

MORGANA VAZ DA SILVA

**ADEQUAÇÃO DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA COM A DEMANDA DE
ÁGUA NA AGRICULTURA**

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

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2014

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

T

S586a
2014 Silva, Morgana Vaz da, 1983-
Adequação da disponibilidade hídrica com a demanda de
água na agricultura / Morgana Vaz da Silva. – Viçosa, MG,
2014.
xi, 102f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui apêndices.

Orientador: Fernando Falco Pruski.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 74-80.

1. Irrigação agrícola. 2. Recursos hídricos. 3. Água.
4. Agricultura. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento
de Engenharia Agrícola. Programa de Pós-graduação em
Meteorologia Agrícola. II. Título.


CDD 22. ed. 631.587

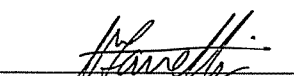
MORGANA VAZ DA SILVA


**ADEQUAÇÃO DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA
COM A DEMANDA DE ÁGUA NA AGRICULTURA**

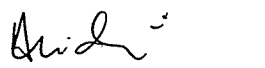
Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

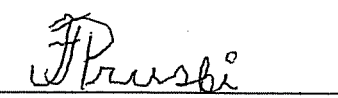
APROVADA: 26 de setembro de 2014.


Francisca Zenaide de Lima


Sidney Sara Zanetti


Roberto Avelino Cecílio


Aristides Ribeiro
(Coorientador)


Fernando Falco Pruski
(Orientador)

Ao meu amor, Danilo.

AGRADECIMENTOS

A Deus, que sempre se fez presente em minha vida, iluminando o meu caminho, mostrando que tudo na vida tem um propósito e que nada acontece por acaso.

Aos meus pais Santo Edson e Marinilda, pelo amor, pela dedicação e pelo exemplo.

À minha irmã e melhor amiga Cíntia, pelo amor e pela amizade.

Ao Danilo, pelo amor e companheirismo.

Ao Professor Fernando Falco Pruski, pela orientação, amizade e ensinamentos.

À amiga Laisi, cuja competência e dedicação foram de grande importância para o êxito deste trabalho.

A Nívia (Perigosinha), pela amizade e companhia diária.

Aos amigos do Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos (GPRH), pelo convívio, pela amizade e por todos os momentos vividos.

À amiga Luciana Cardoso Neta, pela amizade e realização de inúmeros trabalhos.

À Universidade Federal de Viçosa pela oportunidade de realizar o curso de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola. Aos professores e funcionários do Curso de Pós-Graduação por ensinamentos.

À banca examinadora pelas sugestões valiosas para o aprimoramento deste trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos.

A todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a realização desse trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	vii
RESUMO.....	x
ABSTRACT	xi
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1. Necessidade hídrica das culturas.....	3
2.2. Irrigação como forma de complementação hídrica das necessidades das culturas	4
2.3. Disponibilidade hídrica de águas superficiais.....	6
2.4. Bacia do Entre Ribeiros.....	8
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	11
3.1. Balanço hídrico.....	11
3.1.1. Precipitação efetiva	11
3.1.2. Evapotranspiração.....	12
3.1.2.1. Evapotranspiração de referência.....	12
3.1.2.2. Evapotranspiração da cultura	12
3.2. Vazão requerida para a irrigação	13
3.3. Disponibilidade hídrica de águas superficiais e áreas potencialmente irrigáveis	13
3.4. Estudo de caso.....	14
3.4.1. Características da área de estudo.....	14
3.4.2. Cenários analisados	16
3.4.3. Balanço hídrico.....	17
3.4.4. Vazão requerida para irrigação	19
3.4.5. Disponibilidade hídrica de águas superficiais e áreas potencialmente irrigáveis	19
3.4.5.1. Vazões mínimas mensais e anual.....	19
3.4.5.2. Vazões médias mensais.....	21
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
4.1. Rotação entre o milho safrinha e feijão das águas	24
4.1.1. Seção de controle correspondente a foz da bacia	24

4.1.1.1 Semeadura do milho em 1/fevereiro e do feijão em 1/outubro (cenário 1)	24
4.1.1.2. Semeadura do milho em 1/março e do feijão em 1/novembro (cenário 2)	27
4.1.1.3. Semeadura do milho em 1/abril e do feijão em 1/dezembro (cenário 3)	30
4.1.1.4. Semeadura do milho em 1/maio e do feijão em 1/janeiro (cenário 4)	32
4.1.2. Seção de controle correspondente a Boa Esperança	35
4.1.2.1. Semeadura do milho em 1/fevereiro e do feijão em 1/outubro (cenário 1)	35
4.1.2.2. Semeadura do milho em 1/março e do feijão em 1/novembro (cenário 2)	37
4.1.2.3. Semeadura do milho em 1/abril e do feijão em 1/dezembro (cenário 3)	39
4.1.2.4. Semeadura do milho em 1/maio e do feijão em 1/janeiro (cenário 4)	41
4.1.3. Relação entre a área potencialmente irrigável e a área atualmente irrigada	43
4.2. Rotação entre feijão das secas e milho	45
4.2.1. Seção de controle correspondente a foz da bacia	45
4.2.1.1. Semeadura do feijão em 1/março e do milho em 1/outubro (cenário 5)	45
4.2.1.2. Semeadura do feijão em 1/abril e do milho em 1/novembro (cenário 6)	47
4.2.1.3. Semeadura do feijão em 1/maio e do milho em 1/dezembro (cenário 7)	49
4.2.2. Seção de controle correspondente a Boa Esperança	52
4.2.2.1. Semeadura do feijão em 1/março e do milho em 1/outubro (cenário 5)	52
4.2.2.2. Semeadura do feijão em 1/abril e do milho em 1/novembro (cenário 6)	54
4.2.2.3. Semeadura do feijão em 1/maio e do milho em 1/dezembro (cenário 7)	56
4.2.3. Relação entre a área potencialmente irrigável e a área atualmente irrigada	58
4.3. Rotação entre o milho safrinha e a soja	60
4.3.1. Seção de controle correspondente a foz da bacia	60

