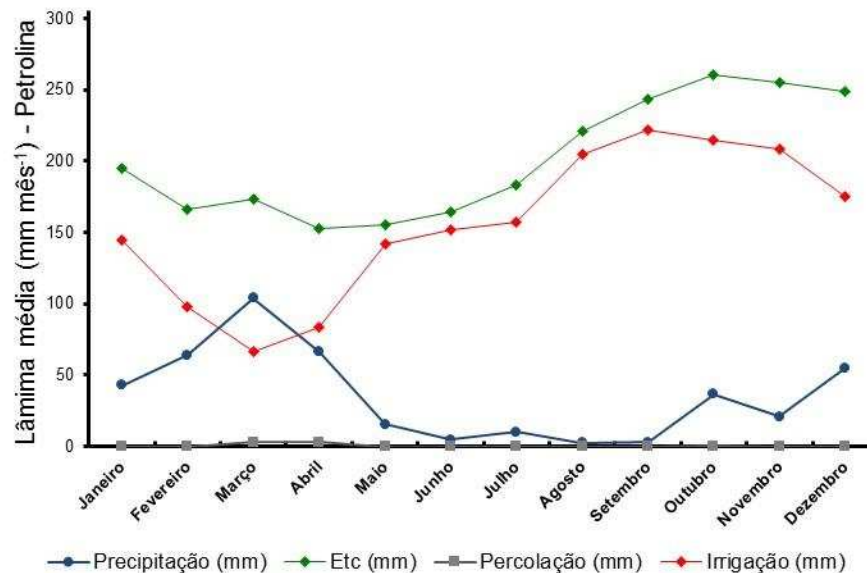


Figura 16 - Balanço hídrico médio mensal para a cultura da Banana em Petrolina - PE.

Em um estudo semelhante Freitas et al. (2007) avaliaram a demanda hídrica da cultura da banana para a bacia do rio São Francisco e obtiveram, em 64% da bacia, valores de ETc entre 1.752 e 2.054 mm, sendo que na região do Submédio São Francisco esses valores podem chegar até 2.356 mm anuais.

Segundo Marinato (1980), o consumo anual de água pela cultura da banana pode variar de 1.200 a 1.800 mm. Já Robinson e Alberts (1989) afirmam que esses valores podem estar em 1.200 e 2.690 mm em função das condições locais. Os gráficos com a variação do Coeficiente Kc, eventos de precipitação e irrigação para a cultura da banana estão disponíveis no Apêndice A.

### 4.3.2 Manga

A evapotranspiração na cultura da manga ao longo do ciclo foi de 1.050,3 mm; 1.159,5 mm; 1.141,1 mm e 1.458,9 mm para Pirapora, Jaíba, Barreiras e Petrolina, respectivamente.

Como pode ser observado na Figura 17, a cultura da manga em Pirapora, necessitou de irrigação apenas a partir do mês de abril, quando a precipitação não foi suficiente para suprir as demandas hídricas da cultura. A precipitação durante o ciclo de cultivo da manga foi, para Pirapora, 576,6 mm, enquanto a irrigação necessária foi 621,6 mm.

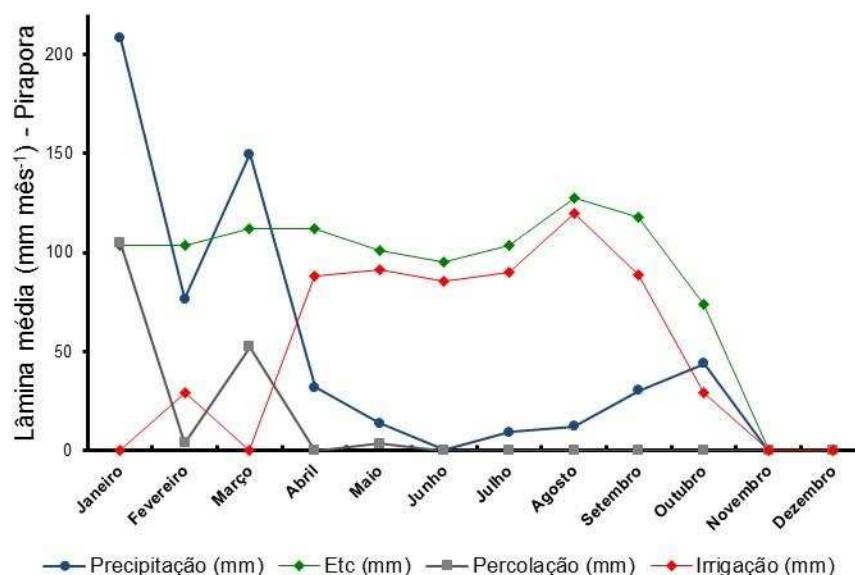


Figura 17 - Balanço hídrico médio mensal para a cultura da Manga em Pirapora - MG.

Em Jaíba (Figura 18) a irrigação tem início no mês de fevereiro, porém em março ela já não é necessária em função da precipitação ser maior que a demanda hídrica da cultura nesse mês. Ao longo do ciclo é observado uma precipitação de 422,3 mm, enquanto que a irrigação necessária é de 765,7 mm.

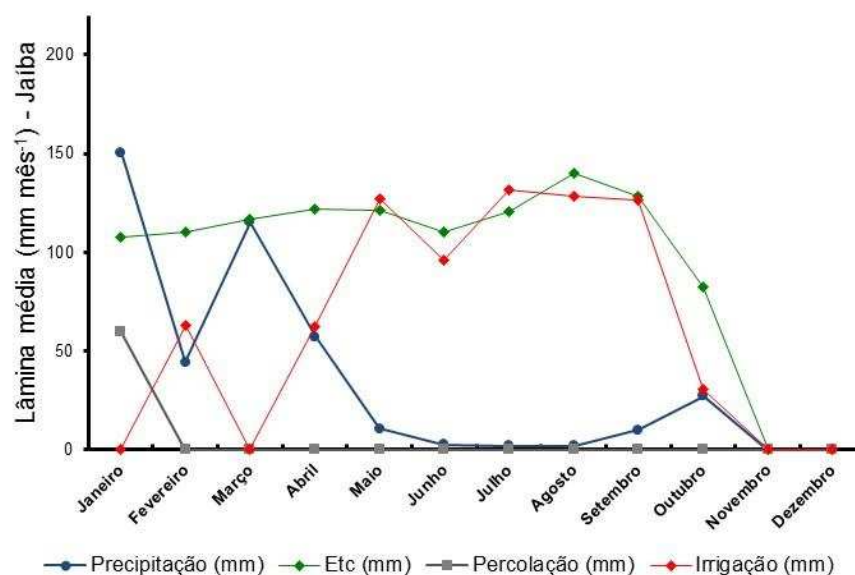


Figura 18 - Balanço hídrico médio mensal para a cultura da Manga em Jaíba - MG.

Em Barreiras, a irrigação teve início somente a partir do mês de maio (Figura 19). Sendo necessário para suprir o déficit hídrico da cultura 642,5 mm.

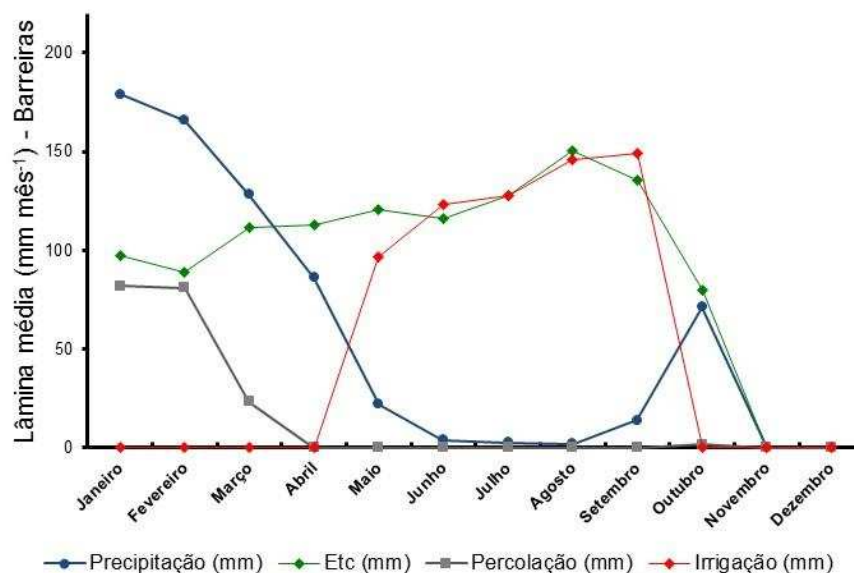


Figura 19 - Balanço hídrico médio mensal para a cultura da Manga em Barreiras - BA

A baixa precipitação registrada em Petrolina favorece a uma maior lâmina de irrigação para suprir as necessidades hídricas da cultura (Figura 20). Em termos de valores, a precipitação durante o ciclo foi de 333,5 mm, resultando em uma demanda suplementar pela irrigação de 1.112,2 mm.

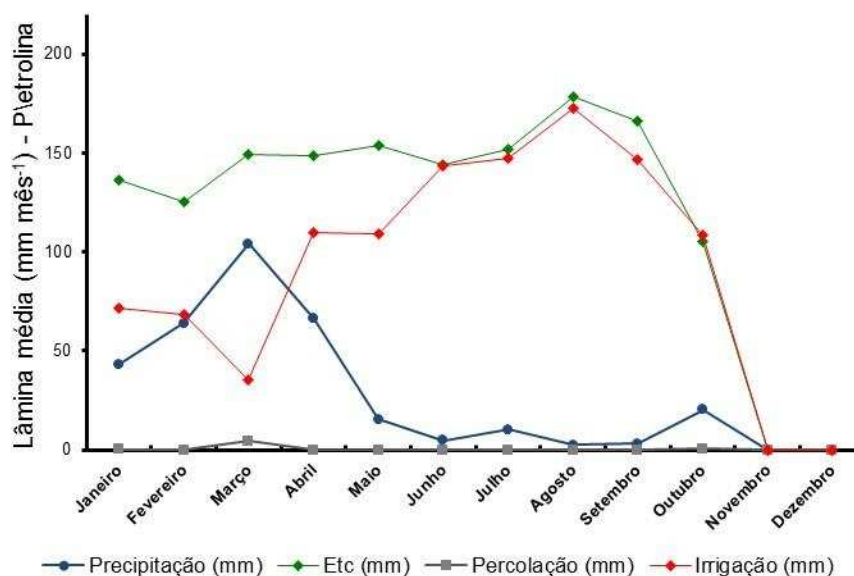


Figura 20 - Balanço hídrico médio mensal para a cultura da Manga em Petrolina - PE.

Fazendo um comparativo entre a irrigação e a ETC, em termos percentuais, verifica-se que em Pirapora a irrigação foi responsável por 59% da lâmina necessária para suprir a ETC, em Jaíba 66%, em Barreiras 56% e em Petrolina 76%.

No que se diz respeito à cultura da manga, Teixeira et al. (2008), em um estudo realizado em um pomar de manga, do cultivar Tommy Atkins de 18 anos de idade e irrigado por microaspersão, obtiveram uma evapotranspiração média de 1.419 mm ano<sup>-1</sup> para os dois ciclos de cultivo, estimada pela razão de Bowen. Já Mostert e Wantenaar (1994) estimaram um consumo anual para a manga cultivada na África do Sul de 1.197 mm, sendo que nesse trabalho em Pirapora foram encontrados 1.050 mm, em Jaíba 1.159,5 mm, em Barreiras 1.141 mm e em Petrolina 1.458,9 mm anuais. Os gráficos com a variação do Coeficiente Kc, eventos de precipitação e irrigação para a cultura da manga estão disponíveis no Apêndice B.

#### **4.3.3 Uva**

O balanço de água para a cultura da uva foi realizado simulando dois ciclos (Figura 21), uma vez que a utilização de apenas um ciclo iria subestimar o consumo de água por essa cultura se comparada com culturas de ciclo maior, como a banana por exemplo. Além de subentender que nos demais meses do ano o mesmo solo ficaria sem cultivo. Dessa forma foram realizados dois cultivos em sequência determinados em função das podas.

É possível notar claramente os dois ciclos da cultura da uva dentro do ano, sendo o primeiro de janeiro a junho e o segundo de junho a novembro. Ao se analisar os dados visualizamos a diferença entre o consumo de água entre os dois cultivos. No primeiro ciclo é observado a maior influência da precipitação na demanda hídrica da cultura, por concentrar, em grande parte, no início do ano.

Em Pirapora, por exemplo, no primeiro ciclo foram precipitados 480,5 mm, sendo a ETc no mesmo período de 412,4 mm; porém, mesmo assim, foi necessária a suplementação de 156,1 mm por irrigação, visto que a concentração de chuvas nos meses de janeiro, fevereiro e março favorece as perdas, como a percolação. Já no segundo ciclo o total precipitado foi de 232,4 mm, sendo verificada uma ETc de 478,2 mm; por conseguinte, a lâmina de irrigação necessária foi de 308,2 mm (Figura 21).



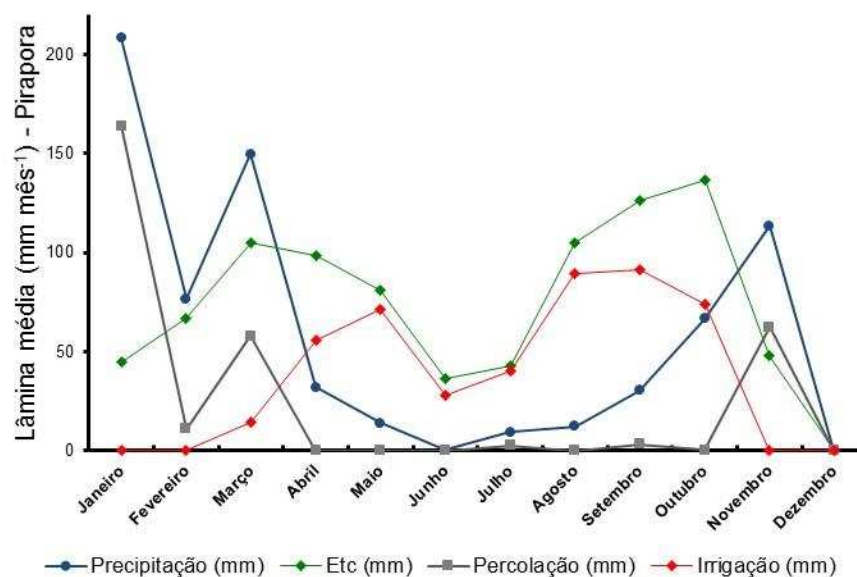


Figura 21 - Balanço hídrico médio mensal para a cultura da Uva em Pirapora - MG.

Durante todo o horizonte de simulação, que durou aproximadamente 11 meses, a ETc total, para os dois ciclos de cultivo da uva foi de 890,0 mm para Pirapora, sendo a lâmina de irrigação necessária de 464,0 mm para suprir a demanda hídrica da cultura; logo, a irrigação representou 52% da ETc.

A cultura da uva no Jaíba, por sua vez, exigiu uma ETc de 972 mm, dos quais 578,0 mm foram fornecidos via irrigação (59%) (Figura 22).

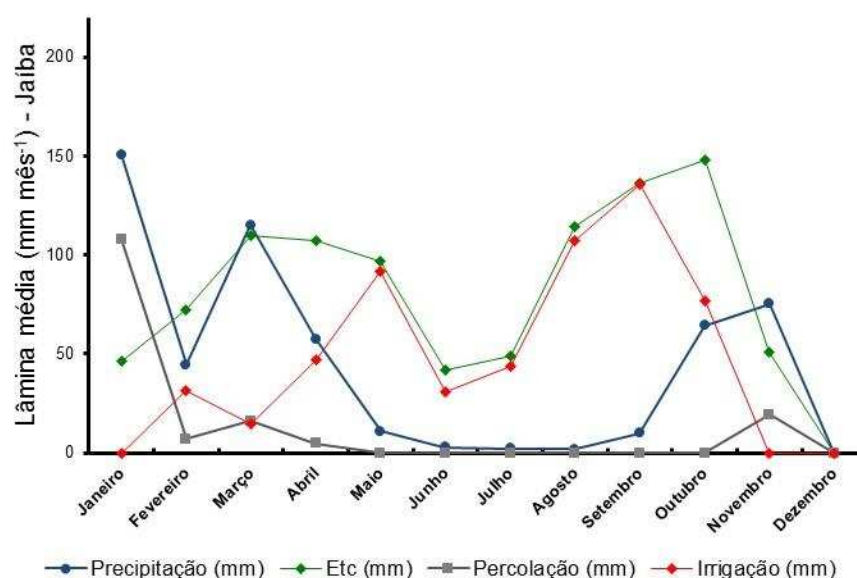


Figura 22 - Balanço hídrico médio mensal para a cultura da Uva em Jaíba - MG.

Devido à pequena demanda hídrica requerida no início do ciclo da cultura da Uva e pela elevada precipitação nos meses de janeiro, fevereiro, março e abril, ocorreu uma elevada percolação nesses meses do ano em Barreiras (Figura 23). A lâmina de irrigação necessária para a cultura da Uva ao longo do ano foi de

489,7 mm. A ETc ao final do ciclo foi de 954,0 mm, dos quais 51% foram fornecidas via irrigação.

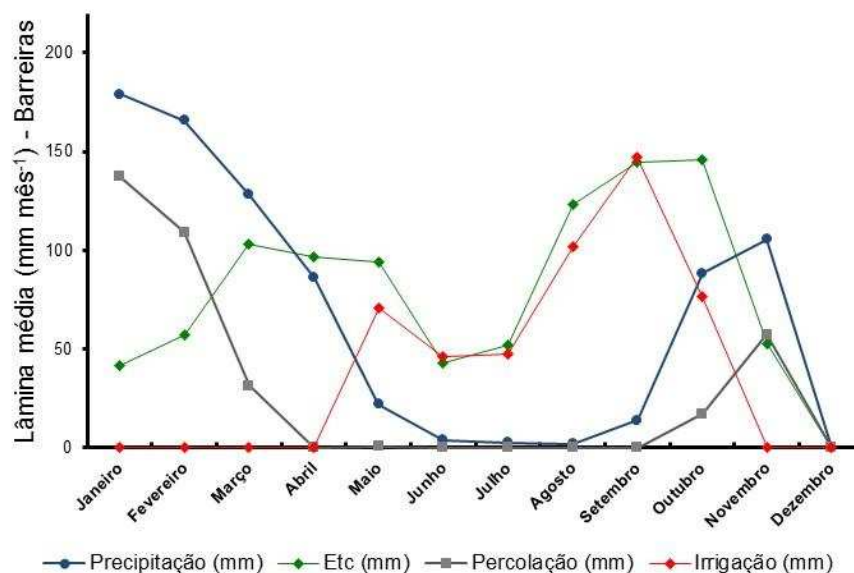


Figura 23 - Balanço hídrico médio mensal para a cultura da Uva em Barreiras - BA.

Petrolina apresentou uma ETc de 1.226,8 mm ao final dos dois ciclos da Uva; à vista disso, foi necessária uma lâmina de irrigação de 840,7 mm, que representou 68,5% da ETc (Figura 24).

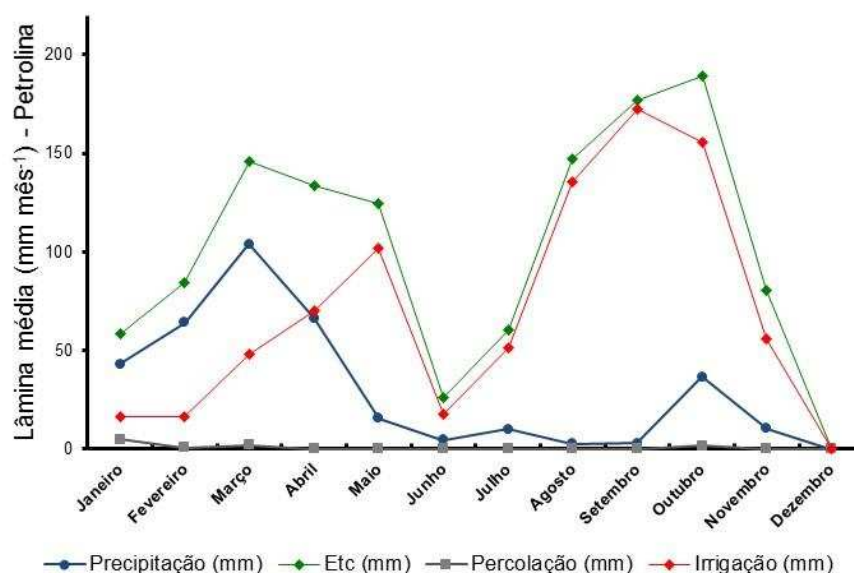


Figura 24 - Balanço hídrico médio mensal para a cultura da Uva em Petrolina - PE.

Dentre as culturas que foram utilizadas nas simulações, a cultura da uva foi a que apresentou menor evapotranspiração, sendo registrado os valores de ETc de 890, 972, 954 e 1.226 mm anuais, para Pirapora, Jaíba, Barreiras e Petrolina,

respectivamente. Sendo assim, dentre as culturas utilizadas, foi a que apresentou menor demanda hídrica a ser fornecida via irrigação. Conforme Doorenbos e Kassan (1994), a demanda hídrica anual da cultura da uva está por volta dos 500 a 1.200 mm, sendo essa variação em função do clima, do cultivar, manejo, solo e espaçamento.

Freitas et al. (2006) realizaram um estudo semelhante da demanda hídrica da cultura da uva, cultivar Itália, na bacia do rio São Francisco em dois ciclos de cultivo. Baseado em dados diários, os maiores valores da ETc anual foram da ordem de 1.025 a 1.173 mm, próximos à região de Petrolina, sendo a ETc média anual para a bacia de 943 mm. A demanda média suplementar dessa cultura na bacia foi de 839,5 mm ano<sup>-1</sup>, sendo que em Pirapora a contribuição da precipitação no ciclo da cultura foi maior, que se comparado com Juazeiro/Petrolina, assim como evidenciado nesse trabalho.

Segundo Teixeira et al. (1999), a ETc acumulada da uva para Petrolina ao longo de um ciclo de produção (03/06 a 11/09) foi de 503 mm. No entanto Teixeira et al. (2007) encontraram valores acumulados de ETc, desde a poda até a colheita, de 438 e 517 mm, para o primeiro e segundo ciclos, respectivamente, referentes a uva para produção de vinho, e 393 e 352 mm para uva de mesa no semiárido da bacia do rio São Francisco. Os gráficos com a variação do Coeficiente Kc, eventos de precipitação e irrigação para a cultura da uva estão disponíveis no Apêndice C.

#### **4.3.4 Cana de açúcar**

A cana de açúcar (soca) em Pirapora necessitou ao final da simulação de uma lâmina de 1.219,3 mm para suprir sua demanda evapotranspirométrica, dos quais aproximadamente 50% foram suplementados pela irrigação (Figura 25).

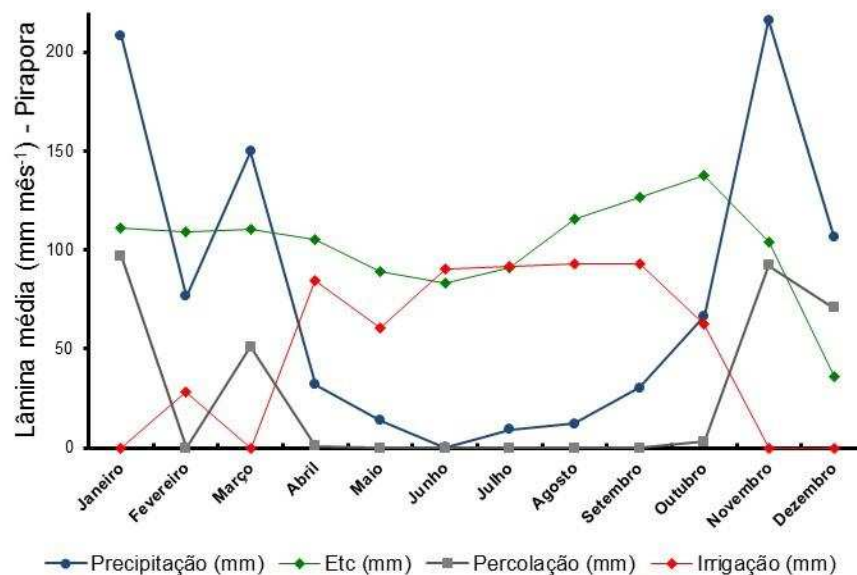


Figura 25 - Balanço hídrico médio mensal para a cultura da Cana em Pirapora - MG.

Em Jaíba, a ETc da cana de açúcar foi de 1.329,3 mm, e a lâmina de irrigação necessária foi de 793,3 mm. Em termos percentuais, a irrigação correspondeu a 60% da ETc (Figura 26).

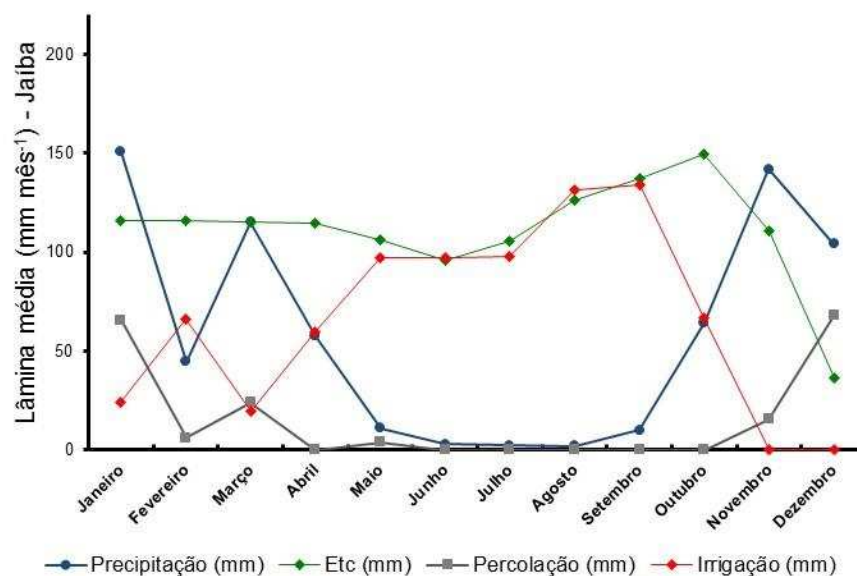


Figura 26 - Balanço hídrico médio mensal para a cultura da Cana em Jaíba - MG.

A cana de açúcar em Barreiras necessitou de irrigação suplementar somente em meados de abril, permitindo que somente 46% da sua demanda hídrica fosse adicionada via irrigação (623 mm). A ETc demandada em Barreiras foi de 1.310,7 mm (Figura 27).

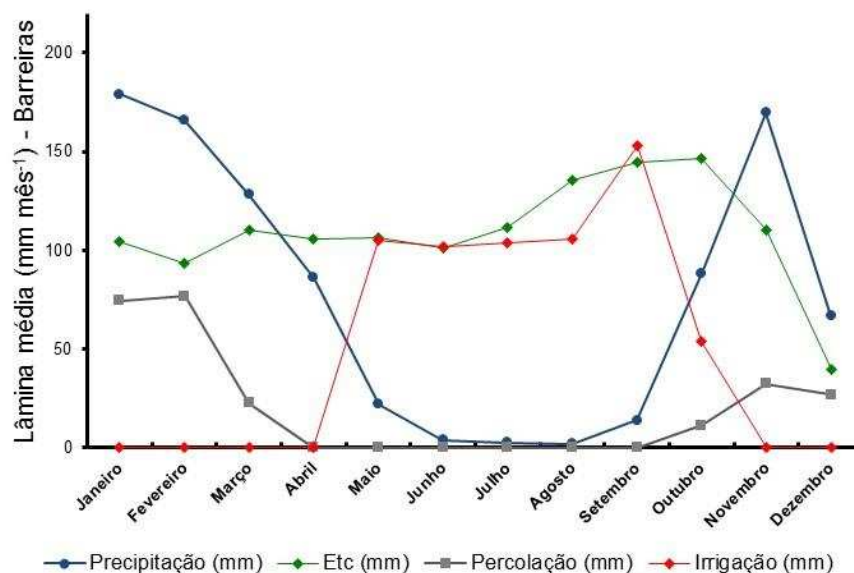


Figura 27 - Balanço hídrico médio mensal para a cultura da Cana em Barreiras - BA.

Em Petrolina, a evapotranspiração ao longo do ciclo da cana de açúcar foi de 1.719,4 mm, ao passo que precipitação total foi de 400 mm, sendo necessário, portanto, uma irrigação suplementar na ordem de 1.297,2 mm, correspondendo a 75% da ETC (Figura 28).

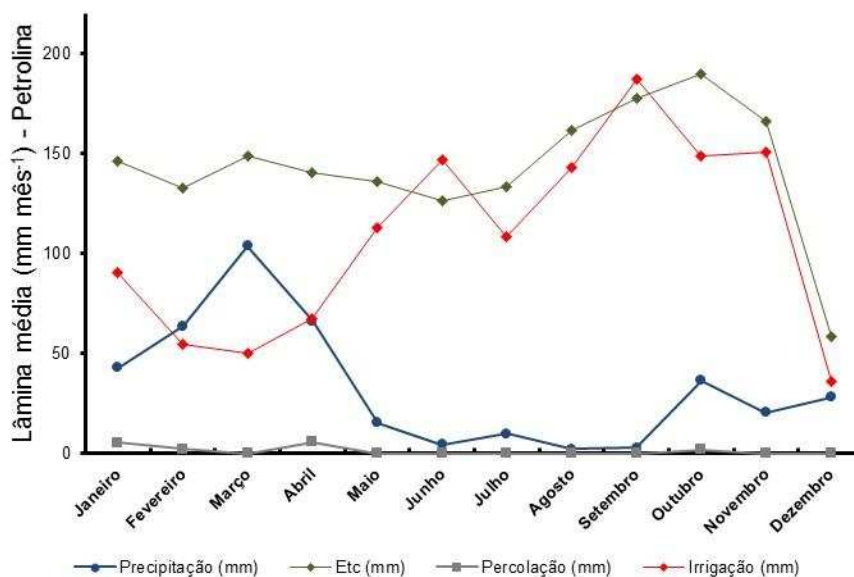


Figura 28 - Balanço hídrico médio mensal para a cultura da Cana em Petrolina - PE.

Em relação à cana de açúcar (soca), alguns estudos estimaram a demanda hídrica dessa mesma cultura na região semiárida do Submédio São Francisco obtiveram resultados semelhantes com os encontrados neste trabalho. Silva et al. 2012, determinaram o requerimento hídrico da cana de açúcar irrigada

durante o ciclo de soca em um experimento realizado no município de Juazeiro – BA, através do método da Razão de Bowen, no qual foram obtidos 1.710 mm.

Do Carmo (2013), determinou a evapotranspiração e o coeficiente de cultivo da cana soca, variedade RB 92579 irrigada por gotejamento no município de Juazeiro – BA, sendo a ETo estimada pelo método de Pennan-Monteith 56 e a ETc pelo método da Razão de Bowen, nos quais foram obtidos 1.805 mm e 1.478 mm, respectivamente. Os gráficos com a variação do Coeficiente Kc, eventos de precipitação e irrigação para a cultura da cana estão disponíveis no Apêndice D.

#### 4.3.5 Milho

Adotou-se a utilização da cultura do milho em três safras, sendo a primeira de janeiro a abril, a segunda de maio a agosto, e a terceira de setembro a dezembro. É importante frisar novamente que, na prática, o calendário de plantio do milho é diferente do utilizado neste trabalho, porém convencionou-se a utilização da máxima quantidade de safras dentro do intervalo de um ano.

Em Pirapora, a irrigação teve início no mês de fevereiro, uma vez que a precipitação supriu boa parte das necessidades hídricas da cultura no mês de janeiro. Ao longo do ano a irrigação (627,3 mm) forneceu 46% da lâmina necessária para atender a evapotranspiração da cultura (1.367,4) (Figura 29).

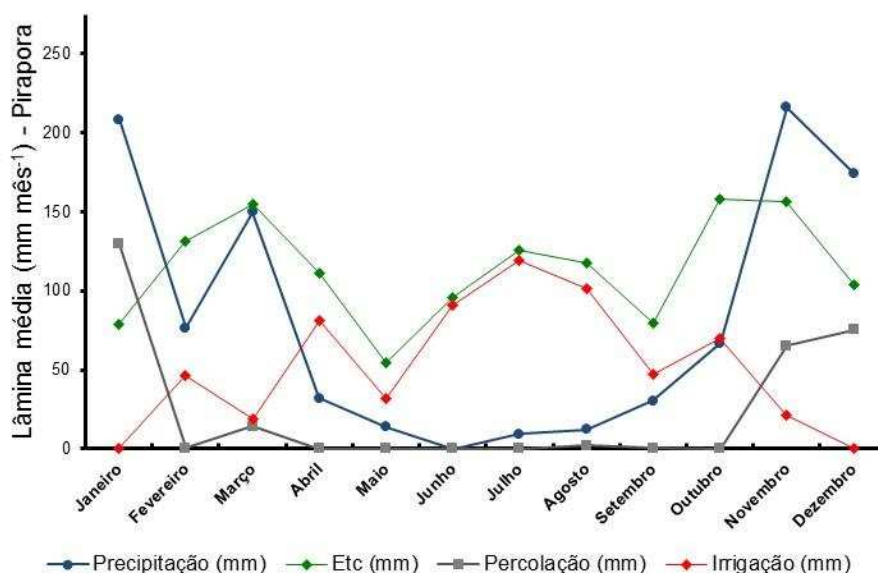


Figura 29 - Balanço hídrico médio mensal para a cultura do Milho em Pirapora - MG.

No que se refere ao total anual, a ETc da cultura do milho em Jaíba foi de 1.476,0 mm e a irrigação necessária para atender essa demanda foi 792,1 mm (54% da ETc), já que a precipitação foi de 778 mm (Figura 30).

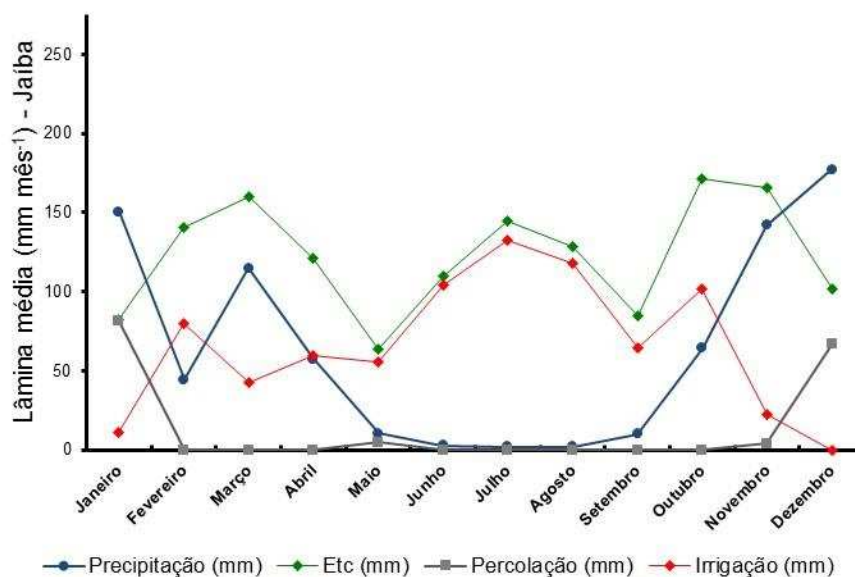


Figura 30 - Balanço hídrico médio mensal para a cultura do Milho em Jaíba - MG.

A lâmina requerida, além da precipitação, para atender a demanda evapotranspiratória do milho em Barreiras diferiu das demais, principalmente no primeiro ciclo (janeiro a abril), posto que a irrigação foi responsável por apenas 7% da ETc. No total, a ETc do milho em Barreiras foi de 1.446,0 mm, sendo 44% desse valor fornecido via irrigação (636,1 mm) (Figura 31).

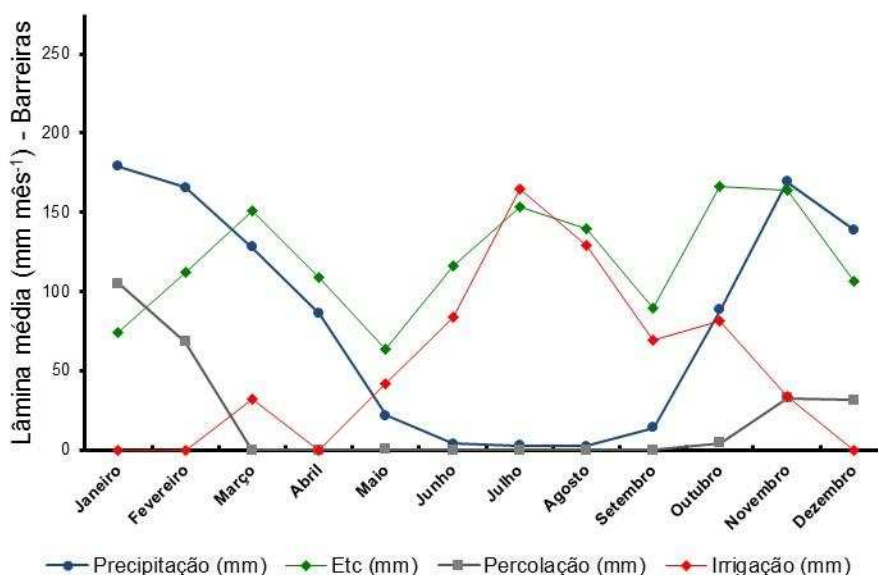


Figura 31 - Balanço hídrico médio mensal para a cultura do Milho em Barreiras - BA.

Em Petrolina durante os três ciclos da cultura do Milho a porcentagem da ETc (57%, 88% e 77% respectivamente) a ser fornecida via irrigação sempre foi elevada em virtude do baixo índice pluviométrico (Figura 32).

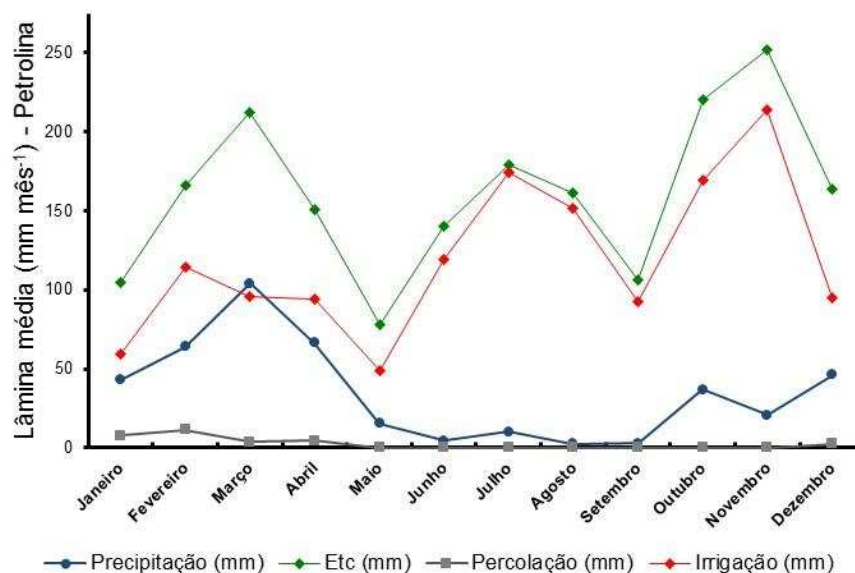


Figura 32 - Balanço hídrico médio mensal para a cultura do Milho em Petrolina - PE.

No total, considerando o período de um ano como base, a ETc do milho foi de 1.934,4 mm e uma irrigação necessária de 1.428,8 mm o que equivale a 74% da ETc. Os gráficos com a variação do Coeficiente Kc, eventos de precipitação e irrigação para a cultura do milho estão disponíveis no Apêndice E.

Souza et al. (2008) determinaram o coeficiente de cultura Kc para a cultura do milho sob as condições climáticas do semiárido brasileiro, em Petrolina – PE, e obteve ao longo do ciclo uma lâmina de irrigação de 471,2 mm. Com base nas simulações da estimativa da ETc para a cultura do milho cultivado em Petrolina foram obtidos os valores da lâmina de irrigação de 363,72 mm (para o ciclo de Janeiro a Abril), 485,12 mm (para o ciclo de Maio a Agosto) e 579,98 mm (para o ciclo de Setembro a Dezembro).

Oliveira et al. (1993) estudaram a evapotranspiração da cultura do milho em um Argissolo Vermelho Amarelo no projeto de irrigação São Desidério, em Barreiras – BA, no qual obteve uma ETc acumulada de 455 mm, enquanto que no presente trabalho foram obtidos os valores de 446,42 mm (para o ciclo de Janeiro a Abril), 465,26 mm (para o ciclo de Maio a Agosto), 534,41 mm (para o ciclo de Setembro a Dezembro), para esta mesma localidade e considerando o mesmo tipo de solo.

Alves (2013), encontrou, ao final dos 107 dias de cultivo de milho variedade Potiguar, em Chapada do Apodi – Rn, uma evapotranspiração da cultura acumulada de 480,81 mm.



### 4.3.6 Feijão

O feijão apresentou quatro safras completas (janeiro a março, abril a junho, julho a setembro e outubro a dezembro) distribuídas ao longo do ano. Os gráficos com a variação do Coeficiente Kc, eventos de precipitação e irrigação para a cultura do feijão estão disponíveis no Apêndice F.

Analisando a Figura 33 referente a Pirapora, a ETc necessária para atender a demanda dos quatro ciclos da cultura do feijão é de 1.260,0 mm, dos quais 534,0 mm devem ser fornecidos através da irrigação (42%) complementando os 998,3 mm precipitados.

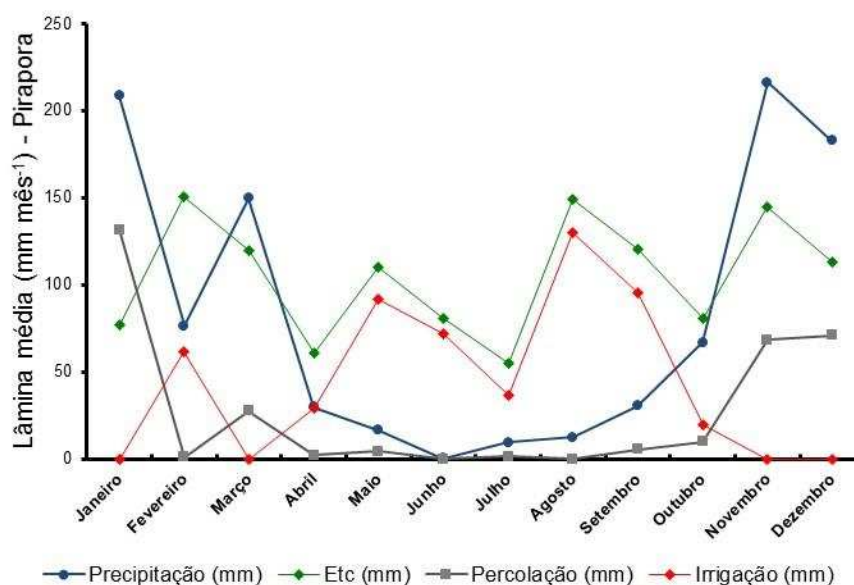


Figura 33 - Balanço hídrico médio mensal para a cultura do Feijão em Pirapora - MG.