4.3.1.1. Semeadura do milho em 1/fevereiro e do soja em 1/outubro (cenário 8)	60
4.3.1.2. Semeadura do milho em 1/março e do soja em 1/novembro (cenário 9)	62
4.3.1.3. Semeadura do milho em 1/abril e do soja em 1/dezembro (cenário 10)	62
4.3.1.4. Semeadura do milho em 1/maio e do soja em 1/janeiro (cenário 11)	64
4.3.2. Seção de controle correspondente a Boa Esperança	66
4.3.2.1. Semeadura do milho em 1/fevereiro e do soja em 1/outubro (cenário 8)	66
4.3.2.2. Semeadura do milho em 1/abril e do soja em 1/dezembro (cenário 10)	68
4.3.2.3. Semeadura do milho em 1/maio e do soja em 1/janeiro (cenário 11)	69
4.3.3. Relação entre a área potencialmente irrigável e a área atualmente irrigada	71
5. CONCLUSÕES	73
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74
APÊNDICES	81
APÊNDICE A	82
APÊNDICE B	91
APÊNDICE C	98

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A_{ai}	- Área atualmente irrigada situada a montante da seção considerada, ha.
AAPER	- Associação de apoio aos produtores do Entre Riberios.
A_d	- Área de drenagem da seção de controle considerada, ha.
A_{foz}	- Área de drenagem a montante da seção correspondente à foz da bacia, ha.
ANA	- Agencia Nacional de Águas.
A_{pi}	- Área potencialmente irrigável, ha.
A_{sc}	- Área de drenagem do condomínio considerado, ha.
BDMEP	- Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa.
BH	- Balanço hídrico, mm d ⁻¹ .
\overline{BH}	- Média do BH para cada intervalo de tempo correspondente à irrigação.
CAMPO	- Companhia de produção agrícola.
C_c	- Capacidade de campo, % em peso.
CRA	- Capacidade real de água no solo, mm.
CTA	- Capacidade total de água no solo, mm.
d_a	- Densidade aparente do solo, g cm ⁻³ .
DTA	- Disponibilidade total de água no solo, mm cm ⁻¹ .
e_a	- Pressão atual de vapor, kPa.
E_a	- Eficiência de irrigação, adimensional.
EF	- Estação fluviométrica.
ER	- Bacia do Entre Riberios.
e_s	- Pressão de vapor de saturação, kPa.
$(e_s - e_a)$	- Déficit de pressão de vapor de saturação, kPa.
ET_0	- Evapotranspiração de referência, mm d ⁻¹ .
ET_c	- Evapotranspiração da cultura, mm d ⁻¹ .

FAO	- Food and Agriculture Organization.
G	- Densidade do fluxo de calor do solo, MJ m ⁻² d ⁻¹ .
Hidroweb	- Sistema de Informações Hidrológicas.
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
IC _{BH}	- Intervalo de confiança do BH para cada intervalo de tempo correspondente a irrigação.
IGAM	- Instituto Mineiro de Gestão de Águas.
INMET	- Instituto Nacional de Meteorologia.
K _c	- Coeficiente da cultura, adimensional.
K _s	- Coeficiente de umidade do solo, adimensional.
li	- Limite inferior.
ls	- Limite superior.
MG	- Minas Gerais.
n	- Período de tempo correspondente ao déficit hídrico.
N	- Número de anos da série.
ONU	- Organização das Nações Unidas.
P	- Precipitação pluvial, mm d ⁻¹ .
PCPER	- Projeto de Colonização do Paracatu/Entre Ribeiros.
P _{ef}	- Precipitação efetiva, mm d ⁻¹ .
P _{eq750}	- Vazão equivalente ao volume precipitado, m ³ s ⁻¹ .
PLANOROESTE	- Programa Integrado de Desenvolvimento da região Noroeste de Minas Gerais.
P _m	- Ponto de murcha permanente, % em peso,
PROCEDER	- Programa de Cooperação Nipo-Brasileira para o Desenvolvimento dos Cerrados.
q	- Vazão específica, m ³ s ⁻¹ ha ⁻¹ .
Q _{7,10}	- Vazão mínima com sete dias de duração e período de retorno de 10 anos, m ³ s ⁻¹ .
Q ₉₀	- Vazão com permanência de 90% no tempo, m ³ s ⁻¹ .
q _{BE}	- Vazão média mensal específica na estação fluviométrica Barra da Água, m ³ s ⁻¹ ha ⁻¹ .