Em Jaíba, as quatro safras de feijão necessitam de 1.350,0 mm, dos quais 721,0 mm (53%) devem ser via irrigação (Figura 34).

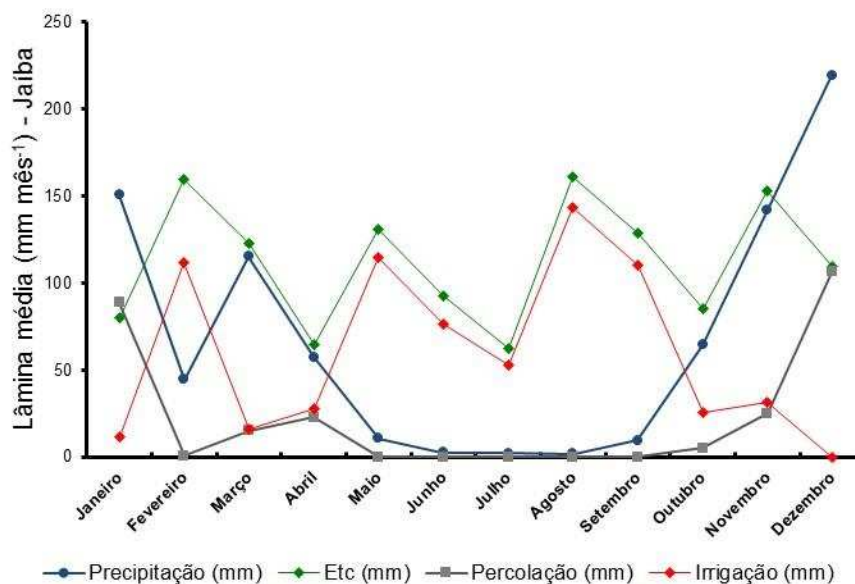


Figura 34 - Balanço hídrico médio mensal para a cultura do Feijão em Jaíba - MG.

Em Barreiras, a lâmina a ser fornecida através da irrigação foi de 625,6 mm, correspondente a 47% da ETc (1.324,3 mm), sendo interessante observar que dos 625,6 mm necessários pela irrigação durante os quatro ciclos, 545,6 mm estão concentrados no segundo e no terceiro ciclos (Figura 35).

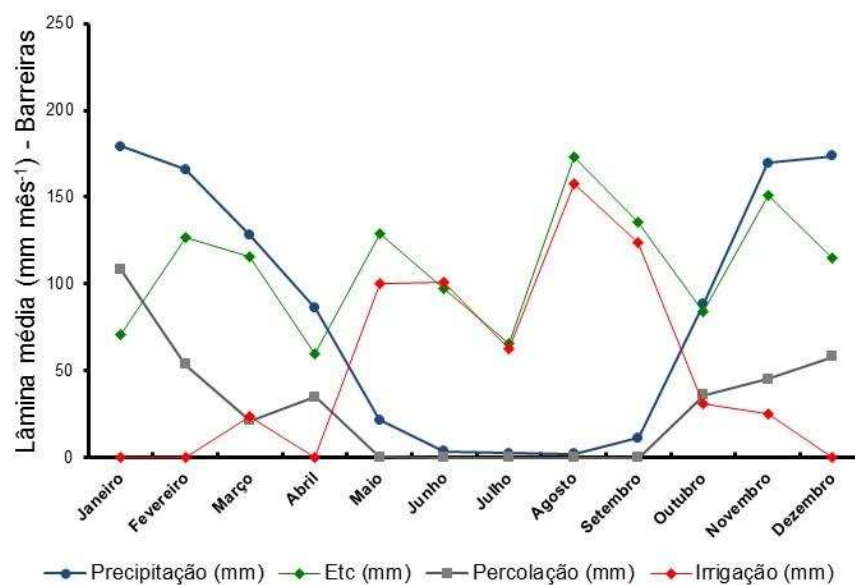


Figura 35 - Balanço hídrico médio mensal para a cultura do Feijão em Barreiras - BA.

Em Petrolina (Figura 36) nota-se uma elevada necessidade de irrigação ao longo de todo o ano para a cultura do feijão. A ETc total foi da ordem de 1.742,0 mm, dentre os quais 1.251,1 mm são requeridos via irrigação, tornando a irrigação responsável por atender a 72% da demanda hídrica do feijoeiro

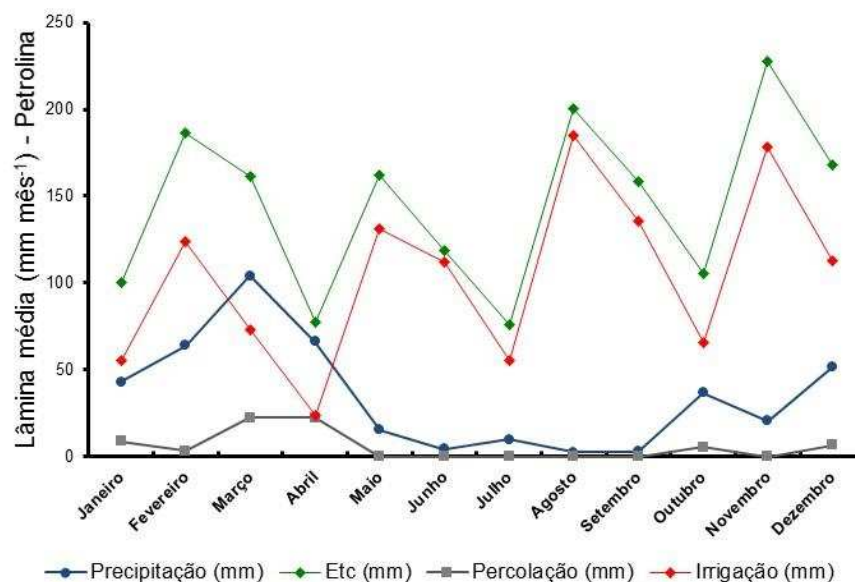


Figura 36 - Balanço hídrico médio mensal para a cultura do Feijão em Petrolina - PE.

Em relação à cultura do feijão, Andrade et al. (1993) estimaram uma evapotranspiração para a cultura do feijão caupi, nos Tabuleiros Costeiros, e obtiveram ao longo de todo o ciclo 380 mm. Realizando um estudo nas mesmas condições Cardoso et al. (1998), obtiveram um consumo de 338,8 mm ao longo do ciclo do cultivar BR17-Gurguéia. O consumo médio por ciclo para a cultura do feijão neste estudo foi de 315 mm, 337,6 mm, 331,1 mm e 435 mm, para Pirapora, Jaíba, Barreiras e Petrolina, respectivamente.

#### **4.4 Relações de equivalência**

As relações de equivalência demonstram um comparativo entre a lâmina necessária para atender a demanda hídrica de uma cultura em uma das localidades em estudo com o consumo da mesma, ou de outra cultura em outra localidade. Todavia é feito também um comparativo entre o consumo das culturas dentro de um mesmo perímetro irrigado. O Quadro 16 apresenta as relações de equivalência entre as culturas de banana, manga, uva, cana de açúcar, milho e feijão, nas localidades de Pirapora, Jaíba, Barreiras e Petrolina.

Os valores apresentados no Quadro 16 foram obtidos pela razão entre a lâmina fornecida pela irrigação da cultura, que está na coluna, pela lâmina de irrigação da cultura, que está na linha. Como exemplo, a relação entre a cultura manga e a cultura da banana, ambas cultivadas em Pirapora, foi de 0,69, obtida pela divisão da irrigação real necessária da cultura da manga ( $\text{mm ano}^{-1}$ ) pela irrigação real necessária da cultura da banana ( $\text{mm ano}^{-1}$ ). Portanto, essa relação significa que a cultura da manga necessita de 69% da lâmina requerida pela cultura da banana para completar seu ciclo atendendo suas necessidades hídricas, sendo ambas cultivadas em Pirapora.

No Quadro 16, os valores que estão indicados pelas cores preta, verde, azul e vermelha referem-se às relações de equivalência que ocorreram em uma mesma localidade, correspondendo a Pirapora, Jaíba, Barreiras e Petrolina, nessa mesma ordem. Já os valores em branco referem-se às relações de equivalência entre culturas que estão em locais diferentes.

Quadro 16 - Relações de equivalência entre as demandas de água para irrigação nas culturas da banana, manga, uva, cana (soca), milho e feijão em Pirapora - MG, Jaíba - MG, Barreiras - BA e Petrolina - PE (mm mm<sup>-1</sup>)

mm mm <sup>-1</sup>		Pirapora/MG						Jaíba/MG						Barreiras/BA						Petrolina/PE					
		Banana	Manga	Uva	Cana	Milho	Feijão	Banana	Manga	Uva	Cana	Milho	Feijão	Banana	Manga	Uva	Cana	Milho	Feijão	Banana	Manga	Uva	Cana	Milho	Feijão
Pirapora/MG	Banana	1,00																							
	Manga	0,69	1,00																						
	Uva	0,51	0,75	1,00																					
	Cana	0,67	0,97	1,30	1,00																				
	Milho	0,69	1,01	1,35	1,04	1,00																			
	Feijão	0,59	0,86	1,15	0,88	0,85	1,00																		
Jaíba/MG	Banana	1,25	1,82	2,44	1,87	1,81	2,12	1,00																	
	Manga	0,84	1,23	1,65	1,27	1,22	1,43	0,68	1,00																
	Uva	0,64	0,93	1,25	0,96	0,92	1,08	0,51	0,75	1,00															
	Cana	0,87	1,28	1,71	1,31	1,26	1,49	0,70	1,04	1,37	1,00														
	Milho	0,87	1,27	1,71	1,31	1,26	1,48	0,70	1,03	1,37	1,00	1,00													
	Feijão	0,80	1,16	1,55	1,19	1,15	1,35	0,64	0,94	1,25	0,91	0,91	1,00												
Barreiras/BA	Banana	1,05	1,54	2,06	1,58	1,52	1,79	0,84	1,25	1,65	1,20	1,21	1,33	1,00											
	Manga	0,71	1,03	1,38	1,06	1,02	1,20	0,57	0,84	1,11	0,81	0,81	0,89	0,67	1,00										
	Uva	0,54	0,79	1,05	0,81	0,78	0,92	0,43	0,64	0,85	0,62	0,62	0,68	0,51	0,76	1,00									
	Cana	0,69	1,00	1,34	1,03	0,99	1,17	0,55	0,81	1,08	0,79	0,79	0,86	0,65	0,97	1,27	1,00								
	Milho	0,70	1,02	1,37	1,05	1,01	1,19	0,56	0,83	1,10	0,80	0,80	0,88	0,67	0,99	1,30	1,02	1,00							
	Feijão	0,69	1,01	1,35	1,03	1,00	1,17	0,55	0,82	1,08	0,79	0,79	0,87	0,65	0,97	1,28	1,00	0,98	1,00						
Petrolina/PE	Banana	2,06	3,01	4,03	3,09	2,98	3,50	1,65	2,44	3,23	2,36	2,36	2,59	1,96	2,91	3,82	3,00	2,94	2,99	1,00					
	Manga	1,23	1,79	2,40	1,84	1,77	2,08	0,98	1,45	1,92	1,40	1,40	1,54	1,16	1,73	2,27	1,79	1,75	1,78	0,59	1,00				
	Uva	0,93	1,35	1,81	1,39	1,34	1,57	0,74	1,10	1,45	1,06	1,06	1,17	0,88	1,31	1,72	1,35	1,32	1,34	0,45	0,76	1,00			
	Cana	1,43	2,09	2,79	2,15	2,07	2,43	1,15	1,69	2,24	1,64	1,64	1,80	1,36	2,02	2,65	2,08	2,04	2,07	0,69	1,17	1,54	1,00		
	Milho	1,58	2,30	3,08	2,36	2,28	2,67	1,26	1,87	2,47	1,80	1,80	1,98	1,50	2,22	2,92	2,29	2,25	2,28	0,76	1,28	1,70	1,10	1,00	
	Feijão	1,38	2,01	2,69	2,07	1,99	2,34	1,10	1,63	2,16	1,58	1,58	1,74	1,31	1,95	2,55	2,01	1,97	2,00	0,67	1,12	1,49	0,96	0,88	1,00

Dentre as várias relações entre as culturas nas diferentes localidades, algumas merecem destaque pela elevada discrepância entre a lâmina necessária. A título de exemplo, a cultura da banana cultivada em Petrolina necessita de uma lâmina de irrigação quatro vezes maior que a cultura da uva cultivada em Pirapora, o que pode ser justificado pela diferença climática existente entre estes dois locais, já que Petrolina caracteriza-se por apresentar um clima semiárido e precipitação média anual entre 380 e 760 mm, pelo tipo de solo e pelas características fisiológicas da cultura.

Outras relações demonstraram resultados interessantes, como, por exemplo, a lâmina demandada pelas quatro safras do feijão cultivado em Barreiras é igual à lâmina necessária para suprir a demanda hídrica de uma safra de manga e três safras de milho cultivados em Pirapora, nas condições que o estudo foi realizado.

As diferenças observadas em relação às lâminas a serem supridas pela irrigação são explicadas, em grande parte, pelos fatores climáticos que determinam o processo de evapotranspiração. Sabe-se, por exemplo, que em Petrolina os maiores valores de temperatura máxima são encontrados nos meses de janeiro a abril e entre setembro e dezembro, quando se tem maior insolação diária, logo, maior radiação disponível para o aquecimento do ar, em função das baixas precipitações.

Além disso, Petrolina apresenta uma enorme variação em relação à precipitação, se comparada aos demais locais de estudo. A precipitação média anual de longo período obtida para Petrolina está em torno de 425 mm, enquanto que em Pirapora, Jaíba e Barreiras está em torno de 1.015 mm, 835 mm e 1.060 mm, respectivamente (Figura 5).

Pelo fato do clima da região onde está localizada Petrolina ser semiárido, maior será a demanda de água a ser requerida pelas culturas nesta localidade, uma vez que, conforme Allen et al. (1998), campos úmidos localizados em regiões áridas (quentes e secas) perdem grandes quantidades de água, que por sua vez são transferidas para a atmosfera devido ao processo de evapotranspiração, em função da grande quantidade de energia disponível aliada a elevada capacidade do ar em absorver umidade. Em regiões quentes e úmidas, a alta umidade relativa do ar reduz a evapotranspiração, uma vez que o ar circundante encontra-se saturado, fato que ocorre em alguns meses do ano

em Pirapora, Barreiras e Jaíba, devido à precipitação e consequente elevada umidade relativa do ar.

Por se situarem em regiões climáticas parecidas, tanto Pirapora quanto Jaíba apresentaram a mesma tendência em relação à evapotranspiração de referência, havendo divergência na amplitude de alguns elementos climáticos como temperatura máxima e insolação. A maior diferença na evapotranspiração de referência entre Pirapora e Jaíba pode ser observada nos meses de maio, junho e julho, quando os menores valores observados em Pirapora estão em torno de  $3,0 \text{ mm d}^{-1}$ , enquanto que em Jaíba observa-se valores mínimos por volta de  $3,5$  a  $4,0 \text{ mm d}^{-1}$  (Figuras 8 e 9).

Em Barreiras não é observada uma redução na precipitação no mês de fevereiro, como no Norte de Minas Gerais; além disso, apresenta uma melhor distribuição das chuvas nos meses de janeiro, fevereiro, março e abril, uma vez que em Pirapora e Jaíba a precipitação, nessa época do ano, está concentrada majoritariamente nos meses de janeiro e março. A condição climática da região aliada a um tipo de solo que retém uma maior quantidade de água, possibilitou uma demanda hídrica menor pela irrigação para todas as culturas, se comparado com Jaíba e Petrolina, o que pode ser observado na Figura 37.

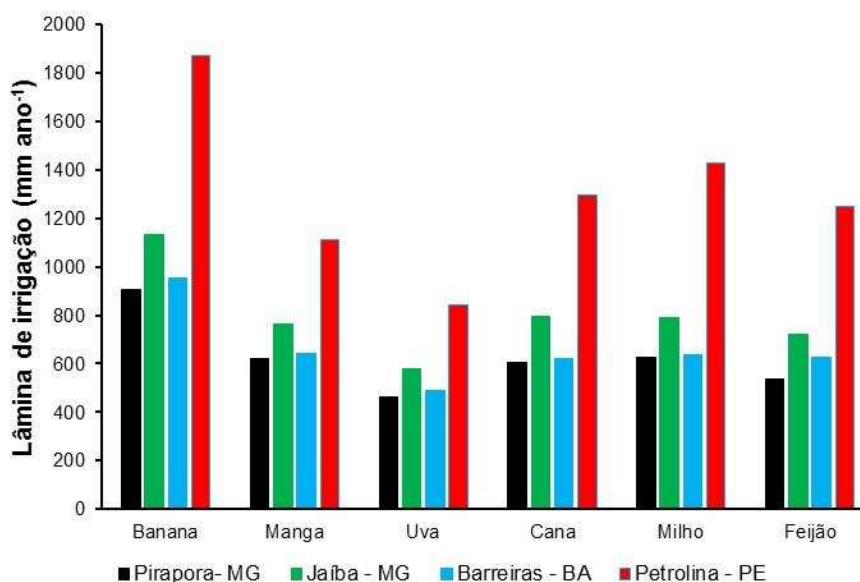


Figura 37 - Lâminas anuais médias de irrigação necessárias para as culturas da banana, manga, uva, cana, milho e feijão cultivados em Pirapora - MG, Jaíba - MG, Barreiras - BA e Petrolina - PE.

Analisando a Figura 37 (e ao mesmo tempo observando o quadro 18) verifica-se que a cultura da banana é a que necessita de uma maior lâmina de irrigação para suprir suas necessidades hídricas. Comparativamente, o consumo de água

pela cultura da banana em Jaíba difere de Pirapora pelo fato da precipitação média anual de longo período em Pirapora ser maior (1.016,8 mm) que em Jaíba (834,5 mm) (Figura 14), além da ETc, que em Jaíba é de 1.858,4 mm, enquanto em Pirapora é de 1.731,4 mm.

A lâmina necessária para atender as demandas hídricas da cultura da Banana em Barreiras, foi semelhante a Pirapora. Estas localidades estão situadas em regiões distintas dentro da bacia, todavia Barreiras apresenta uma maior precipitação média anual (1.061 mm), sendo o índice pluviométrico bastante satisfatório nos meses de janeiro, fevereiro, março e abril. Isto é comprovado pela não necessidade de irrigação nos meses de janeiro e fevereiro (Figura 15). Posto que o solo utilizado nas simulações em Barreiras é do tipo Argissolo Vermelho Amarelo, logo uma maior disponibilidade total de água no solo é proporcionada pelas suas características físicas, se comparado com as demais localidades que apresentam uma capacidade de retenção de água menor.

Petrolina apresenta a maior lâmina de irrigação necessária para suprir as demandas hídricas da cultura da banana, o que pode ser justificado pelo baixo índice pluviométrico médio anual, em torno de 425,73 mm, somado a elevada ETc de, 2.418,34 mm. Na figura 38 faz-se o comparativo entre as demandas evapotranspirométricas por safra ou ciclo para as culturas estudadas nas referidas localidades.

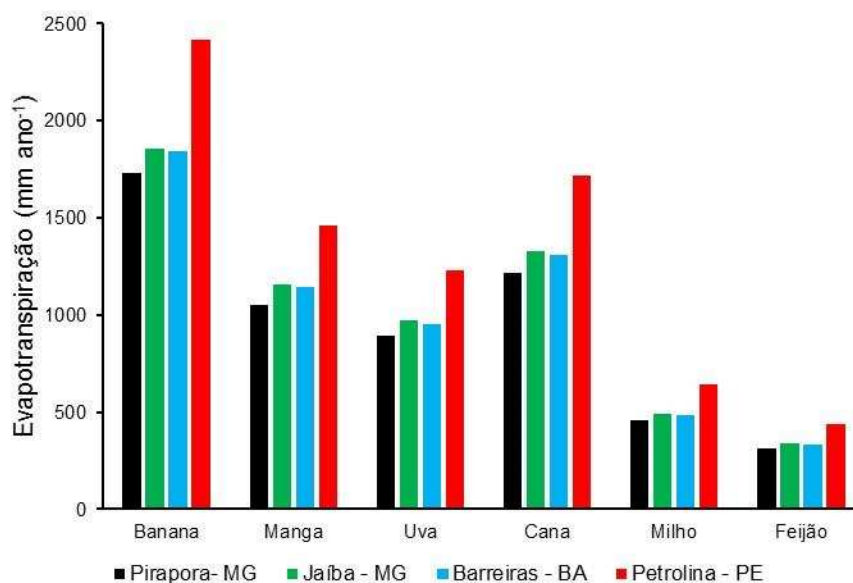


Figura 38 - Lâmina evapotranspirada média por ciclo/safra para as culturas da banana, manga, uva, cana, milho e feijão cultivados em Pirapora - MG, Jaíba - MG, Barreiras - BA e Petrolina - PE.



Com base nas literaturas citadas anteriormente é possível inferir que as relações de equivalência entre as culturas da banana, manga, uva, cana de açúcar, milho e feijão nas localidades de Pirapora, Jaíba, Barreiras e Petrolina estão condizentes com a realidade. Portanto podem ser utilizadas como parâmetro comparativo quando se desejar comparar o consumo de água pelas culturas, visando qual cultura poderá, em termos gerais, ser melhor utilizada em função da disponibilidade hídrica da região ou do empreendimento, desde que sejam respeitadas as condições, a metodologia e os parâmetros utilizados neste trabalho.

#### **4.5 Impacto da irrigação na geração de energia**

A estimativa da demanda hídrica das culturas pela irrigação em cada mês do ano possibilitou a obtenção da vazão média mensal requerida pelas culturas da banana, manga, uva, cana de açúcar, milho e feijão.

Com base na vazão média mensal obteve-se a potência média mensal (em kW) que deixa de ser gerada, demonstrando o impacto médio que as irrigações das culturas promovem na geração de energia elétrica, em função das derivações nos perímetros irrigados do Jaíba - MG e Senador Nilo Coelho - PE.

O somatório da vazão média mensal requerida ( $m^3 s^{-1}$ ) para a irrigação, assim como o somatório do volume total mensal ( $m^3$ ) derivado pelas culturas da banana, manga, uva, cana, milho e feijão, nos perímetros irrigados do Jaíba - MG e Nilo Coelho - PE podem ser observados no Quadro 17.

Quadro 17 - Vazão total demandada pela irrigação das culturas de manga, uva, cana (soca), milho e feijão nos perímetros irrigado do Jaíba - MG e Senador Nilo Coelho - PE

<b>Mês</b>	<b>Vazão</b>	<b>Volume total derivado</b>
	$m^3 s^{-1}$	$m^3$
<i>Janeiro</i>	4,45	11.910.696,14
<i>Fevereiro</i>	4,91	11.870.153,35
<i>Março</i>	3,06	8.199.410,95
<i>Abril</i>	7,12	18.442.867,72
<i>Maio</i>	8,46	22.664.677,28
<i>Junho</i>	8,22	21.309.381,93
<i>Julho</i>	9,04	24.223.021,38
<i>Agosto</i>	12,37	33.134.151,22
<i>Setembro</i>	12,72	32.976.040,94
<i>Outubro</i>	9,94	26.636.240,32
<i>Novembro</i>	3,41	8.832.038,52

<i>Dezembro</i>	1,60	4.281.860,90
<b>Total</b>		224.480.540,7

A maior demanda necessária pela irrigação ocorre durante a estação seca, por conseguinte, as retiradas ocorrem em maior quantidade a partir do mês de abril. Isso ocorre porque a região caracteriza-se por apresentar um clima tropical, com as chuvas concentradas nos meses de janeiro, fevereiro, março, outubro, novembro e dezembro, no caso de Jaíba, e um clima semiárido no caso de Petrolina, que apresenta um baixo índice pluviométrico ao longo de todo o ano.

As maiores vazões captadas são observadas nos meses de agosto e setembro devido à elevada demanda hídrica das culturas, sendo que os valores registrados foram  $12,37 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  e  $12,72 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ .

A potência que deixa de ser gerada varia de usina para usina, visto que cada uma possui características estruturais diferentes, conseqüentemente, diferentes capacidades de geração (Quadro 18). As maiores reduções são observadas nas usinas que apresentam elevada potência instalada como é o caso do Complexo Paulo Afonso/Moxotó e Xingó, cujas potências instaladas são da ordem de 4.279.600 kW e 3.162.000 kW, respectivamente, sendo que a potência total instalada nas usinas hidrelétricas em estudo é de 9.971.500 kW.

Quadro 18 - Potência elétrica que deixa de ser produzida (kW) nas usinas hidrelétricas de Sobradinho, Itaparica, Complexo Paulo Afonso/Moxotó e Xingó, e a respectiva porcentagem em função da Potência total instalada (kW)

	<b>Sobradinho</b>	<b>Itaparica</b>	<b>Complexo P.A/Moxotó</b>	<b>Xingó</b>	<b>Total</b>	<b>%</b>
<i>Janeiro</i>	1067,93	1817,83	4822,43	5040,46	12748,66	0,13
<i>Fevereiro</i>	1178,32	2005,75	5320,94	5561,52	14066,54	0,14
<i>Março</i>	735,17	1251,41	3319,80	3469,89	8776,27	0,09
<i>Abril</i>	1708,73	2908,61	7716,10	8064,96	20398,40	0,20
<i>Mai</i>	2032,14	3459,13	9176,53	9591,42	24259,22	0,24
<i>Junho</i>	1974,31	3360,69	8915,38	9318,47	23568,86	0,24
<i>Julho</i>	2171,87	3696,97	9807,47	10250,89	25927,20	0,26
<i>Agosto</i>	2970,85	5057,00	13415,43	14021,98	35465,26	0,36
<i>Setembro</i>	3055,23	5200,63	13796,46	14420,24	36472,56	0,37
<i>Outubro</i>	2388,24	4065,28	10784,54	11272,14	28510,20	0,29
<i>Novembro</i>	818,29	1392,90	3695,13	3862,20	9768,52	0,10
<i>Dezembro</i>	383,92	653,51	1733,65	1812,03	4583,11	0,05

Pelo fato das maiores vazões demandadas pela irrigação ocorrerem nos meses de junho, julho, agosto e setembro, as maiores reduções na potência

ocorrem também nesses meses. No mês de junho a vazão média para atender as demandas das culturas pela irrigação ocasiona uma perda de aproximadamente 0,24%, enquanto que nos meses de julho, agosto e setembro essa redução é de 0,26%, 0,36% e 0,37%, respectivamente. Os valores encontrados são, aparentemente, pequenos se comparados com a potência total instalada (9.971.500 kW); todavia, é importante ressaltar que neste estudo foram analisados apenas dois perímetros irrigados que captam água para a irrigação diretamente no rio São Francisco. Para uma análise mais aprofundada do real impacto que a irrigação promove na geração de energia elétrica devem ser considerados a maior gama de culturas possível, em todos os perímetros de irrigação instalados na bacia, quer seja no rio principal, quer seja em seus afluentes, além de quantificar o consumo referente aos usuários que não estão inseridos em perímetros irrigados, de modo a estimar a demanda hídrica total das culturas a serem supridas via irrigação na bacia.

O impacto das derivações em função da irrigação é amenizado pelas barragens dos reservatórios de Três Marias - MG e Sobradinho - BA, que servem como uma segurança durante os períodos mais secos do ano, liberando a água gradualmente do volume do reservatório, permitindo o pleno funcionamento das hidrelétricas e atenuando um possível conflito pelo uso da água.

Além de reduzir a geração de energia devido à água derivada, a irrigação também impõe outra pressão ao sistema, ao passo que durante essa época do ano a energia requerida pelos conjuntos moto bomba também aumenta.

As irregularidades nas precipitações, aliado ao uso e ocupação do solo na bacia e ao aumento da demanda em função da construção de novos perímetros irrigados (tanto aqueles que retiram água diretamente da calha do rio São Francisco, quanto de seus afluentes) possivelmente, num cenário futuro resultarão em um aumento expressivo desses valores, uma vez que uma série de novos perímetros já estão sendo implementados na bacia, assim como outros estão em fases de estudos de viabilidade econômica. É importante ressaltar que como a vazão do rio São Francisco é regularizada pelo reservatório da Hidrelétrica de Sobradinho, a vazão que é retirada pela irrigação nos perímetros irrigados a montante desse aproveitamento hidrelétrico (como os perímetros irrigados de Jaíba/MG e Nilo Coelho/PE) tem impacto direto no volume dos reservatórios e não sobre a potência diretamente, necessitando de estudos que trabalhem com a modelagem da dinâmica do reservatório, levando em

consideração suas políticas operativas e seus horizontes de planejamento a curto, médio e longo prazos. Considerando uma situação hipotética em que a vazão média retirada promovesse um impacto direto na geração de energia ao longo do ano, essa poderia ser representada pela figura 38.

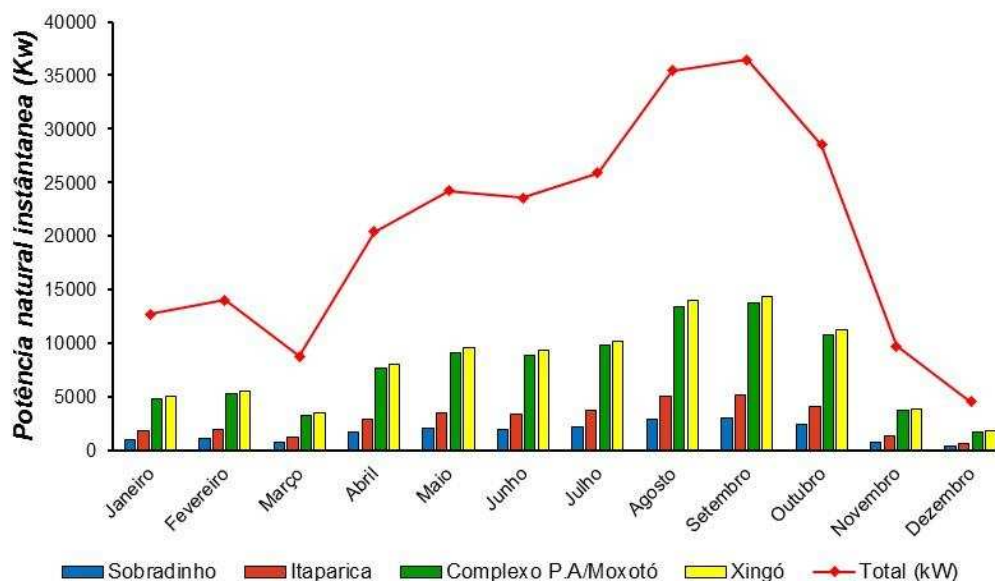


Figura 39 - Potência que deixa de ser gerada nas hidrelétricas de Sobradinho, Itaparica, Complexo Paulo Afonso/Moxotó e Xingó, devido a irrigação nos perímetros irrigados do Jaíba - MG e Senador Nilo Coelho - PE.

A situação se torna crítica ao passo que a partir do mês de junho a vazão do rio diminui em função da época seca, promovendo uma maior restrição no que se refere ao uso da água. O foco das mudanças climáticas enfatiza a preocupação em relação ao contexto da bacia do rio São Francisco, uma vez que tanto a agricultura irrigada quanto a geração de energia elétrica utilizam a água como principal fator produtivo, ou seja, a medida que se reduz a disponibilidade, em função das variações nas precipitações, aumenta a competição pelo uso da água.

Conforme Machado (2009), análises que coloquem frente a frente a irrigação com a geração de energia elétrica tendem a ser cada vez mais úteis no que se refere a adoção de um conjunto de ações que promovam a racionalização no uso da água e sua preservação para as gerações futuras. O mesmo autor ainda enfatiza a importância do desenvolvimento de ferramentas de auxílio aos processos de gestão dos recursos hídricos, levando se em conta a tutela dos colegiados e órgãos legais para tais finalidades.

## **5 CONCLUSÃO**

- Petrolina apresentou uma menor umidade relativa do ar, menor precipitação, e uma elevada velocidade do vento, se comparada com as demais localidades.
- As evapotranspirações médias de longo período estimadas para Pirapora – MG, Jaíba – MG, Barreiras – BA e Petrolina – PE foram de 1.550, 1.655, 1.620 e 2.070 mm, respectivamente.
- A localidade de Petrolina apresentou a maior evapotranspiração para as culturas de banana, manga, uva, cana de açúcar, milho e feijão, sendo que a cultura da banana foi a que apresentou a maior lâmina evapotranspirométrica ao longo do ano, sendo observado os valores de 1.731,4; 1.858,4; 1.841,0 e 2.418,34 mm, para Pirapora, Jaíba, Barreiras e Petrolina, respectivamente.
- As relações de equivalência ressaltam as diferenças existentes entre a demanda de irrigação das diferentes culturas nas diferentes localidades, possibilitando, em termos gerais, dizer qual cultura é mais indicada (em relação a demanda de água) de acordo com a disponibilidade hídrica de uma região ou empreendimento.
- Nos meses de junho, julho, agosto e setembro ocorre uma redução média de 0,24%, 0,26%, 0,36% e 0,37%, respectivamente, na potência total instalada nas Usinas de Sobradinho, Itaparica, Complexo Paulo Afonso/Moxotó e Xingó, devido a irrigação nas localidades em estudo.

## **6 REFERÊNCIAS**

ALLEN, R.G. **Ref-Et - Reference evapotranspiration calculator**. Idaho: University of Idaho Research and Extension Center Kimberly, 2000.

ALLEN, R.G; PEREIRA, L.S; RAES, D. SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. FAO irrigation and drainage. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1998. 328 p. (Paper, 56).

ALMEIDA, A. C. DOS S.; SOUZA, J. L.; TEODORO, I.; BARBOSA, G. V. S.; MOURA FILHO, G.; FERREIRA JÚNIOR, R. A. **Desenvolvimento vegetativo e produção de variedades de cana-de-açúcar em relação à disponibilidade hídrica e unidades térmicas**. Ciência e Agrotecnologia, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1441-1448, 2008.

ALVES, A. da S. **Necessidades hídricas da cultura do milho sob irrigação suplementar nas condições edafoclimáticas da Chapada do Apodi**. 2013. 69 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró, RN, 2013.

ANA; GEF; PNUMA; OEA. **Projeto de Gerenciamento Integrado das Atividades Desenvolvidas em Terra na Bacia do São Francisco. Sub-projeto 4.5C – Plano Decenal de Recursos Hídricos da Bacia do Rio São Francisco – PBHSF (2004-2013)**. Módulo 1: Resumo Executivo, Proposta para Apreciação pelo Plenário do CBHSF, 2004. 329p.

ANA; GEF; PNUMA; OEA. **Projeto gerenciamento integrado das atividades desenvolvidas em terra na bacia do São Francisco. Subprojeto 4.3 – Quantificação e análise da eficiência do uso da água pelo setor agrícola na Bacia do São Francisco**. Viçosa, MG, 2003(a). 58p (Resumo Executivo do Relatório Final).

ANA; GEF; PNUMA; OEA. **Projeto gerenciamento integrado das atividades desenvolvidas em terra na bacia do São Francisco. Subprojeto 4.2B – Proposta para implementação da cobrança pelo uso da água na bacia do rio São Francisco**. Salvador, BA, 2003(b). 170p (Relatório Final).

ANA; GEF; PNUMA; OEA. **Projeto de Gerenciamento Integrado das Atividades Desenvolvidas em Terra na Bacia do São Francisco. Sub-projeto 4.4 – Determinação de Subsídios para Procedimentos Operacionais dos Principais Reservatórios da Bacia do Rio São Francisco – PBHSF (2004-2013)**. Resumo Executivo do Relatório final, 2002. 22p.

ANDRADE, C.L.T.; SILVA, A.A.G.; SOUZA, I.R.P.; CONCEIÇÃO, M.A.F. **Coeficientes de cultivo e de irrigação para o caupi**. Parnaíba: EMBRAPA-CNPAl, 1993. 6p. (EMBRAPA-CNPAl. Comunicado Técnico, 9).

ANUÁRIO BRASILEIRO DA FRUTICULTURA 2011. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz, 2011. 128 p.

BARROSO, A.A.F.; VIANA, T.V.A.; MARINHO, B.A.; FILHO, R.R.G.; AZEVEDO, B.M.; COSTA, S.C. **Evapotranspiração e coeficiente de cultivo da bananeira** cv. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada Fortaleza, v.4, n.1, p.23–30, 2010.

BERGER, T; BIRNER, R; DÍAZ, J; MCCARTHY, N; WITTMER, H. **Capturing the complexity of water uses and water users within a multi-agent framework.** Water Resour. Manag, 2007. 21(1): 129-148

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. **Projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional. Relatório de Impacto Ambiental (RIMA).** Brasília, 2004a. Disponível em: <<http://www.integracao.gov.br/saofrancisco/integracao/rima.asp>> Acessado em: 23 mar. 2014.

BRASIL. **Plano Nacional de Recursos Hídricos.** Documento base de referência. Brasília: MMA/SRH/ANA, 2003. 373p.

BRASIL. **Plano Nacional de Recursos Hídricos. Síntese Executiva,** Brasília, DF: MMA/SRH/ANA, 2006(a). 143p.

BRASIL. **Caderno da Região hidrográfica do São Francisco.** Brasília, DF: MMA/SRH, 2006(b). 154p

CABRAL, V. de O. S. **Desenvolvimento Qualitativo da Uva Niágara Rosada cultivada no Norte Fluminense.** 2009, 89 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, RJ, 2009.

CARDOSO, M.J.; MELO, F. de B.; ANDRADE JÚNIOR, A . S. de; ATHAYDE SOBRINHO, A.; RODRIGUES, B. H.N. **Níveis de fósforo, densidades de plantas e eficiência de utilização da água em caupi de portes ramador e moita em areia quartzosa.** In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DE SOLO E ÁGUA, 12., 1998, Fortaleza. **Resumos Expandidos.** Fortaleza:UFC, 1998. p.146.

CHESF - Companhia Hidroelétrica do São Francisco; **Fichas Técnicas das usinas da região Nordeste.** Disponível em: <[http://www.chesf.gov.br/portal/page/portal/chesf\\_portal/paginas/sistema\\_chesf/sistema\\_chesf\\_geracao/container\\_geracao?p\\_name=8A2EEABD3C01D002E0430A803301D002](http://www.chesf.gov.br/portal/page/portal/chesf_portal/paginas/sistema_chesf/sistema_chesf_geracao/container_geracao?p_name=8A2EEABD3C01D002E0430A803301D002)>. Acesso em: 12 de fev. de 2014.

CICOGNA, M. A. **Sistema de Suporte a Decisão para o Planejamento e a Programação da Operação de Sistemas de Energia Elétrica,** Tese PhD, Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003

CODEVASF - Companhia de desenvolvimento dos Vales do São Francisco e Parnaíba; **Elenco de Projetos**. Disponível em: <<http://www.codevasf.gov.br/principal/perimetros-irrigados/elenco-de-projetos>> Acesso em: 28 de jan. de 2014

COELHO, E. F. **Irrigação da bananeira**. Brasília, DF: Embrapa, 2012.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira: Cana de açúcar (Safr 2013/2014)**. Brasília. 2003.

CUNHA, G. A. P.; QUEIROZ PINTO, A. C.; FERREIRA, F. R. **Origem, Dispersão, Taxonomia e Botânica**. In: GENU, P. J. C; QUEIROZ PINTO, A. C. **A cultura da Mangueira**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 452 p. 2002.

DOMINGUES, R. A. **Aspectos institucionais da gestão dos recursos hídricos: O caso do Submédio São Francisco**. 2006. 192f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2006.

DOORENBOS, J; PRUITT, W.O. **Las necesidades de agua de los cultivos**; FAO irrigation and drainage. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1977. 144 p. (Paper, 24).

DOORENBOS, J. KASSAM, A.H. 1979. **Yield response to water**. FAO Irrig. and Drain. Paper No. 33, FAO, Rome, Italy. 193 pp.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas. Campina Grande**: UFPB, 1994. 306p. Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 33  
DO CARMO, J. F. A. **Evapotranspiração da Cana de açúcar irrigada por gotejamento subsuperficial no Submédio do Vale do São Francisco**. 2013. 86f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro, BA, 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRICA. **Sistemas de Produção da Bananeira irrigada**. 2009. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Banana/BananeiraIrrigada/irrigacao.htm>> Acesso em: 17 de outubro de 2014.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRICA. **Cultivo da Mangueira**. 2010(a). Disponível em: <[http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Manga/CultivodaMangueira\\_2ed/poda.htm](http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Manga/CultivodaMangueira_2ed/poda.htm)> Acesso em: 18 de outubro de 2014.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRICA. **Cultivo da Videira**. 2010(b). Disponível em: <[http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Videira/CultivodaVideira\\_2ed/poda.htm](http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Videira/CultivodaVideira_2ed/poda.htm)> Acesso em: 18 de outubro de 2014.



[http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Uva/CultivodaVideira\\_2ed/referencias.html](http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Uva/CultivodaVideira_2ed/referencias.html)> Acesso em: 20 de outubro de 2014.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRICA. **Sistema de Produção de Uva de Mesa do Norte de Minas Gerais**. 2005(a). Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Uva/MesaNorteMinas/irrigacao.htm>> Acesso em: 20 de outubro de 2014.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRICA. **Sistema de Produção de Milho**. 2012. Disponível em: <[https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p\\_p\\_id=conteudoportlet\\_WAR\\_sistemasdeproducao6\\_1ga1ceportlet&p\\_p\\_lifecycle=0&p\\_p\\_state=normal&p\\_p\\_mode=view&p\\_p\\_col\\_id=column-1&p\\_p\\_col\\_count=1&p\\_r\\_p\\_-76293187\\_sistemaProducaoId=3821&p\\_r\\_p\\_-996514994\\_topicId=3725](https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistemasdeproducao6_1ga1ceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&p_r_p_-76293187_sistemaProducaoId=3821&p_r_p_-996514994_topicId=3725)> Acesso em: 14 de dezembro de 2014.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRICA. **Sistemas de Produção: Cultivo do Feijoeiro Comum**. 2003. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Feijao/CultivodoFeijoeiro/index.htm>> Acesso em: 16 de dezembro de 2014.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRICA. **Sistemas de Produção: Cultivo do Feijão Irrigado na Região do Noroeste de Minas Gerais**. 2005(b). Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Feijao/FeijaoIrrigadoNoroesteMG/index.htm>> Acesso em: 16 de dezembro de 2014.