Q_{foz}	- Vazão média mensal na foz, $m^3 s^{-1}$.
q_{FP}	- Vazão média mensal específica na estação fluviométrica da Fazenda Poções, $m^3 s^{-1} ha^{-1}$.
q_i	- Vazão unitária requerida para irrigação, $L s^{-1} ha^{-1}$.
Q_m	- Vazão média mensal, $m^3 s^{-1}$.
Q_{ri}	- Vazão requerida para suprir a área atualmente irrigada situada a montante da seção considerada, $L s^{-1}$.
Q_{sc}	- Vazão média mensal na seção de controle considerada, $m^3 s^{-1}$.
q_{sc}	- Vazão específica na seção de controle considerada, $m^3 s^{-1} ha^{-1}$.
R_{ai}	- Relação da área irrigada que é suprida considerando a disponibilidade hídrica anual e mensal, %.
R_n	- Radiação líquida à superfície de cultura, $MJ m^{-2} d^{-1}$.
SEMAD	- Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável.
SisCAH	- Sistema Computacional para Análises Hidrológicas.
T	- Temperatura média do ar diária a 2 m de altura, $^{\circ}C$.
u_2	- Velocidade do vento a 2 m de altura, $m s^{-1}$.
x	- Percentagem da $Q_{7,10}$ passível de ser outorgada, adimensional.
Z	- Profundidade efetiva do sistema radicular, cm.
γ	- Constante psicrométrica, $kPa ^{\circ}C^{-1}$.
Δ	- Declividade da curva de pressão de vapor, $kPa ^{\circ}C^{-1}$.
σ	- Desvio padrão para cada intervalo correspondente ao turno de rega.

RESUMO

SILVA, Morgana Vaz da, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, Setembro de 2014. **Adequação da disponibilidade hídrica com a demanda de água na agricultura.** Orientador: Fernando Falco Pruski. Coorientador: Aristides Ribeiro.

A crescente demanda de água para garantir seus múltiplos usos tem gerado escassez dos recursos hídricos e conflitos entre usuários em diversas bacias hidrográficas, sendo necessário otimizar o uso da água para garantir a sustentabilidade das gerações futuras. O objetivo deste trabalho foi analisar a adequação entre a oferta dos recursos hídricos superficiais ($Q_{7,10}$ e \bar{Q}_m) e as demandas de complementação hídrica para fins de irrigação na agricultura, para a bacia do Entre RIBEIROS. Através do balanço hídrico determinou-se os períodos de excesso e déficit hídrico. Para os períodos de déficit hídrico foram determinadas as vazões unitárias requeridas pela irrigação, as quais foram relacionadas com as disponibilidades hídricas superficiais. A disponibilidade hídrica foi caracterizada pela vazão mínima de sete dias de duração e período de retorno de dez anos ($Q_{7,10}$), quantificada em base anual e mensal através do estudo de regionalização de vazões para Minas Gerais (MG). A metodologia proposta foi aplicada à bacia do ribeirão Entre RIBEIROS, localizada na região noroeste de MG, que já apresenta um quadro de escassez e conflitos pelo uso da água. A partir da análise dos resultados, conclui-se que a consideração da disponibilidade hídrica estimada em base anual não garante o suprimento das demandas de complementação hídrica para a área atualmente irrigada na bacia e para nenhuma data de semeadura proposta. Entretanto, quando considerada a disponibilidade hídrica estimada em base mensal, esta garante o suprimento da área atualmente irrigada para a data de semeadura atualmente praticada na bacia.

ABSTRACT

SILVA, Morgana Vaz da, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, September, 2014. **Adequacy of water availability with demand for water in agriculture.** Adviser: Fernando Falco Pruski. Co-adviser: Aristides Ribeiro.

The increasing demand for water to ensure the multiple uses has generated scarcity of water resources and conflicts between users in many river basins, so, is necessary to optimize the use of water to ensure the sustainability future generations. The aim this study was to analyze adequacy between supply of surface water resources ($Q_{7,10}$ e \bar{Q}_m) and the demands of water to supplement irrigation purposes in agriculture, for the basin Entre Ribeiros. The water balance determined the periods of excess and water deficit. For periods of water deficit were determined unitary streamflow required for irrigation, which were related to surface water availability. The water availability was characterized by the minimum stream flow of seven days and 10 years of return period ($Q_{7,10}$), and their quantification was achieved on an annual and monthly basis through the study of regionalization of streamflow for Minas Gerais. The proposed methodology was applied in the Entre Ribeiros creek basins, located in the northwestern MG region, which already presents a framework of scarcity and conflicts over water use. From the analysis of the results, it is concluded that the consideration of the estimated annual basis, water availability does not ensure the supply of water demands of completion for the currently irrigated area in the basin, nor for any proposed date of sowing. However, when considering the estimated water availability on a monthly basis, this ensures the supply of currently irrigated area for sowing date currently practiced in the basin.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente a população mundial é cerca de 7,2 bilhões de habitantes e estima-se que pode chegar a 9,6 bilhões até 2050, segundo a ONU (2013) para garantir a segurança alimentar da população, será necessário aumentar em 70% à produção de alimentos.