FANCELLI, A.L.; DOURADO-NETO, D. **Produção de Milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 360 p. In PORTO, A. P. F. Cultivares de milho submetidos a diferentes espaçamentos e manejos de capinas no planalto da conquista – BA. 2010. 89 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, BA, 2010.

FAO. Food and Agriculture Organization. **Milho: Principais países produtores**. 2006. Disponível em: <[www.fao.org](http://www.fao.org)>. Acesso em: jan.2010. In PORTO, A. P. F. Cultivares de milho submetidos a diferentes espaçamentos e manejos de capinas no planalto da conquista – BA. 2010. 89 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, BA, 2010.

FREITAS, W. S.; RAMOS, M. M.; COSTA, S. L. **Demanda de Irrigação da cultura da banana na bacia do rio São Francisco**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 12, n. 04, p. 343-349, 2007.

GLEICK, P. H. **The changing water paradigm: a look at twenty-first century water resources development**, *Water Inter.*, 25(1), 127–138, 2000.

GOVERNO DO ESTADO DA BAHIA. **Plano de desenvolvimento do APL de Fruticultura do Vale do São Francisco** – Bahia. Salvador, BA, 2008. 31p.

HARGREAVES, G.L.; RILEY, J.P. **Agricultural benefits for Senegal River Basin**. *J. Irrigation and Drainage Engr.*, ASCE 111:113-124. 1985.

HOEKSTRA, A. Y.; HUNG, P. Q. **Virtual Water Trade: A Quantification of Virtual Water Flows between Nations in Relation to International Crop Trade**. Unesco/IHE, Value os Water, Research Report Series, n.11, sept, 2002.

IBGE-**SIDRA**. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br>. Acesso em: 25 mai. 2012. In SANTOS, M. S. **Irrigação com Déficit hídrico controlado na cultura da mangueira no semiárido baiano**. 2012. 94 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2012.

IBGE - **Sidra**. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/agric> > Acesso em: 29 set. 2009. In EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRICA. **Cultivo da Videira**. 2010(b). Disponível em: <[http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Uva/CultivodaVideira\\_a\\_2ed/referencias.html](http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Uva/CultivodaVideira_a_2ed/referencias.html)> Acesso em: 20 de outubro de 2014.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. Disponível em:<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/acervo/acervo2.asp?e=v&p=LA&z=t&o=26>. Acesso em: 19 de setembro de 2014.

LIMA, J.P.R.; MIRANDA, E.A. **Fruticultura irrigada no vale do São Francisco: incorporação tecnológica, competitiva e sustentabilidade**. *Revista Econômica do Nordeste*, Fortaleza, v. 32, p. 611-632, 2001. Número especial.

MACHADO, R. **Sistemas de produção orgânicos para a soca da cultura da cana de açúcar (SACCHARUM SPP), consorciado com milho (ZEA MAYS), feijão (PHASEOLUS VULGARIS) e mandioca (MANIHOT ESCULENTA)**. 2008. 103 f. Dissertação (Mestrado em Agroecologia e Desenvolvimento Rural) – Universidade Federal de São Carlos, Araras, SP, 2008.

MACHADO, B. G. de F. **Análise econômica aplicada à decisão sobre alocação de água entre os usos irrigação e produção de energia elétrica: O caso da bacia do rio Preto**. 2019. 160 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2009.

MANTOVANI, E. C. **Otimização do uso da água e energia utilizando o programa IRRIGA-GESAI®**. Apostila do curso de manejo de irrigação realizado de 24 a 27 de agosto de 2004. Viçosa, MG. 2004.

MARINATO, R. **Irrigação da bananeira**. Informe Agropecuário, v.6 n.63, p.42-45, 1980.

MASCARENHAS, A. C. M. **Conflitos e gestão de águas: o caso da bacia hidrográfica do rio São Francisco**. Dissertação (Mestrado em

Desenvolvimento Sustentável). Brasília/DF: Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, 2008.

MEDEIROS, S. de S. **Indicadores para gerenciamento do uso da água no perímetro irrigado de Pirapora - MG**. 2002. 125 f. Dissertação (Mestrado Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2002.

MENSACK, M.M.; FITZGERALD, V.K.; RYAN, E.P.; LEWIS, M.R.; THOMPSON, H.J.; BRICK, M.A. **Evaluation of diversity among common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) from two centers of domestication using „omics” technologies**. **BMC Genomics**, v.11, p.1-33, 2010.

MOSTERT, P.G., WANTENAAR, L., 1994. **Water needs and irrigation of mature mango trees**. S.A. Mango Growers'Assoc. Yearbook 14, 21–23.  
MUBAKO, S.T; RUDDELL, B.L; MAYER, A. **The Relationship between Water Withdrawals and Freshwater Ecosystem Water Scarcity Quantified at Multiple Scales for a Great Lakes Watershed**, J. Water Resour. Plann. Manage, v. 139, p. 671-681, 2013.

MOURA, B. R. de. **Avaliação do uso da água em fruteiras irrigadas no projeto Jaíba**. 2007. 115 f. Dissertação (Mestrado Meteorologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2007.

NASCIMENTO, F.R. **Categorização de usos múltiplos dos recursos hídricos e problemas ambientais**. In revista da Anpege, v. 7, n. 1, número especial. pp. 81-97, Goiânia: GO, 2011.

NASCIMENTO, P. dos S. **Análise do uso da curva de retenção de água no solo determinada por diferentes métodos e planilha para manejo da irrigação**. 2009. 93 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, BA, 2009.

NICÁCIO, R. M. **Evapotranspiração real e umidade do solo usando dados de sensores orbitais e a metodologia SEBAL na bacia do rio São Francisco**. 2006. 337f. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil) – Universidade federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2008.

OLIVEIRA, F.A.; SILVA, J.I.S.; CAMPOS, T.G. **Evapotranspiração e desenvolvimento radicular do milho irrigado**. *Pesq. Agropec. Bras.*, 28:1407-1415, 1993.

ONS. **Relatório Mensal de Previsão de Vazões e Geração de Cenários de Afluências**. Operador Nacional do Sistema Elétrico, Rio de Janeiro, Brasil. 58p. 2008. Disponível em <[www.ons.org.br](http://www.ons.org.br)>. Acesso em janeiro de 2015.

PEREIRA, S. B. **Evaporação no lago de Sobradinho e disponibilidade hídrica no rio São Francisco**. Viçosa, 2004. 105p. Tese (Doutorado) -

Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola. Universidade Federal de Viçosa, 2004.

PLANVASF. **Programa para o Desenvolvimento da Pesca e da Aqüicultura / Plano Diretor para o Desenvolvimento do Vale do São Francisco**. Brasília: PLANVASF, 1989, 192 p.

PORTO, A. P. F. **Cultivares de milho submetidos a diferentes espaçamentos e manejos de capinas no planalto da conquista – BA**. 2010. 89 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, BA, 2010.

PRUITT, W.O.; DOORENBOS, J. **Background and Development of Methods to Predict Reference Crop Evapotranspiration (ET<sub>o</sub>)**. Appendix II in FAO-ID-24, pp 108-119. 1977.

ROBINSON, J. C.; ALBERTS, A. J. **Seasonal variations in the crop water-use coefficient of banana (cultivar William) in the subtropics**. Scientia Horticulturae, v.40, n.3, p.215-225, 1989.

RODRIGUEZ, R.D.G. **Metodologia para Estimativa de Demandas e Disponibilidades Hídricas: estudo de caso da Bacia do Paracatu**. Viçosa, 2004. Dissertação (mestrado). Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola. Universidade Federal de Viçosa, 2004.

SANTOS, M. S. **Irrigação com Déficit hídrico controlado na cultura da mangueira no semiárido baiano**. 2012. 94 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2012.

SHIKLOMANOV, I. A.: **Appraisal and Assessment of World Water Resources**, Water Int., 25(1),11–32, 2000.

SINGH, P. N.; SHUKLA, S. K.; BHATNAGAR, V. K. **Optimizing soil moisture regime to increase water use efficiency of sugarcane (*Saccharum*spp. hybrid complex) in subtropical India**. Agricultural Water Management, Amsterdam, v. 90, p. 95-100, 2007.

SILVA, G. M. B. **Formação de um painel de diversidade genética em feijão comum**. 2011. 57 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura tropical e Subtropical) – Instituto Agrônômico de Campinas, Campinas, SP, 2011.

SILVA, T. G. F.; MOURA, M. S. B.; ZOLNIER, S.; SOARES, J. M.; VIEIRA, V. J. S.; JUNIOR, W. F. G. **Requerimento hídrico e coeficiente de cultura da cana-de-açúcar irrigada no semiárido brasileiro**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande. v.16, n.1, p.64–71, 2012.

**SIMPÓSIO DE MANGA DO VALE DO SÃO FRANCISCO**, 1., 2005, Juazeiro, BA, Palestras... Petrolina, PE: EMBRAPA Semiárido, 2005(c). (Embrapa Semiárido. Documentos, 189) 1 CD-Rom.

SOUSA, J.S.I. **Uvas para o Brasil**. 2.ed. Piracicaba: FEALQ, 1996. In CABRAL, V. de O. S. Desenvolvimento Qualitativo da Uva Niágara Rosada cultivada no Norte Fluminense. 2009, 89 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, RJ, 2009.

SOUZA, L. S. B.; MOURA, M. S. B.; SEDIYAMA, G. C.; SILVA, T. G. F. S. da; BRANDÃO, E. O.; **Determinação do coeficiente de cultura do milho** (*Zea mays* L.) sob condições de semiárido brasileiro, 2008.

TEIXEIRA, A. H. C.; AZEVEDO, P. V.; SILVA, B. B.; SOARES, J. M. **Consumo hídrico e coeficiente de cultura da videira na região de Petrolina, PE**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.3, n.3, p.413-416, 1999.

TEIXEIRA, A. H. C.; BASTIAANSEN, W. G. M.; BASSOI, L. H. **Crop water parameters of irrigated wine and table grapes to support water productivity analysis in the Sao Francisco river basin, Brazil**. *Agricultural Water Management*, Amsterdam, v. 94, p. 31–42, 2007.

TEIXEIRA, A. H. de C., BASTIAANSEN, W. G. M.; MOURA, M. S. B., SOARES, J. M., AHMAD, M. D.; BOS, M. G. **Energy and water balance measurements for water productivity analysis in irrigated mango trees, Northeast Brazil**. *Agricultural and Forest Meteorology*, Amsterdam, v. 148, p. 1524-1537, 2008.

## **APÊNDICES**

## APÊNDICE A

- Cultura da Banana

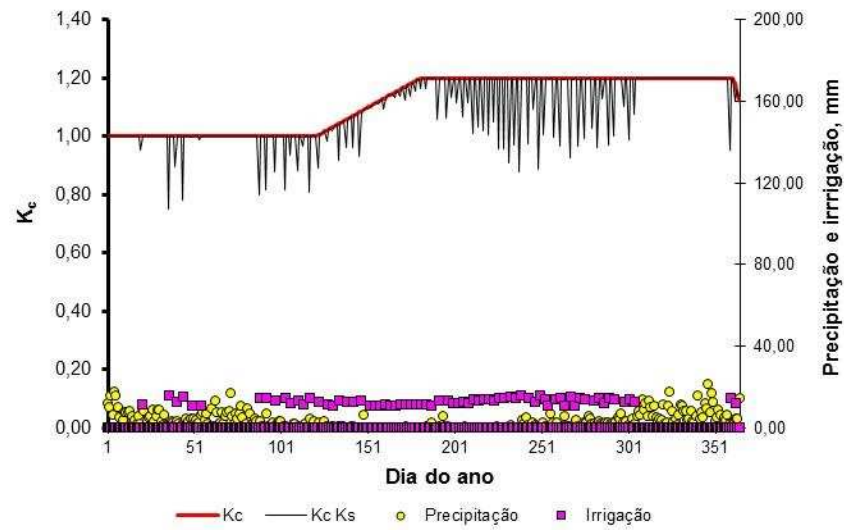


Figura A1 - Coeficiente de cultura ( $K_c$ ), Precipitação e Irrigação na cultura da Banana para Pirapora - MG.

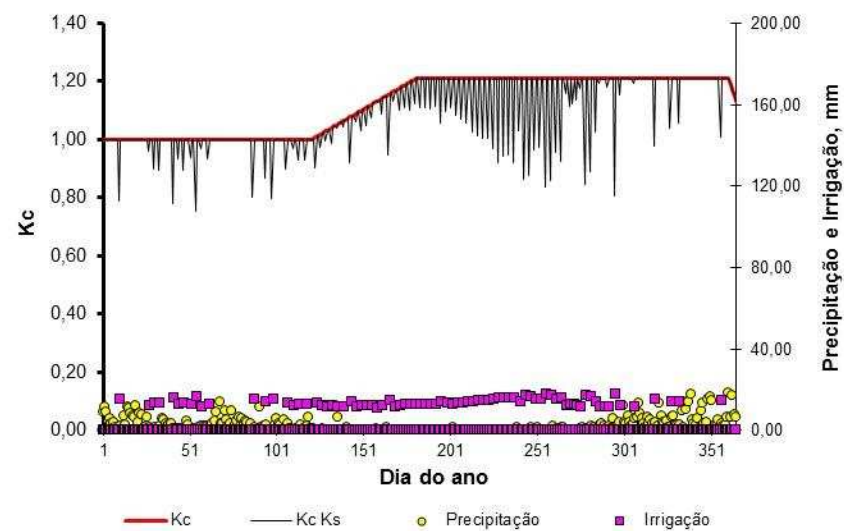


Figura A2 - Coeficiente de cultura ( $K_c$ ), Precipitação e Irrigação na cultura da Banana para Jaíba - MG.

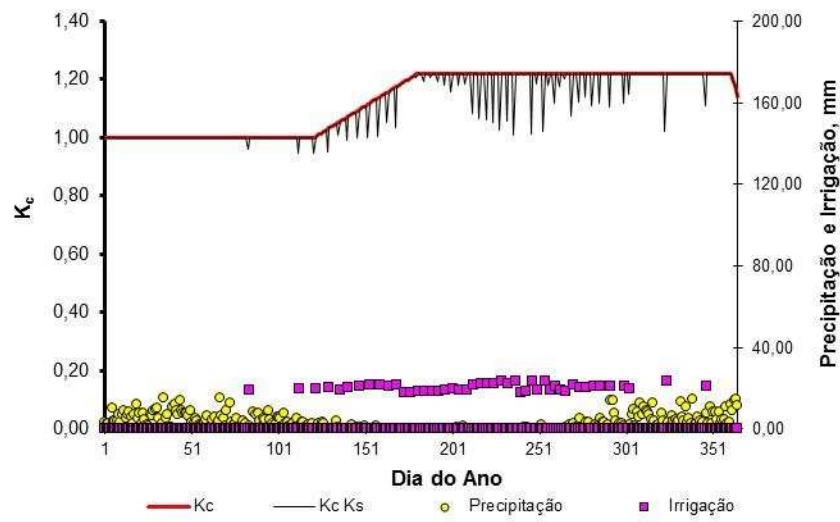


Figura A3 - Coeficiente de cultura ( $K_c$ ), Precipitação e Irrigação na cultura da Banana para Barreiras - BA.

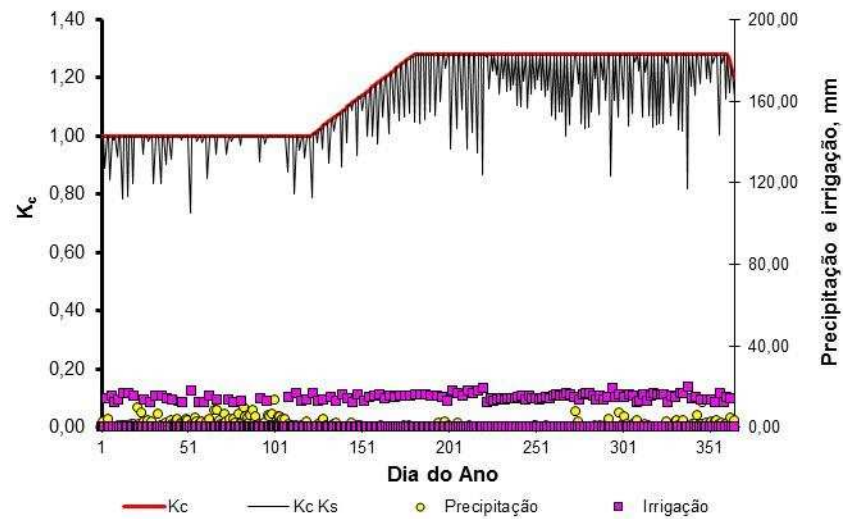


Figura A4 - Coeficiente de cultura ( $K_c$ ), Precipitação e Irrigação na cultura da Banana para Petrolina - PE.



## APÊNDICE B

- Cultura da Manga

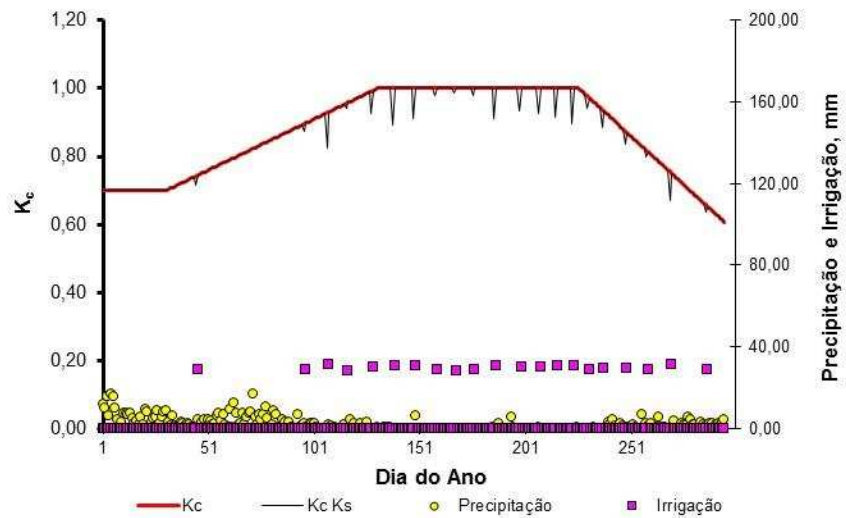


Figura B1 - Coeficiente de cultura ( $K_c$ ), Precipitação e Irrigação na cultura da Manga para Pirapora – MG

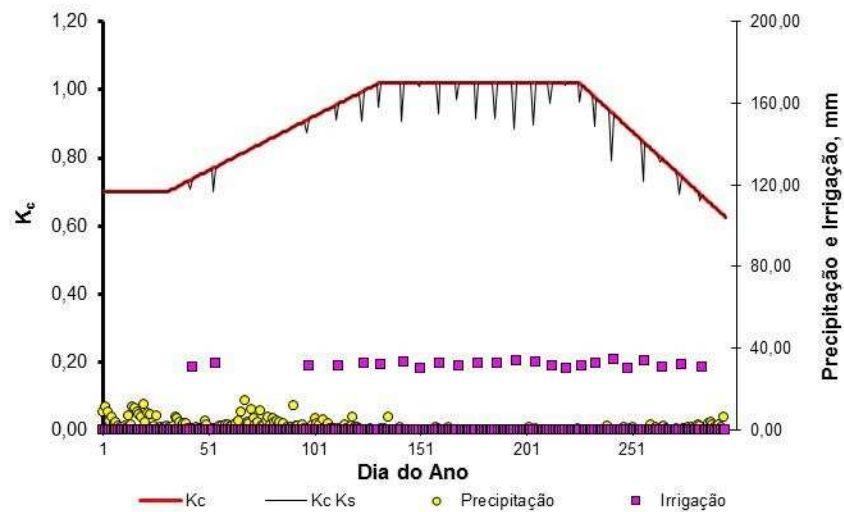


Figura B2 - Coeficiente de cultura ( $K_c$ ), Precipitação e Irrigação na cultura da Manga para Jaíba – MG

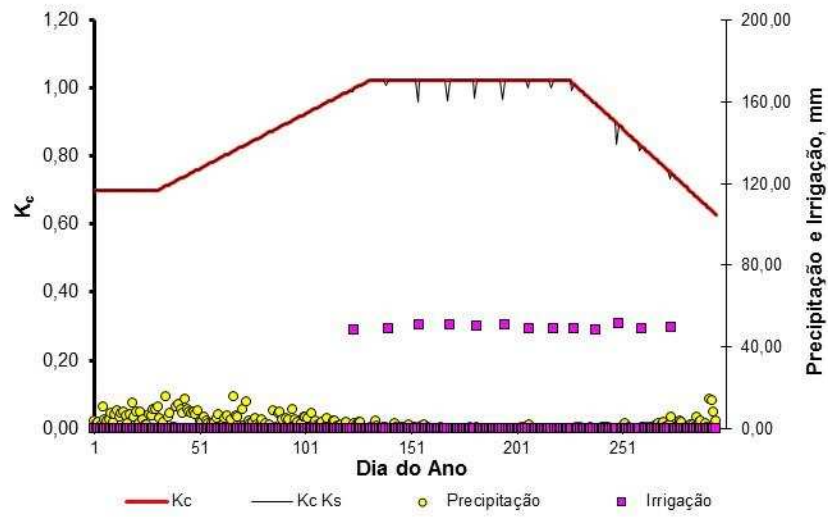


Figura B3 - Coeficiente de cultura (Kc), Precipitação e Irrigação na cultura da Manga para Barreiras – MG