A irrigação é uma alternativa que permite o aumento de ciclos de produção das culturas em um mesmo ciclo sazonal, sendo a forma de se obter respostas mais efetivas e rápidas. Estima-se que 18% da produção mundial de alimentos seja feita em áreas irrigadas, sendo esta responsável por 44% da produção agrícola (PIRES et al., 2008).

De modo geral, os projetos de irrigação no Brasil são concebidos e projetados considerando um manejo de aplicação de água integral, o que ocasiona uma superestimativa da quantidade de água a ser aplicada (OLIVEIRA; CARVALHO, 2003), provocando excessivas perdas de água (PARIZI, 2010).

Para utilizar a água de maneira eficiente é necessário considerar as contribuições da precipitação e assim definir a melhor época de plantio e também considerar as disponibilidades dos recursos hídricos superficiais.

Estudos como os de Oliveira e Carvalho (2003) e de Oliveira e Silva (2009) para o Estado de Goiás, através da adoção de irrigação suplementar e identificação da melhor época de semeadura, obtiveram uma redução na quantidade de água a ser aplicada na irrigação.

No entanto, em muitas regiões a implementação de projetos de irrigação ocorre de forma desordenada, sem os devidos cuidados técnicos e sem considerar a disponibilidade hídrica, gerando escassez e conflitos pelo uso d'água.

O desenvolvimento da agricultura irrigada exige procedimentos tecnológicos e econômicos para otimizar o uso da água, para a melhoria de eficiência de aplicação e ganhos de produtividade baseados na resposta da

cultura à aplicação de água e outros insumos sem, contudo, comprometer a disponibilidade e qualidade do recurso (JÚNIOR et al., 2014).

A fim de assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água atuais e futuros, foi criada a outorga de direito de uso de recursos hídricos, sendo um dos seis instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos, estabelecidos no inciso III, do art. 5º da Lei Federal nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997.

Em Minas Gerais, o critério de outorga utilizado corresponde a 50% da $Q_{7,10}$ anual, mantendo-se um valor outorgável fixo durante o ano, que restringe expressivamente o uso d'água nos meses fora do período de estiagem. Estudos realizados por Euclides et al. (2006), Oliveira et al. (2013) e Bof et al. (2013) evidenciaram que a utilização de um critério de outorga mensal proporciona a melhor alocação dos recursos hídricos.

Portanto, parte-se da hipótese que a consideração da disponibilidade hídrica, para concessão de outorga, estimada em base mensal propicia um melhor aproveitamento do uso da água sem comprometer as condições ambientais.

Pelo exposto, o objetivo deste trabalho foi analisar a adequação entre a oferta dos recursos hídricos superficiais ($Q_{7,10}$ e \bar{Q}_m) e as demandas de complementação hídrica para fins de irrigação na agricultura, para a bacia do Entre RIBEIROS.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Necessidade hídrica das culturas

A água é de fundamental importância para as culturas, pois condiciona as atividades fisiológicas e metabólicas das plantas (LIMA et al., 2014), sendo o principal fator que causa variação na produtividade das culturas na maior parte das áreas agrícolas (EITZINGER et al., 2003; OKUYAMA et al., 2004; STRECK, 2004; LOPES et al., 2011; ZHANG et al., 2014).

As perdas de água das plantas para a atmosfera podem ser medidas através de lisímetros, os quais por serem de difícil operação e instalação, são comumente utilizados na pesquisa experimental. Na prática a demanda hídrica das culturas é determinada com base nas perdas totais de água para a atmosfera pelo processo de evapotranspiração (BUENO, 2012).

As necessidades hídricas das culturas variam de acordo com seus estádios de crescimento e desenvolvimento, sendo estas consideradas por meio do coeficiente de cultura (k_c) (LIMA et al., 2011). Para a maioria das culturas, o valor de k_c aumenta desde um valor mínimo na germinação até um valor máximo quando a cultura atinge seu pleno desenvolvimento, e decresce a partir do início da maturação (CARVALHO et al., 2013).

Uma outra maneira para se estimar o requerimento de água pelas culturas é através do balanço hídrico, que depende principalmente da precipitação e da evapotranspiração (CARVALHO et al., 2011; PEREIRA, et al., 2013).

O método do balanço hídrico vem sendo muito utilizado para determinar os períodos de excesso e déficit hídrico (MOROKE et al., 2011; WARD et al., 2012), sendo necessário realizar um balanço hídrico sequencial diário de uma série longa de observações meteorológicas associadas aos diferentes períodos

de desenvolvimento das plantas, nas diferentes épocas de semeadura (LORENÇONI et al., 2010).

Apesar dos riscos mais elevados na agricultura de sequeiro, especialmente em áreas propensas a secas, aproximadamente 60% da produção mundial de alimentos é advinda da agricultura de sequeiro (ITABORAHY et al., 2004).

A variabilidade temporal e espacial da chuva tem um grande impacto sobre a produtividade agrícola (PANDEYA; MULLIGAN, 2013), principalmente para a produção em condições de sequeiro (HEINEMANN; STONE, 2009; WANG et al., 2011; MARINI et al., 2012; BATTISTI et al., 2013).

Portanto, o conhecimento da distribuição e volume das precipitações é fundamental para o planejamento das atividades agrícolas e para a definição de datas mais apropriadas para semeadura (SILVA et al., 2006, OWEIS; HACHUM, 2009), resultando em menor risco de ocorrência de déficit hídrico (MOROKE et al., 2011; FENNER et al., 2013; ECKER et al., 2014; ANDARZIAN et al., 2014).

Diversos estudos, como de Tsimba et al. (2013), Wagner et al. (2013), Christofidis (2013) e Horai et al. (2013), têm sido realizados com a finalidade de determinar a época de semeadura que reduza o risco de ocorrência de déficit hídrico, obtendo melhores resultados de produtividade. Bannayan et al. (2013) avaliaram a produtividade para diferentes datas de semeadura do trigo em condições de sequeiro para províncias do Irã, e obtiveram um aumento de rendimento, com o uso da melhor época de semeadura e uma redução no rendimento quando a semeadura não ocorre no período ideal.

2.2. Irrigação como forma de complementação hídrica das necessidades das culturas

Em muitas regiões a precipitação não é suficiente para suprir as demandas hídricas das culturas (SCHALDACH et al., 2012) e a irrigação constitui uma alternativa para atender a necessidade de água (SANTANA et al., 2009), minimizando os efeitos do déficit hídrico e assegurando uma maior produtividade (SILVA et al., 2008; PARIZI, 2010).

A quantificação da água a ser aplicada na irrigação é de grande importância (VELLAME et al., 2012), sendo que o volume de água a ser aplicado deve considerar as demandas evapotranspirométricas.

O dimensionamento de sistemas de irrigação pode ser baseado na irrigação total ou suplementar, sendo que, no primeiro caso, as precipitações são desprezadas e, conseqüentemente, a evapotranspiração máxima é utilizada. Entretanto, quando se despreza a ocorrência da precipitação, em áreas tropicais os projetos ficam superdimensionados, ocorrendo aplicação de água em excesso (PINTO et al., 2012).

Em termos globais, a produtividade obtida com a prática da agricultura irrigada é 2,7 vezes maior que a obtida pela agricultura tradicional de sequeiro (CHRISTOFIDIS, 2013).

Nos últimos 10 anos, o volume anual de água para atender à irrigação cresceu em 20%, passando de cerca de 2,6 bilhões de m³ (em 2000) para 3,1 bilhões de m³ (em 2010) (COSGROVE; COSGROVE, 2011). Segundo estimativa da FAO (2011), a demanda anual de água pela agricultura irrigada alcançará 4,5 bilhões de m³ até 2050. Esta expectativa de expansão da agricultura irrigada é, entretanto, ameaçada devido as dificuldades em obter água em disponibilidade suficiente para atender tanto às atuais áreas produtivas como aos novos empreendimentos. O crescente uso da água para produzir alimentos, para a produção industrial e outros usos, impõe a necessidade de obter melhorias no manejo da agricultura irrigada (ERTEK; YILMAZ, 2014; WANG et al., 2014).

O uso da água na irrigação deve ser otimizado considerando a necessidade da cultura em cada fase de seu desenvolvimento, observando a evapotranspiração e a chuva efetiva (CHRISTOFIDIS, 2013). Vivan et al. (2013) com a utilização de complementação hídrica para culturas tradicionalmente cultivada em condições de sequeiro, obteve melhores resultados de produtividade. Portanto, o estabelecimento de uma programação de irrigação racional, considerando a exigência hídrica da cultura e o suprimento de água pela precipitação é o fator chave para a utilização racional da água (SUN et al., 2010; BACIGALUPPO et al., 2011).

Oliveira e Carvalho (2003) realizaram um estudo para o estado de Goiás, cuja adoção da irrigação suplementar, no qual foi estimada considerando a precipitação provável e a evapotranspiração, e a definição da melhor época de semeadura para a cultura do feijão, permitiram uma redução de 446,1% na demanda suplementar de água a ser aplicada na irrigação em comparação com a irrigação total. Na pesquisa realizada por Oliveira e Silva (2009), também para

o Estado de Goiás, adotando a irrigação suplementar e a melhor época de plantio para o milho, obtiveram uma redução da lâmina suplementar da irrigação de 76% em comparação com a irrigação total.

2.3. Disponibilidade hídrica de águas superficiais e gestão de recursos hídricos.

Os recursos hídricos correspondem à parcela de água doce, superficial e/ou subterrânea, disponível para qualquer tipo de uso em uma determinada região ou bacia hidrográfica (PEREIRA, 2004).

A disponibilidade hídrica natural de uma bacia pode ser avaliada pela análise das vazões mínimas, caracterizadas pela sua duração e frequência de ocorrência, refletindo o potencial natural disponível para os diversos usos d'água (PEREIRA, et al., 2013)

A estimativa da vazão média permite caracterizar, além da disponibilidade hídrica máxima, o potencial energético da bacia, sendo a vazão média de longa duração a vazão máxima possível de ser regularizada, possibilitando o dimensionamento de reservatórios de água destinados ao abastecimento doméstico e ao suprimento da agricultura irrigada (RODRIGUEZ, 2004; SILVA et al., 2014)

A água tem diversos usos como, o abastecimento humano, a dessedentação animal, a irrigação, a indústria, a geração de energia elétrica, etc. Em termos globais e nacionais, o setor agropecuário é o maior consumidor de água doce. A agricultura utiliza 69% da água doce, 23% são usados pela indústria e 8% destinam-se ao abastecimento da população (ANA, 2011).