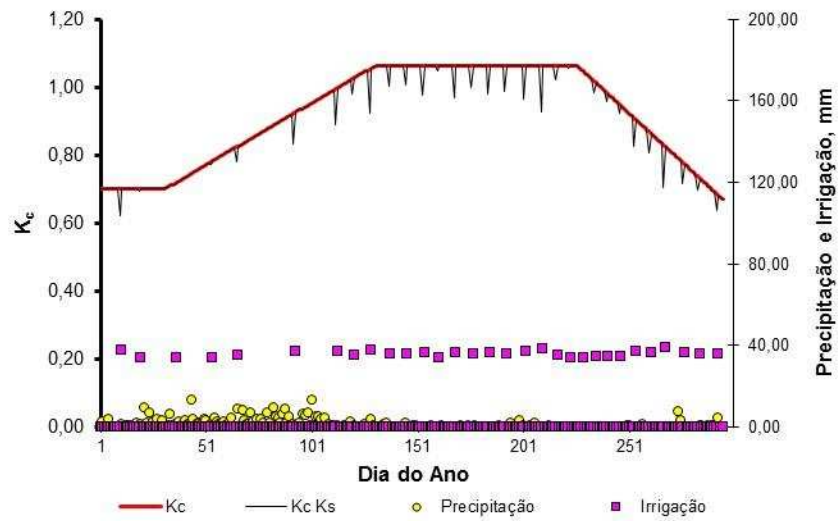


Figura B4 – Coeficiente de cultura (Kc), Precipitação e Irrigação na cultura da Manga para Petrolina – PE

## APÊNDICE C

- Cultura da Uva

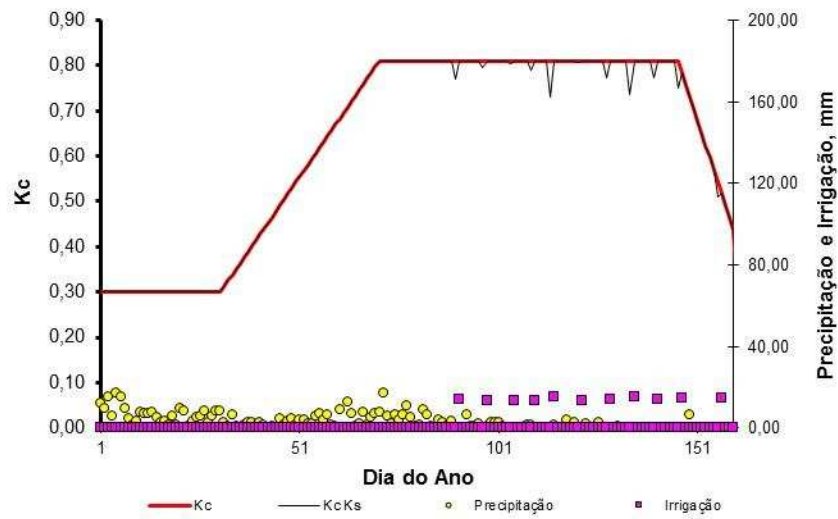


Figura C1 - Coeficiente de cultura ( $K_c$ ), Precipitação e Irrigação na cultura da Uva (1ª Poda) para Pirapora - MG

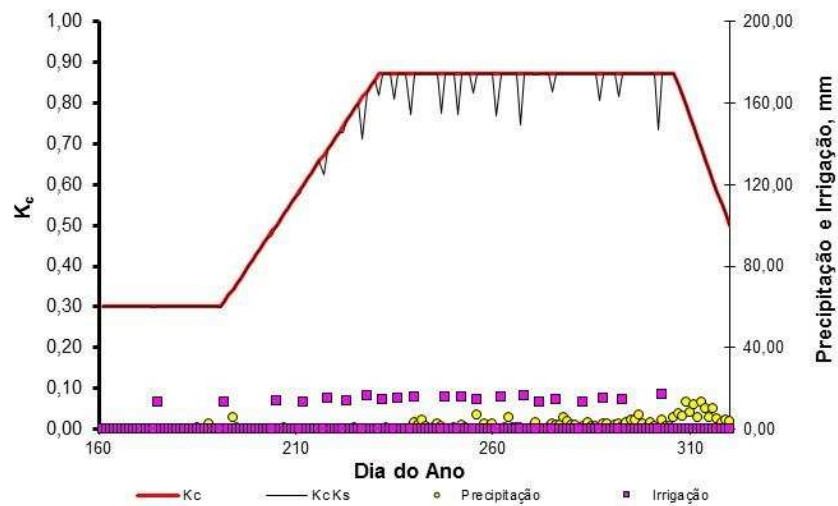


Figura C240 - Coeficiente de cultura ( $K_c$ ), Precipitação e Irrigação na cultura da Uva (2ª Poda) para Pirapora - MG

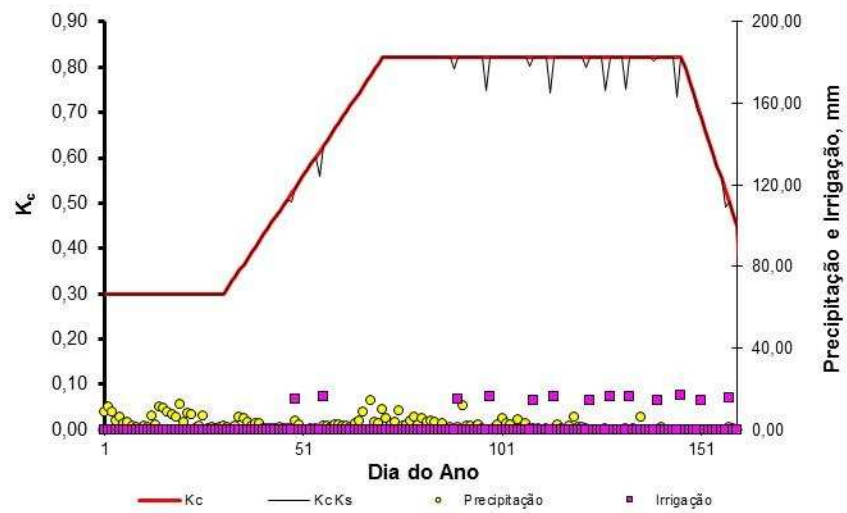


Figura 41 - Coeficiente de cultura (Kc), Precipitação e Irrigação na cultura da Uva (1º Poda) para Jaíba - MG

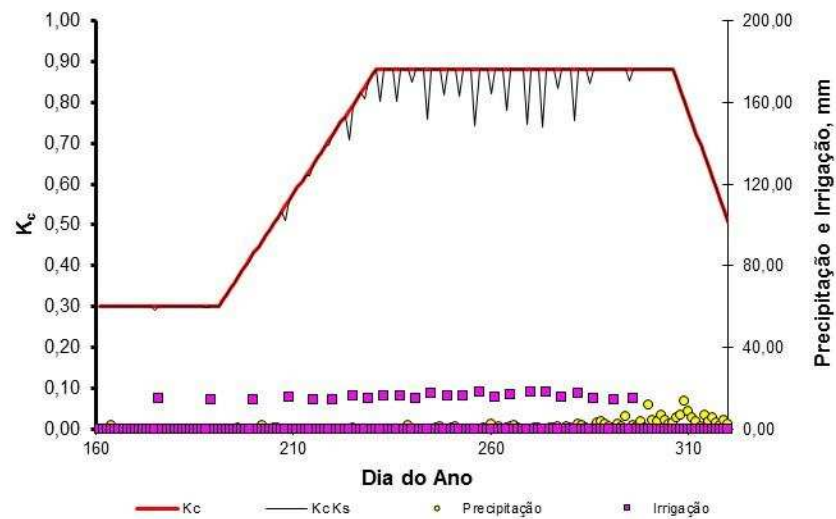


Figura C4 - Coeficiente de cultura (Kc), Precipitação e Irrigação na cultura da Uva (2º Poda) para Jaíba - MG

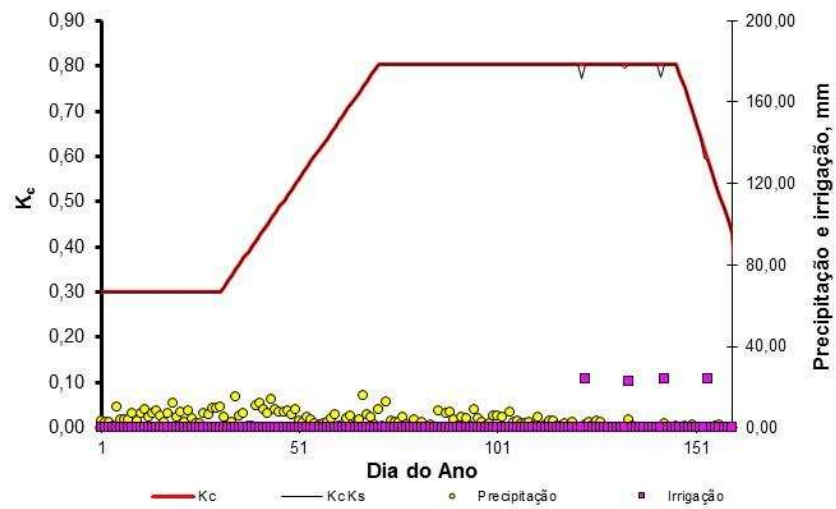


Figura C5 - Coeficiente de cultura (Kc), Precipitação e Irrigação na cultura da Uva (1ª Poda) para Barreiras - BA

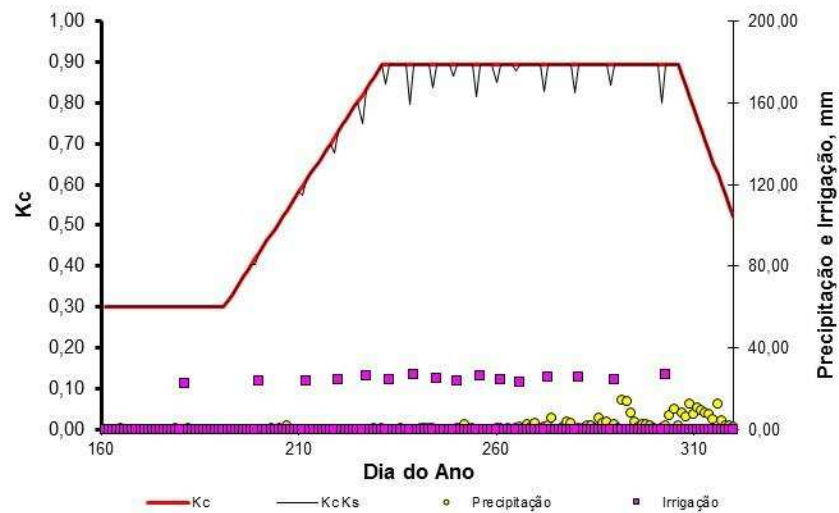


Figura C6 - Coeficiente de cultura (Kc), Precipitação e Irrigação na cultura da Uva (2ª Poda) para Barreiras - BA

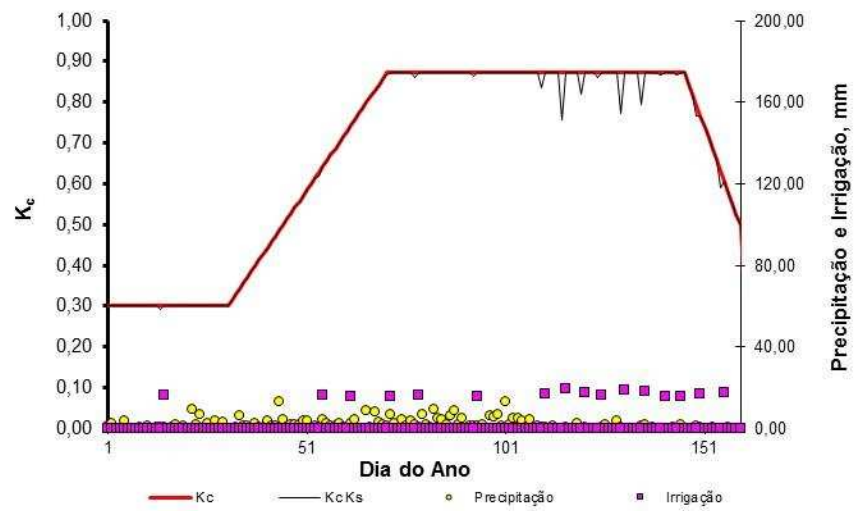


Figura C742 - Coeficiente de cultura (Kc), Precipitação e Irrigação na cultura da Uva (1ª Poda) para Petrolina - MG

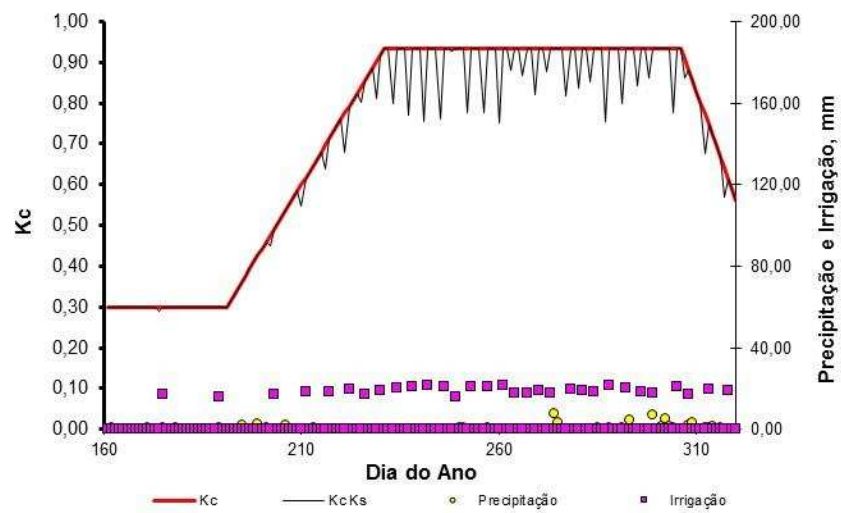


Figura C8 - Coeficiente de cultura (Kc), Precipitação e Irrigação na cultura da Uva (2ª Poda) para Petrolina - MG

## APÊNDICE D

- Cultura da Cana de açúcar

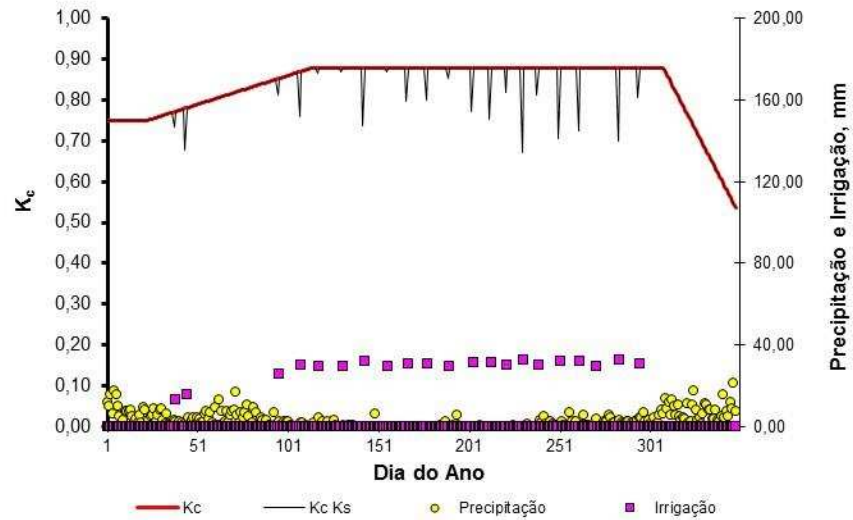


Figura D1 - Coeficiente de cultura ( $K_c$ ), Precipitação e Irrigação na cultura da Cana de açúcar para Pirapora – MG

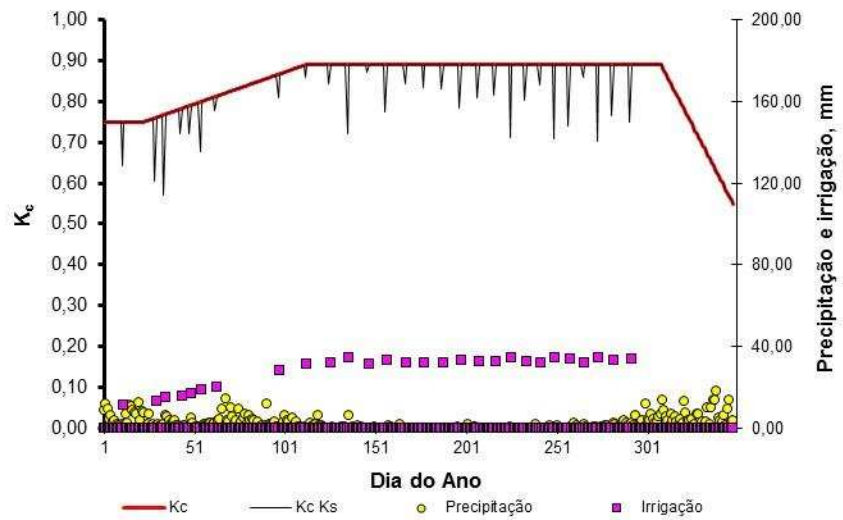


Figura D2 - Coeficiente de cultura ( $K_c$ ), Precipitação e Irrigação na cultura da Cana de açúcar para Jaíba – MG

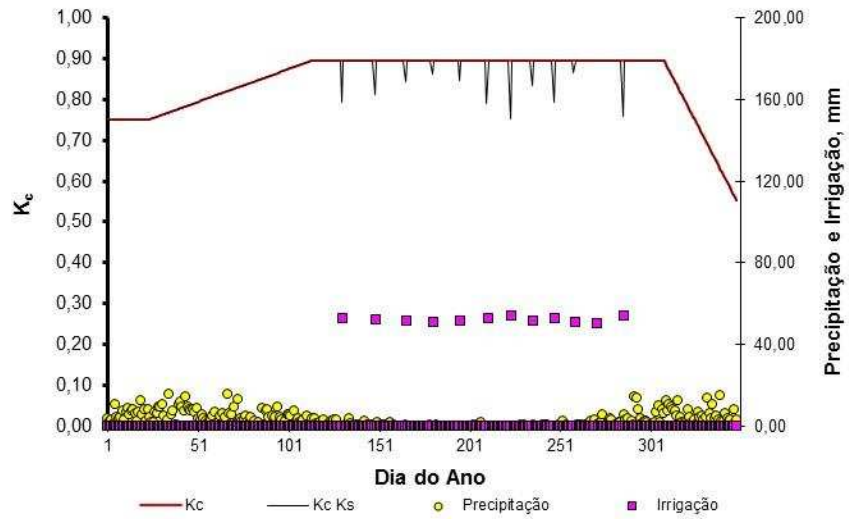


Figura D3 - Coeficiente de cultura ( $K_c$ ), Precipitação e Irrigação na cultura da Cana de açúcar para Barreiras – BA

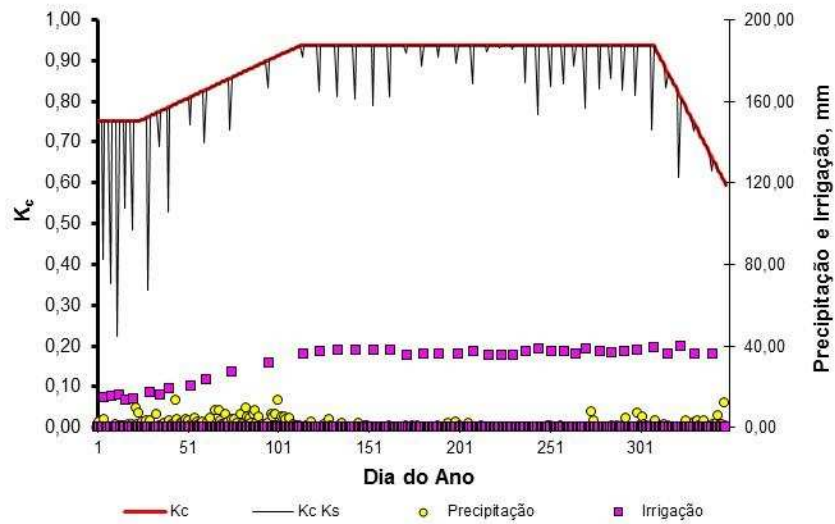


Figura D4 - Coeficiente de cultura ( $K_c$ ), Precipitação e Irrigação na cultura da Cana de açúcar para Petrolina – Pe



## APÊNDICE E

- Cultura do Milho

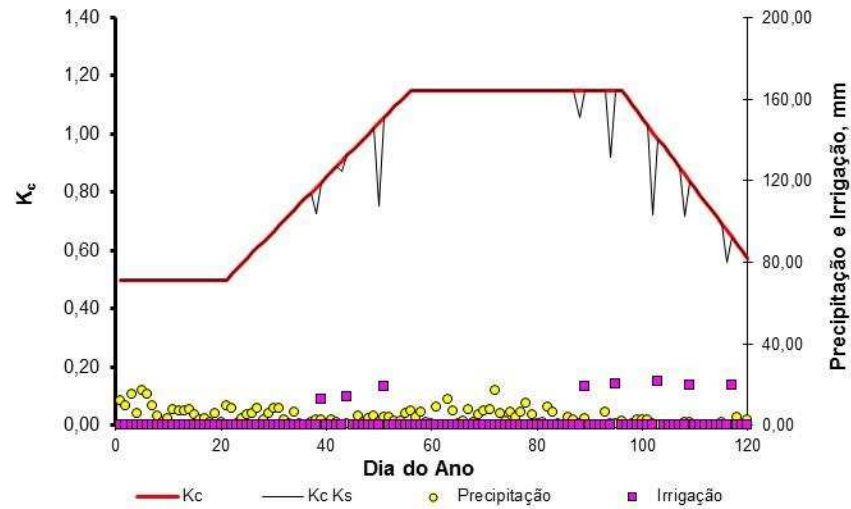


Figura E1 - Coeficiente de cultura ( $K_c$ ), Precipitação e Irrigação na cultura do Milho (1º Safra) para Pirapora – MG