O crescimento descontrolado e desordenado das zonas urbanas, com a ocupação humana e construções nas margens dos rios e córregos, aumentam os riscos potenciais de degradação da qualidade hídrica, o que se reflete diretamente no quadro de escassez qualitativa de água (KHARRAZ et al., 2012; ZENG et al., 2013). Mesmo no Brasil, que apresenta a maior disponibilidade hídrica superficial mundial (13,8%), ocorrem problemas de escassez quantitativa de água, devido à sua distribuição irregular, pois a região norte na qual habitam 7% da população brasileira detêm 80% dos recursos hídricos (ANA, 2013a).

O instrumento de outorga é estratégico para o gerenciamento dos recursos hídricos, pois permite ao administrador realizar o controle quali-

quantitativo das águas e, ao usuário, a necessária autorização para implementação de seus empreendimentos. É também um instrumento importante por minimizar os conflitos entre os diversos setores usuários e evitar impactos ambientais negativos aos corpos hídricos (ANA, 2013b).

A Agência Nacional de Águas (ANA) é o órgão responsável pela emissão de outorgas de direito de uso de recursos hídricos em corpos hídricos de domínio da União. Em corpos hídricos de domínio dos Estados e do Distrito Federal, a solicitação de outorga deve ser feita às respectivas autoridades outorgantes estaduais responsáveis pelo gerenciamento dos recursos hídricos (ANA, 2009).

O governo de Minas Gerais, através do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), tem concedido outorgas, para condições a fio d'água, equivalentes a 50% da $Q_{7,10}$ anual; entretanto, observa-se em algumas regiões do estado que este valor máximo de vazão de outorga é insuficiente para o atendimento das demandas de todos os usuários.

A utilização de um critério único, correspondente a um valor outorgável fixo durante todo o ano, restringe expressivamente o uso d'água nos meses fora do período de estiagem. A adoção do período mensal como referência para outorga é mais adequado, pois representa melhor as características intrínsecas das vazões de cada mês (VERGARA et al., 2013).

Em estudo realizado por Oliveira et al. (2012) para a bacia do ribeirão Entre Ribeiros, localizada na região noroeste de Minas Gerais, a substituição da $Q_{7,10}$ anual pelas $Q_{7,10}$ mensais, resultou em aumentos da vazão possível de ser outorga de até 209%. Estudo realizado por Bof et al. (2013), para a bacia do rio Paraopeba, também caracterizou que a utilização de critérios baseados em vazões mensais potencializou um aumento na vazão a ser outorgada de 143,6%.

Euclides et al. (2006) também propuseram o critério de outorga sazonal, tendo evidenciado que o uso de vazões diferenciadas para os períodos seco e chuvoso permite aumentar a vazão a ser outorgada em até 61,8% para a bacia do Rio Grande (MG). Silva et al. (2011) realizaram um estudo para a bacia do São Francisco, no qual a substituição da vazão outorgável em base anual pela vazão outorgada estimada em base trimestral implicou em um aumento da vazão outorgável de 379 %, no primeiro trimestre, 174,5 %, no segundo trimestre, 36,1 %, no terceiro trimestre e 14,7 %, no quarto trimestre.

Marques et al. (2009) também adotaram uma vazão outorgável estimada em base trimestral em substituição à vazão outorgada estimada em base anual. Tal procedimento proporcionou um aumento de até 89% nas vazões mínimas de referência no trimestre mais chuvoso (janeiro-fevereiro-março) e uma redução de até 15% no trimestre mais seco (julho-agosto-setembro).

Mesmo considerando a variação sazonal da disponibilidade hídrica, em muitos casos a demanda de água é superior à disponibilidade hídrica a fio d'água, sendo necessário o armazenamento de água em reservatórios.

O objetivo dos reservatórios de uso para a irrigação é fornecer as quantidades de água necessárias para as culturas, de uma forma mais eficiente e segura (KANG; PARK, 2014).

Com a regularização das vazões pela construção de reservatórios visa-se atingir vários objetivos, destacando-se: o atendimento às necessidades do abastecimento urbano ou rural (irrigação); o aproveitamento hidroelétrico (geração de energia); a atenuação de cheias (combate às inundações); o controle de estiagens; o controle de sedimentos; a recreação; e, também, permitir a navegação fluvial (BARBOSA, 2011).

A implantação de reservatórios de regularização modifica a distribuição das vazões nos rios, ocorrendo um aumento da vazão mínima, que tende a se aproximar do valor da vazão média (ASFORA; CIRILO, 2005). O aumento da disponibilidade hídrica possibilita que as outorgas de direito de uso da água sejam concedidas para um maior número de usuários.

2.4. Bacia do Entre RIBEIROS

A bacia do Entre RIBEIROS (ER), um dos principais afluentes da bacia do rio Paracatu, apresenta contribuição para a formação da vazão média deste rio igual a 8%. O clima da região é predominantemente tropical chuvoso, com a ocorrência de dois períodos distintos no ano, verão chuvoso (outubro a abril) e inverno seco (maio a setembro).

A região do ER originariamente era coberta pelo bioma cerrado e, a partir de 1975, houve um incremento considerável na agricultura, primeiramente devido a implantação do Programa Integrado de Desenvolvimento da região Noroeste de Minas Gerais (PLANOROESTE), destinado à criação da

infraestrutura básica mínima, em transporte e eletrificação. Mais tarde foram implementados os projetos do Programa de Cooperação Nipo-Brasileira para o Desenvolvimento dos Cerrados (PROCEDER) e Projeto de Colonização do Paracatu/Entre Ribeiros (PCPER) que propiciaram o desenvolvimento de uma agricultura moderna, mecanizada e diversificada na região (SANTOS, 2007).

No âmbito do PRODECER I, instalado nos municípios de Iraí de Minas, Coromandel e Paracatu, a Companhia de Promoção Agrícola (CAMPO), do Ministério da Agricultura e Reforma Agrária, coordenou e executou a implantação dos Projetos de Colonização Paracatu-Entre Ribeiros (PCPERs I, II, III e IV), sendo o ribeirão Entre Ribeiros fonte de abastecimento para o PCPER I (BRITO et al., 2003).

Devido aos incentivos do projeto PCPER I a área da bacia foi significativamente desmatada, cedendo lugar a grandes plantações, sobretudo de grãos, e tornando a bacia do ER um importante polo agrícola (VASCONCELOS, 2010).

O uso da água para irrigação tornou-se crescente, tendo em vista a ampliação das atividades agrícolas. O fato mais alarmante é que a instalação de parte considerável dos sistemas de irrigação foi executada sem a observância de aspectos ambientais e técnicos, inclusive, em alguns casos, sem a necessária outorga para captação de água (VASCONCELOS et al., 2012)

Devido ao processo de expansão da agricultura irrigada, especialmente em função das captações sem os devidos cuidados técnicos, ocorrem diversos conflitos pelo uso d'água na bacia, principalmente na região de cabeceiras, pois é onde estão localizadas a maioria das seções com outorga, onde grandes demandas, associadas à baixa disponibilidade, fazem com que sejam evidenciadas situações de escassez durante grande parte do ano (OLIVEIRA et al., 2013). Tal situação que provocou a intervenção do Ministério Público, exigindo a readequação das práticas dos irrigantes. Esta readequação tem sido estruturada a partir de iniciativas dos próprios produtores, limitando-se aos órgãos públicos as ações punitivas (SANTOS, 2007).

O momento mais grave, em termos de disponibilidade hídrica, ocorreu em novembro de 2002, quando o ribeirão Entre Ribeiros chegou a secar. Este fato decorreu, principalmente, devido às baixas precipitações registradas em

2001/2002 e à grande demanda de água para a irrigação (SANTOS, 2007; VASCONCELOS, 2010).

Oliveira (2011) constatou que em alguns trechos da bacia o somatório das vazões outorgadas supera até mesmo a vazão média de longa duração.

Moreira et al. (2014) identificaram que em 31,4% da área da bacia do ribeirão Entre Ribeiros foram outorgadas vazões superiores aos limites estabelecidos pela legislação, e os conflitos pelo uso d'água podem ser minimizados com a adoção de ações estruturais como a construção de reservatórios.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Balanço hídrico

No cálculo do balanço hídrico (BH) são contabilizadas as entradas e saídas de água no solo em um determinado intervalo de tempo, possibilitando identificar os períodos de déficit e excesso hídrico.

A variável de entrada considerada foi a precipitação, porém, como nem toda a precipitação fica disponível para as plantas, considerou-se na análise do balanço hídrico, a precipitação efetiva. A variável de saída considerada foi a evapotranspiração da cultura, tendo sido desprezadas as contribuições do escoamento superficial, da drenagem lateral e da ascensão capilar, e as variações do armazenamento de água no solo.

Portanto, o balanço hídrico foi estimado em base diária pela equação:

$$BH = P_{ef} - ET_C \quad (1)$$

em que: BH = balanço hídrico, mm d⁻¹; P_{ef} = precipitação efetiva, mm d⁻¹; e ET_C = evapotranspiração da cultura, mm d⁻¹.

3.1.1. Precipitação efetiva

Para determinar a P_{ef} foram utilizadas as seguintes considerações:

- toda água de chuva infiltra no solo, e não há escoamento superficial;
- quando a precipitação diária (P) é igual ou superior à capacidade real de água no solo (CRA), a P_{ef} = CRA; e
- quando a precipitação é inferior à capacidade real de água no solo a P_{ef} = P.

A capacidade real de água no solo foi determinada pela equação:

$$CRA = \left(\frac{(C_c - P_m)}{10} d_a \right) Z f \quad (2)$$

em que: CRA = capacidade real de água no solo, mm; C_c = capacidade de campo, % em peso; P_m = ponto de murcha permanente, % em peso; d_a = densidade aparente do solo, $g\ cm^{-3}$; Z = profundidade efetiva do sistema radicular, cm; e f = fator de disponibilidade de água no solo, adimensional.