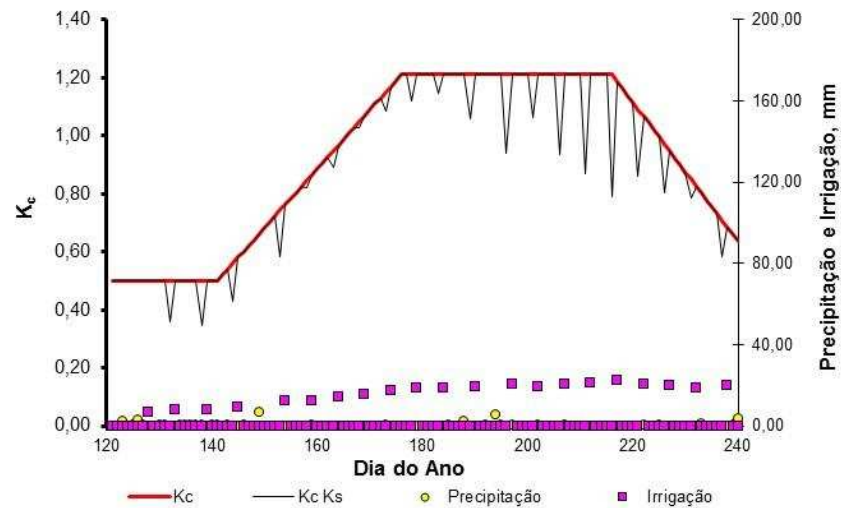


Figura E2 - Coeficiente de cultura ( $K_c$ ), Precipitação e Irrigação na cultura do Milho (2º Safra) para Pirapora – MG

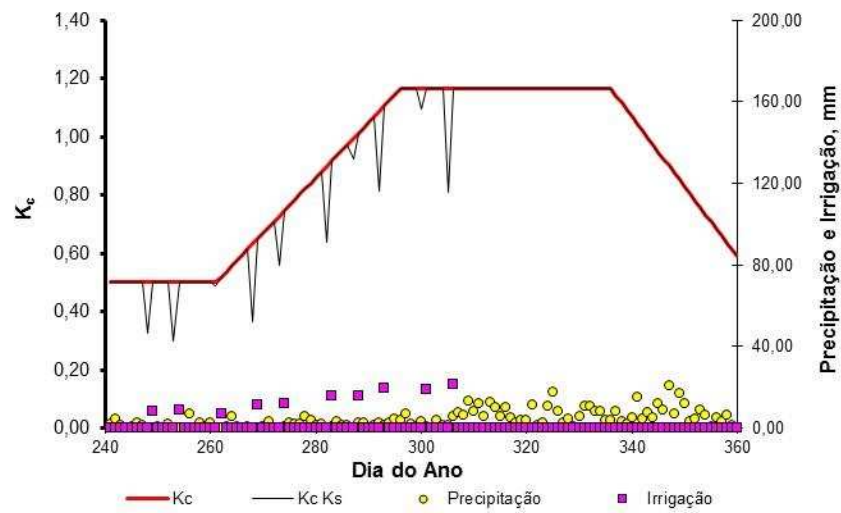


Figura E3 - Coeficiente de cultura ( $K_c$ ), Precipitação e Irrigação na cultura do Milho (3º Safra) para Pirapora – MG

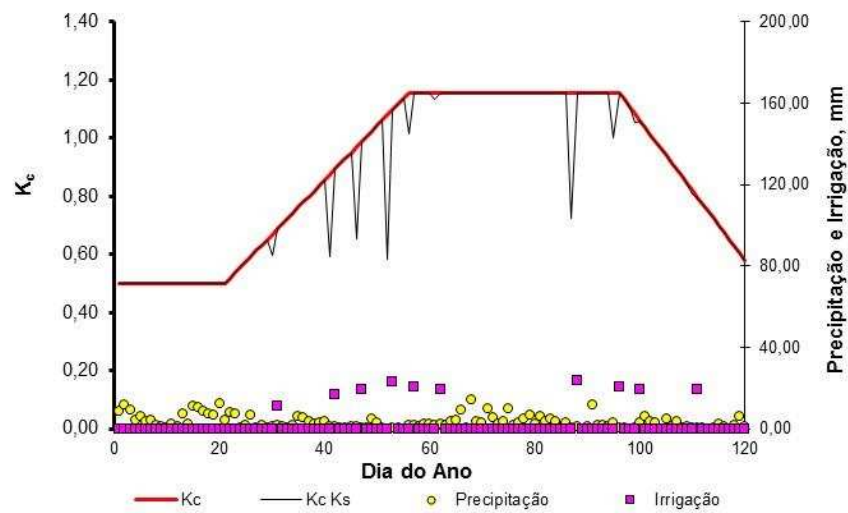


Figura E4 - Coeficiente de cultura ( $K_c$ ), Precipitação e Irrigação na cultura do Milho (1º Safra) para Jaíba – MG

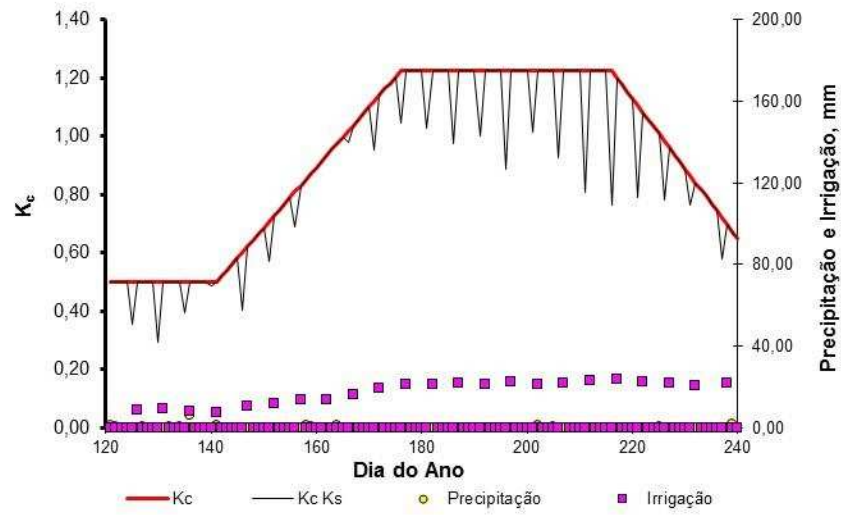


Figura E5 - Coeficiente de cultura (Kc), Precipitação e Irrigação na cultura do Milho (2º Safra) para Jaíba – MG

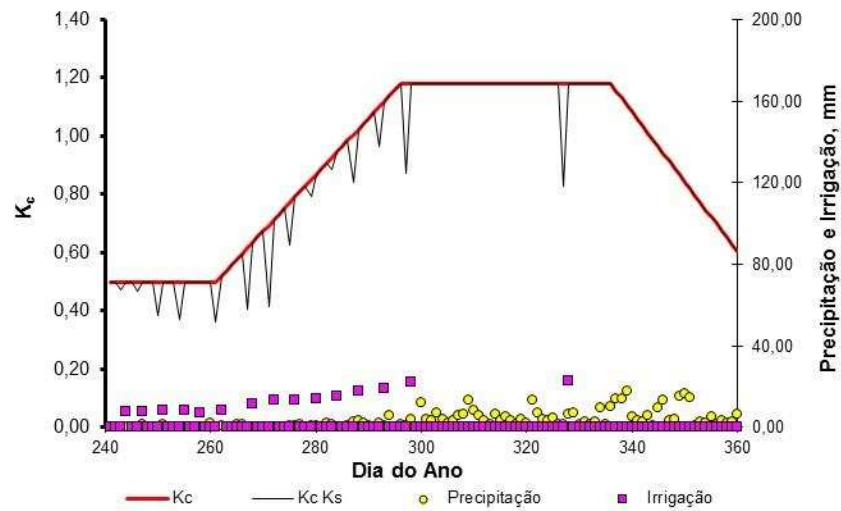


Figura E6 - Coeficiente de cultura (Kc), Precipitação e Irrigação na cultura do Milho (3º Safra) para Jaíba - MG

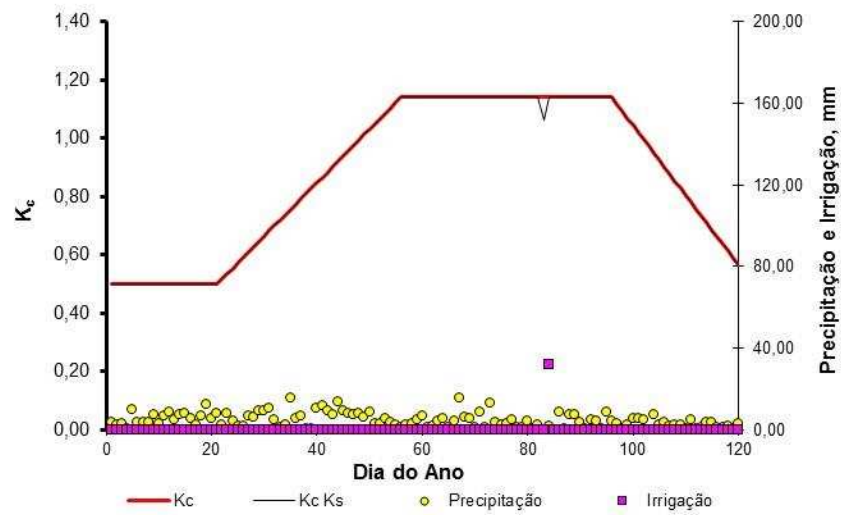


Figura E7 - Coeficiente de cultura (Kc), Precipitação e Irrigação na cultura do Milho (1º Safra) para Barreiras – BA

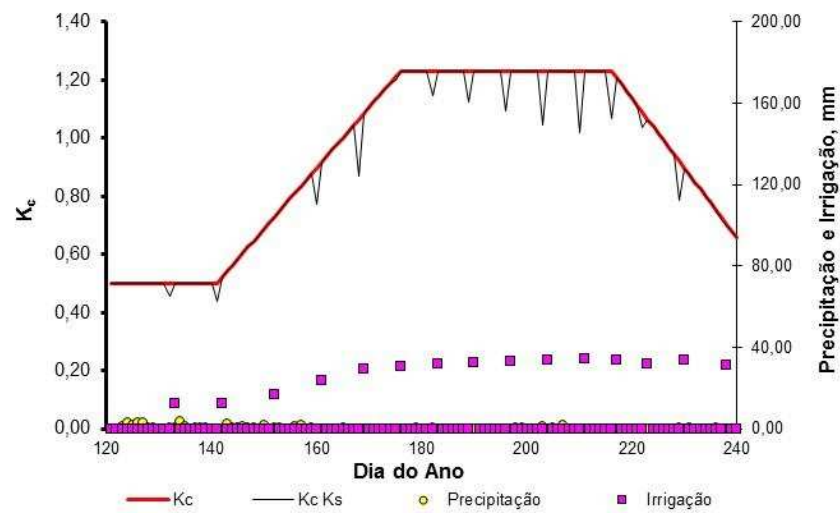


Figura E8 - Coeficiente de cultura (Kc), Precipitação e Irrigação na cultura do Milho (2º Safra) para Barreiras – BA

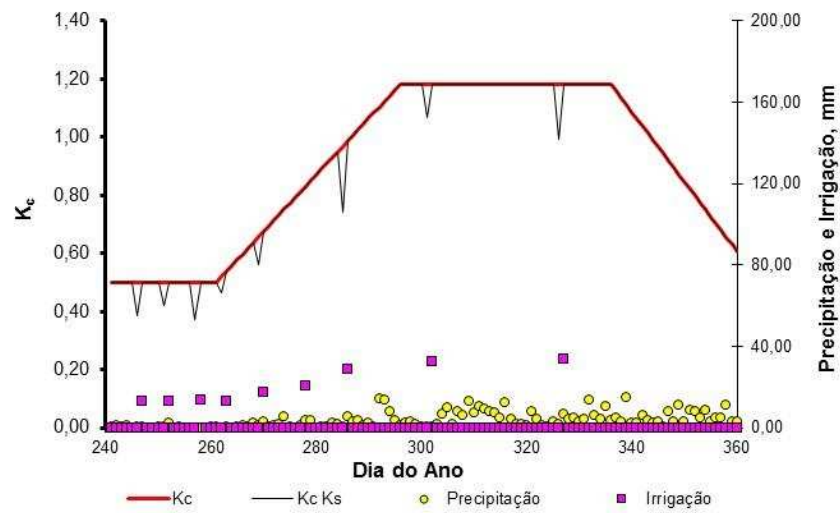


Figura E9 - Coeficiente de cultura ( $K_c$ ), Precipitação e Irrigação na cultura do Milho (3ª Safra) para Barreiras – BA

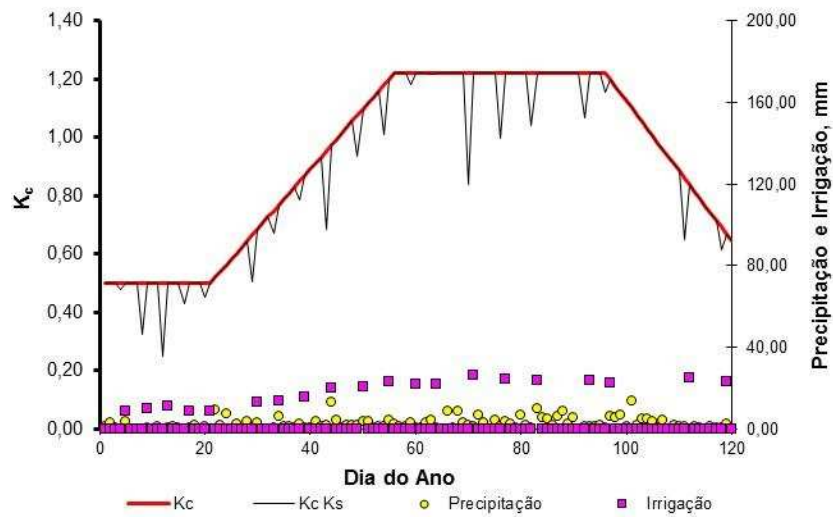


Figura E10 - Coeficiente de cultura ( $K_c$ ), Precipitação e Irrigação na cultura do Milho (1ª Safra) para Petrolina – PE

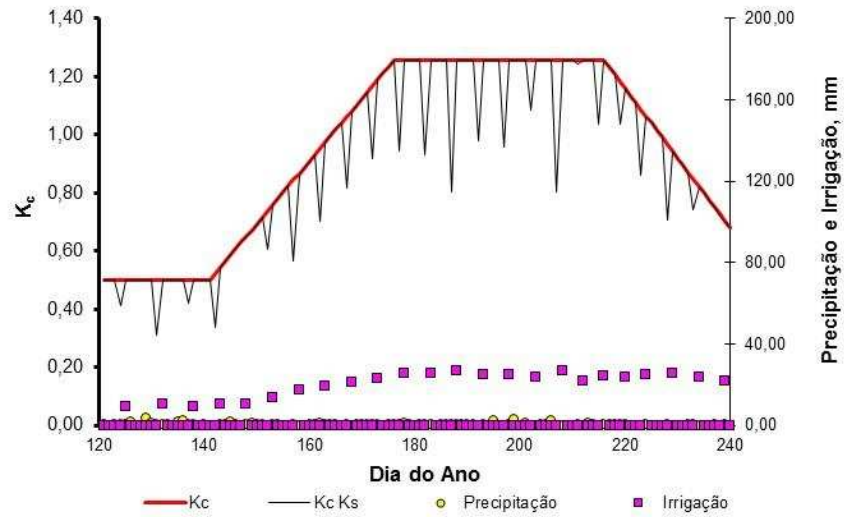


Figura E11 - Coeficiente de cultura (Kc), Precipitação e Irrigação na cultura do Milho (2º Safra) para Petrolina - PE

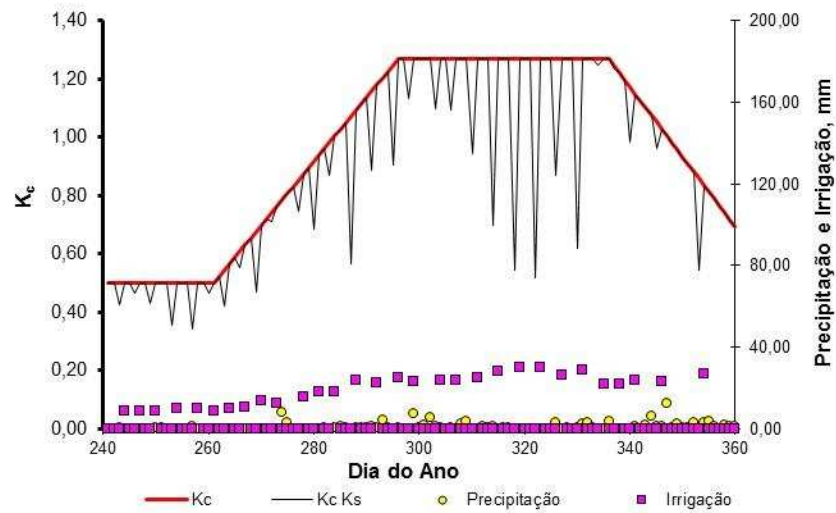


Figura E12 - Coeficiente de cultura (Kc), Precipitação e Irrigação na cultura do Milho (3º Safra) para Petrolina - PE

## APÊNDICE F

- Cultura do Feijão

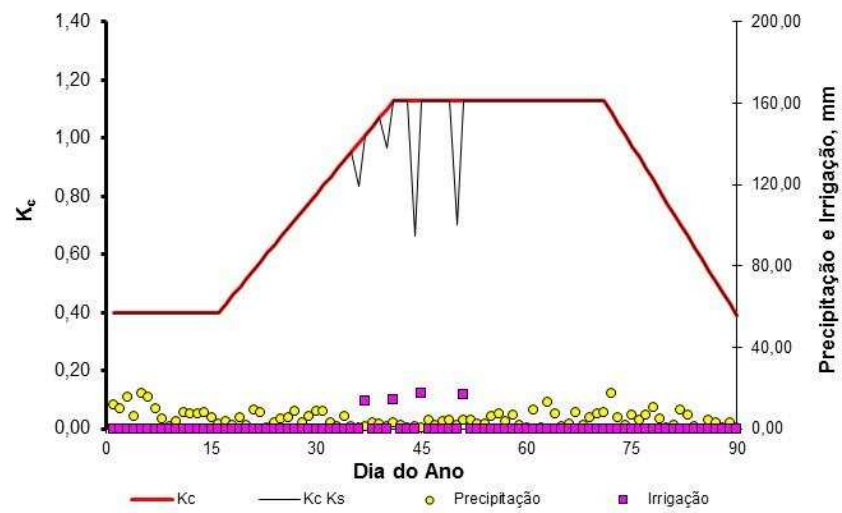


Figura F1 - Coeficiente de cultura ( $K_c$ ), Precipitação e Irrigação na cultura do Feijão (1º Safra) para Pirapora – MG

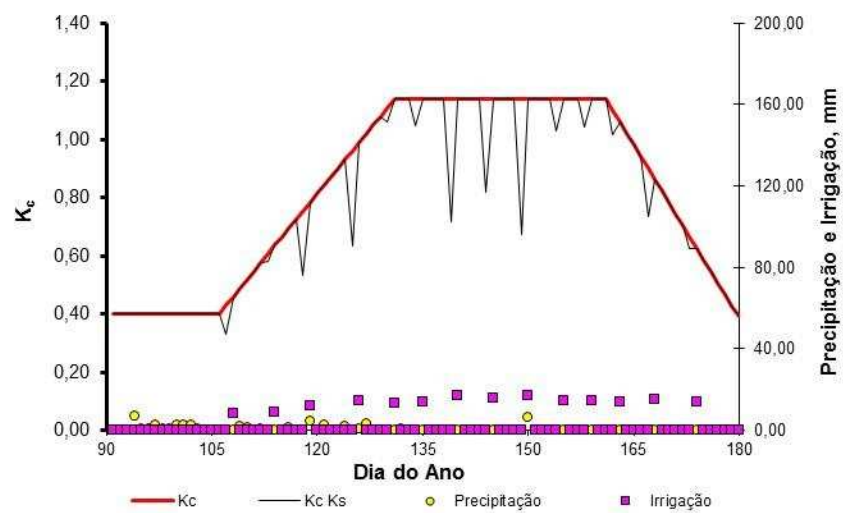


Figura F2 - Coeficiente de cultura ( $K_c$ ), Precipitação e Irrigação na cultura do Feijão (2º Safra) para Pirapora – MG

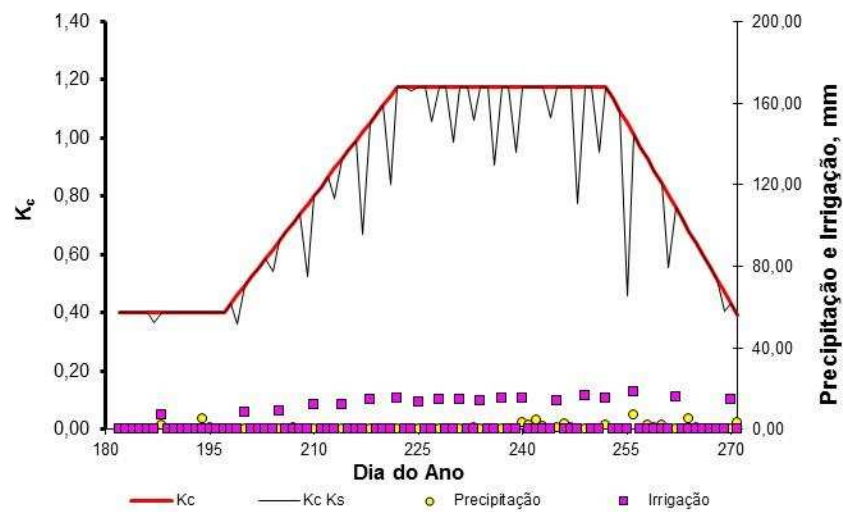


Figura F3 - Coeficiente de cultura (Kc), Precipitação e Irrigação na cultura do Feijão (3º Safra) para Pirapora – MG

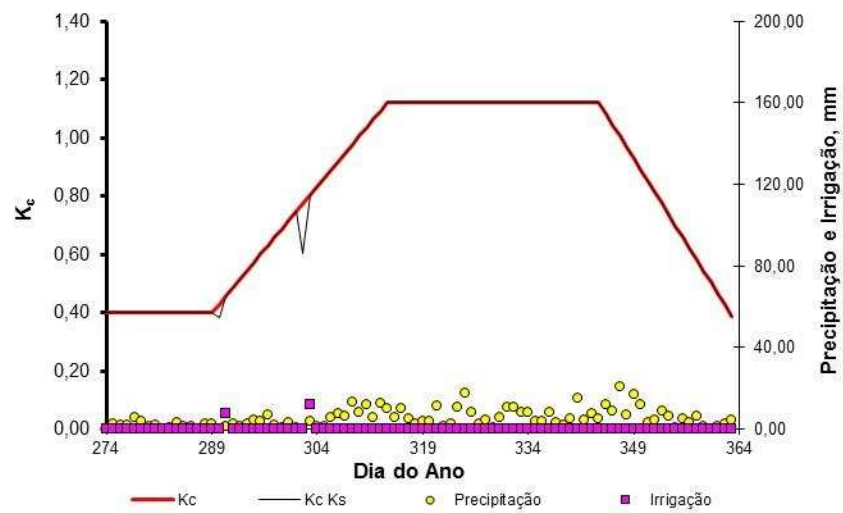


Figura F4 - Coeficiente de cultura (Kc), Precipitação e Irrigação na cultura do Feijão (4º Safra) para Pirapora – MG



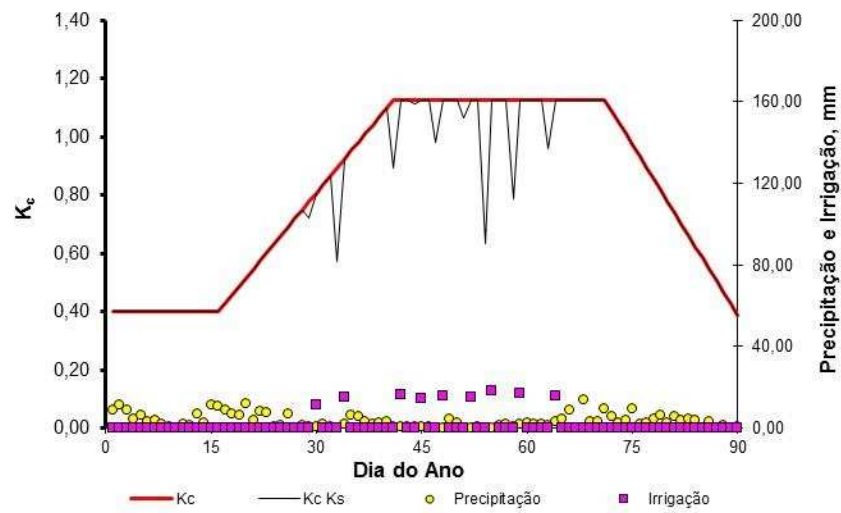


Figura F5 - Coeficiente de cultura (Kc), Precipitação e Irrigação na cultura do Feijão (1º Safra) para Jaíba – MG

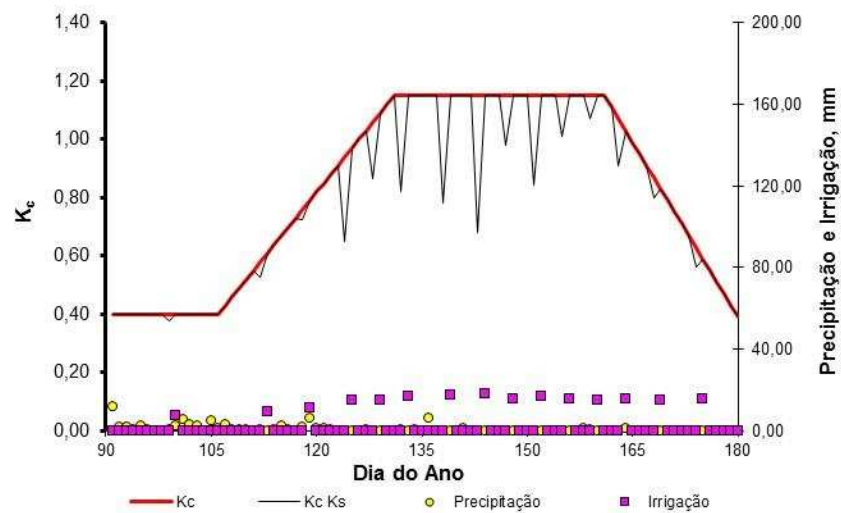


Figura F6 - Coeficiente de cultura (Kc), Precipitação e Irrigação na cultura do Feijão (2º Safra) para Jaíba – MG

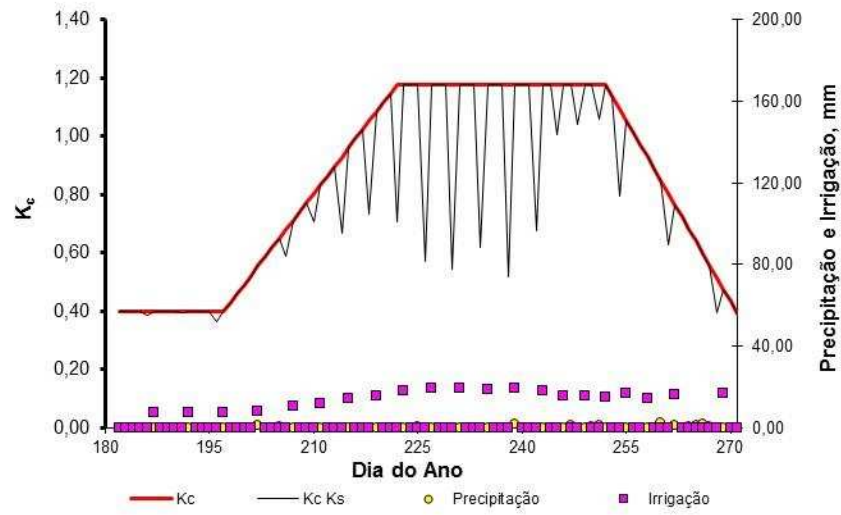


Figura F7 - Coeficiente de cultura (Kc), Precipitação e Irrigação na cultura do Feijão (3ª Safra) para Jaíba – MG

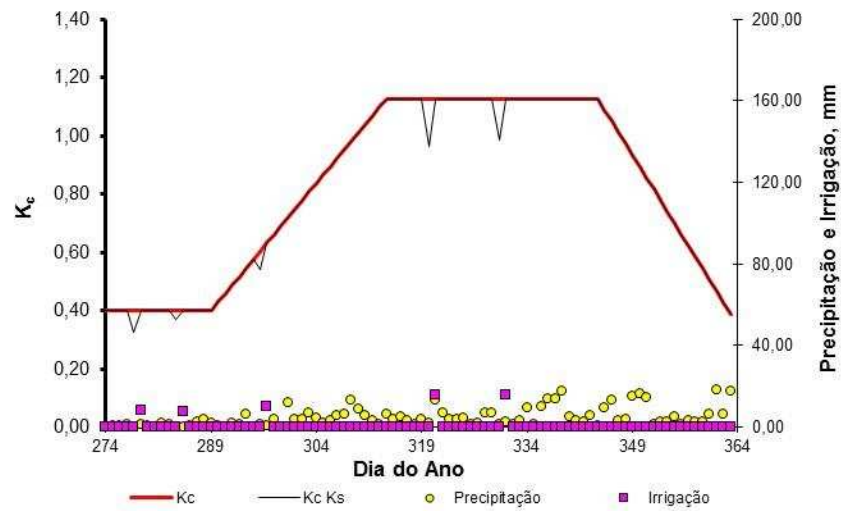


Figura F8 - Coeficiente de cultura (Kc), Precipitação e Irrigação na cultura do Feijão (4ª Safra) para Jaíba – MG

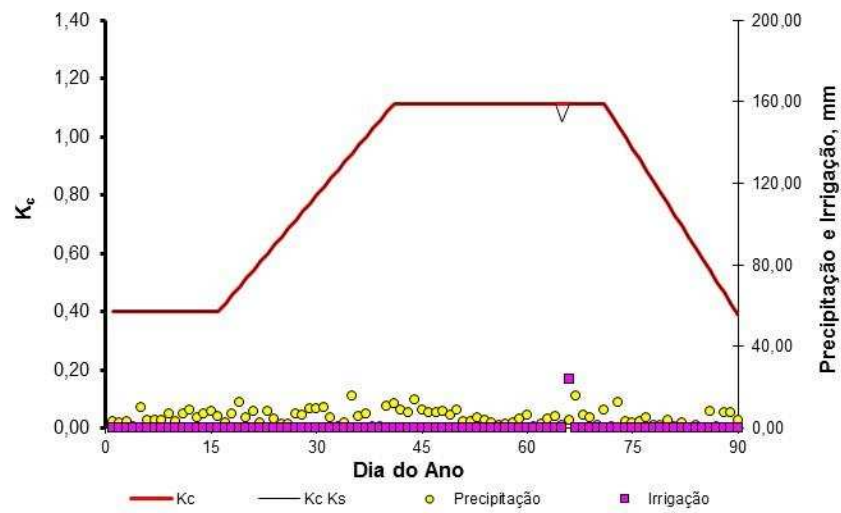


Figura F9 - Coeficiente de cultura ( $K_c$ ), Precipitação e Irrigação na cultura do Feijão (1ª Safra) para Barreiras – BA

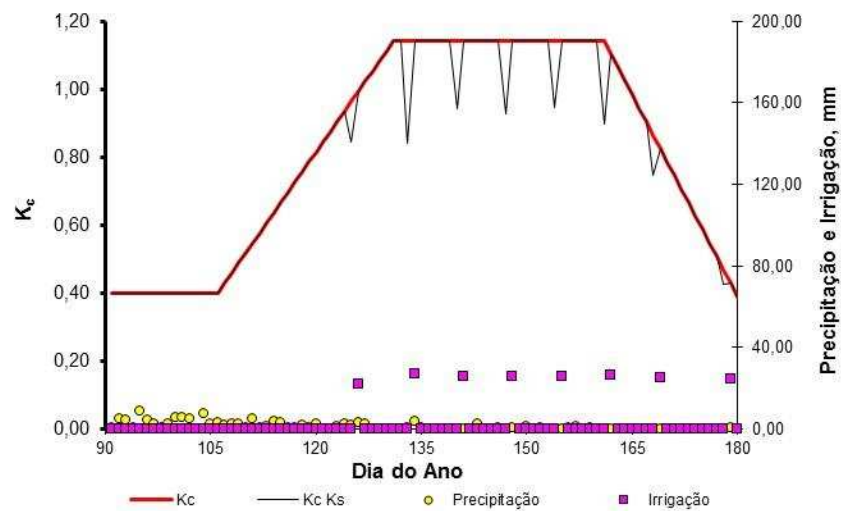


Figura F10 - Coeficiente de cultura ( $K_c$ ), Precipitação e Irrigação na cultura do Feijão (2ª Safra) para Barreiras – BA

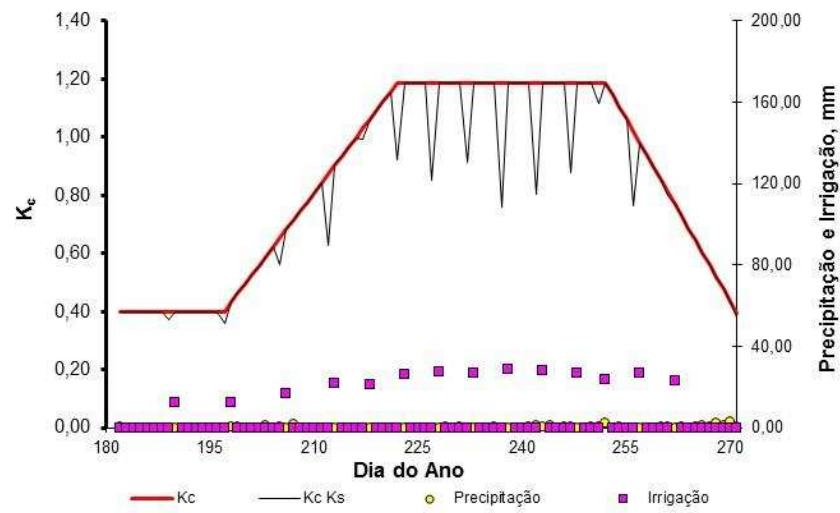


Figura F11 - Coeficiente de cultura (Kc), Precipitação e Irrigação na cultura do Feijão (3º Safra) para Barreiras – BA

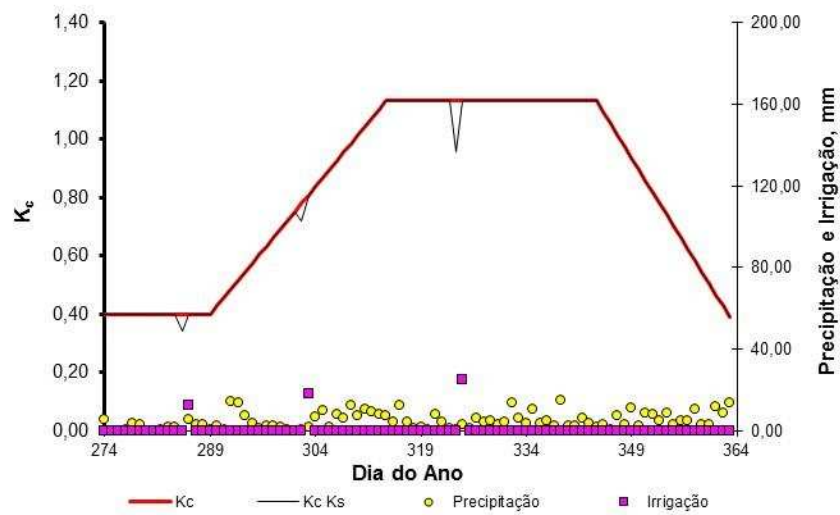


Figura F12 - Coeficiente de cultura (Kc), Precipitação e Irrigação na cultura do Feijão (4º Safra) para Barreiras – BA

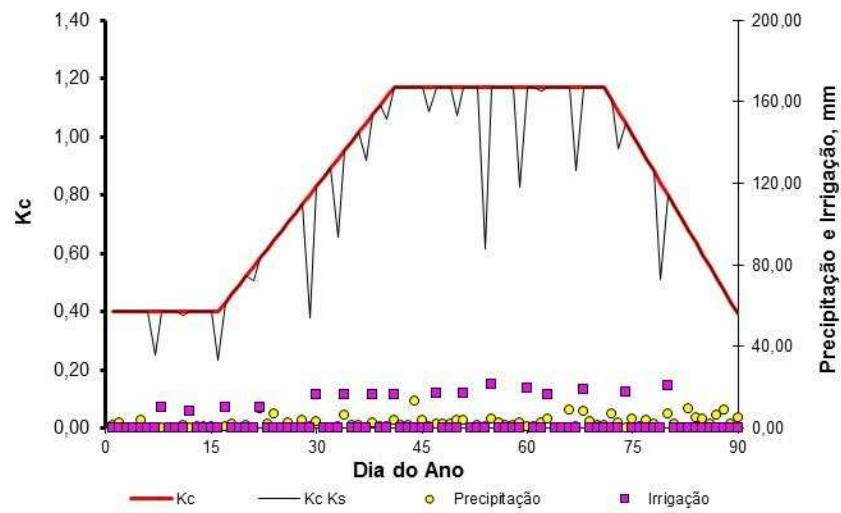


Figura F13 - Coeficiente de cultura (Kc), Precipitação e Irrigação na cultura do Feijão (1º Safra) para Petrolina – PE

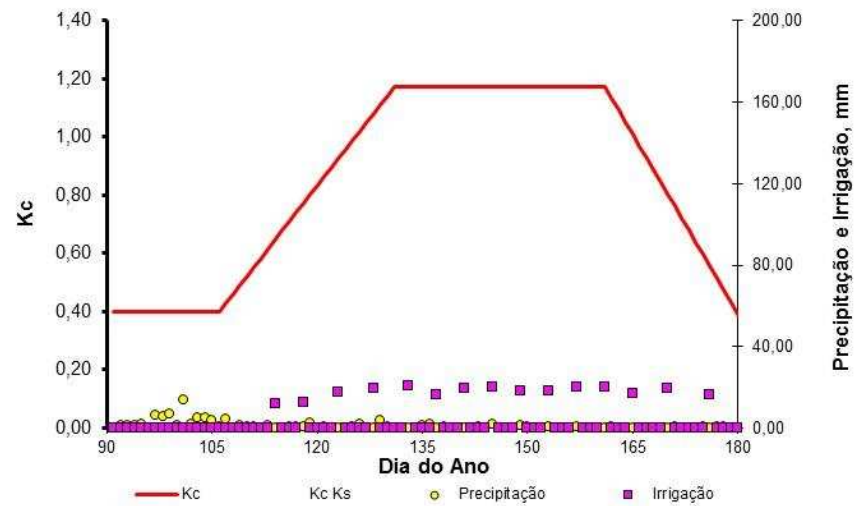


Figura F14 - Coeficiente de cultura (Kc), Precipitação e Irrigação na cultura do Feijão (2º Safra) para Petrolina – PE

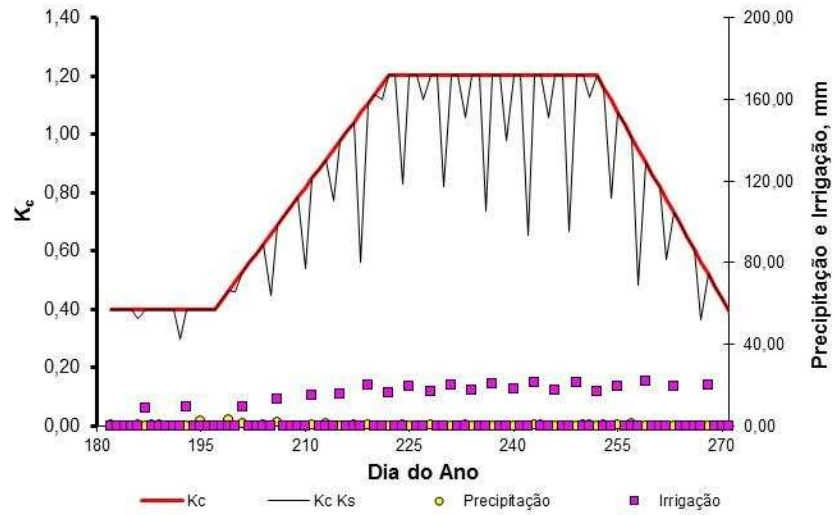


Figura F15 - Coeficiente de cultura (Kc), Precipitação e Irrigação na cultura do Feijão (3º Safra) para Petrolina – PE

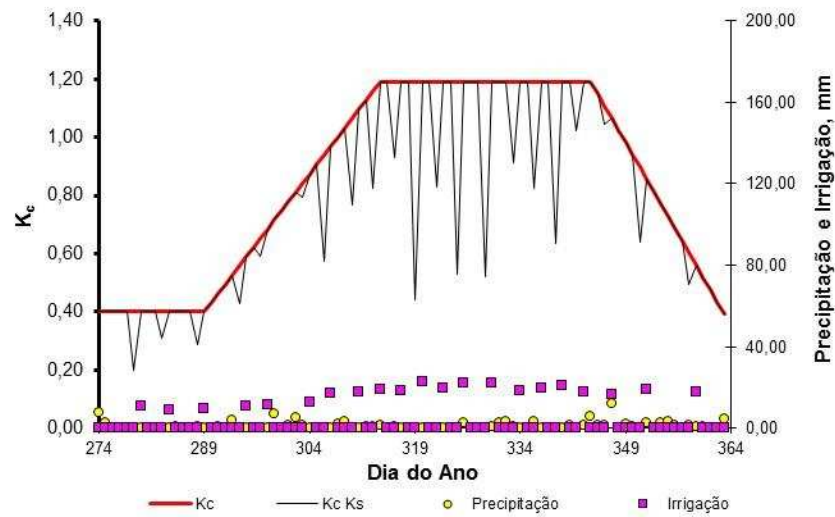


Figura F16 - Coeficiente de cultura (Kc), Precipitação e Irrigação na cultura do Feijão (4º Safra) para Petrolina – PE