3.1.2. Evapotranspiração

3.1.2.1. Evapotranspiração de referência

A evapotranspiração de referência foi calculada pelo método de Penman-Monteith, recomendado pela FAO-56 (ALLEN et al., 1998), sendo esta estimada pela equação:

$$ET_0 = \frac{0,480 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{(T + 273)} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 U_2)} \quad (3)$$

em que: ET_0 = evapotranspiração de referência, $mm\ d^{-1}$; R_n = radiação líquida à superfície de cultura, $MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$; G = densidade do fluxo de calor do solo, $MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$; T = temperatura média do ar diária a 2 m de altura, $^{\circ}C$; u_2 = velocidade do vento a 2 m de altura, $m\ s^{-1}$; e_s = pressão de vapor de saturação, kPa; e_a = pressão atual de vapor, kPa; $(e_s - e_a)$ = déficit de pressão de vapor de saturação, kPa; Δ = declividade da curva de pressão de vapor, $kPa\ ^{\circ}C^{-1}$; e γ = constante psicrométrica, $kPa\ ^{\circ}C^{-1}$.

3.1.2.2. Evapotranspiração da cultura

A evapotranspiração da cultura (ET_C) foi estimada a partir da ET_0 , do coeficiente da cultura (K_c) e do coeficiente que depende da umidade do solo (K_s), pela equação:

$$ET_C = ET_0 K_c K_s \quad (4)$$

em que: ET_C = evapotranspiração da cultura, $mm\ d^{-1}$; K_c = coeficiente de cultura, adimensional; K_s = coeficiente que depende da umidade do solo, adimensional.

3.2. Vazão requerida para a irrigação

A vazão unitária requerida para a irrigação foi obtida pela equação:

$$q_i = \left(\frac{P_{ef} - ET_c}{E_a} \right) \frac{1}{8,64} \quad (5)$$

em que: q_i = vazão unitária requerida para a irrigação, $L\ s^{-1}\ ha^{-1}$; E_a = eficiência de irrigação, adimensional; e 8,64 = fator de conversão de unidades de $mm\ d^{-1}$ para $L\ s^{-1}\ ha^{-1}$.

A vazão requerida para suprir a área atualmente irrigada da bacia considerada (A_{ai}) foi obtida pela equação.

$$Q_{ri} = q_i A_{ai} \quad (6)$$

em que: Q_{ri} = vazão requerida para suprir a área atualmente irrigada situada a montante da seção considerada, $L\ s^{-1}$; A_{ai} = área atualmente irrigada situada a montante da seção considerada, ha.

3.3. Disponibilidade hídrica de águas superficiais e áreas potencialmente irrigáveis

A disponibilidade hídrica natural de uma bacia pode ser avaliada pela análise das vazões mínimas, caracterizadas pela sua duração e frequência de

ocorrência, sendo uma das vazões mais utilizadas para esta finalidade a vazão mínima com duração de 7 dias e período de retorno de 10 anos ($Q_{7,10}$). Somente certo percentual dessas vazões deve ser utilizado para concessão de outorga, sendo o restante considerado como vazão necessária para a manutenção do meio biótico (vazão residual ou vazão ecológica).

Em geral, os critérios de outorga consideram um único valor, baseado na disponibilidade hídrica anual, o que restringe o uso d'água em meses com maior disponibilidade hídrica.

Euclides et al. (2006), Bof et al. (2013) e Oliveira et al. (2013) caracterizaram a potencialidade da otimização do uso d'água quando da consideração da sazonalidade de variação das vazões, o que pode ser feito pela utilização de critérios de outorga em base mensal.

Considerando-se as disponibilidades hídricas a fio d'água em base anual e mensal, foram estimadas as áreas potencialmente irrigáveis (A_{pi}) pela equação:

$$A_{pi} = \frac{x Q_{7,10}}{q_i} \quad (7)$$

em que: A_{pi} = área potencialmente irrigável considerando a disponibilidade hídrica a fio d'água, ha; $Q_{7,10}$ = vazão mínima com sete dias de duração e período de retorno de 10 anos, $L s^{-1}$; x = percentagem da $Q_{7,10}$ passível de ser outorgada, adimensional.

3.4. Estudo de caso

3.4.1. Características da área de estudo

A metodologia proposta foi aplicada à bacia do ribeirão Entre Ribeiros que constitui um dos principais afluentes do rio Paracatu, com 163 km de extensão e uma área de aproximadamente 3.973 km², abrangendo os municípios de Paracatu-MG e Unaí-MG. A região do Entre Ribeiros possui clima tropical chuvoso, planaltos suaves, baixa predisposição natural à erosão, bom potencial agrícola e predominância de Latossolos, cujas características físico-químicas são apresentadas na Tabela 1 (VASCONCELOS, 2010).

Tabela 1 - Propriedades físico-químicas do solo, para região noroeste de MG

Perfil (cm)	Densidade (g cm ³)	Capacidade de campo (%)	Ponto de murcha permanente (%)
0 - 25	1,4	21,3	10,7

Fonte: Rossato (2002)

Na Figura 1 é mostrada a localização da bacia do Ribeirão Entre Ribeiros, inserida na Bacia do São Francisco, e a subdivisão do ER em condomínios conforme a proposição da Associação de Apoio aos Produtores do Entre Ribeiros (AAPER), sendo correspondentes aos seguintes condomínios: Baixo Entre Ribeiros, Barra da Égua, Vereda Grande, São Pedro e Boa Esperança. Na Tabela 2 são apresentadas as áreas atualmente irrigadas para cada condomínio considerado no estudo.

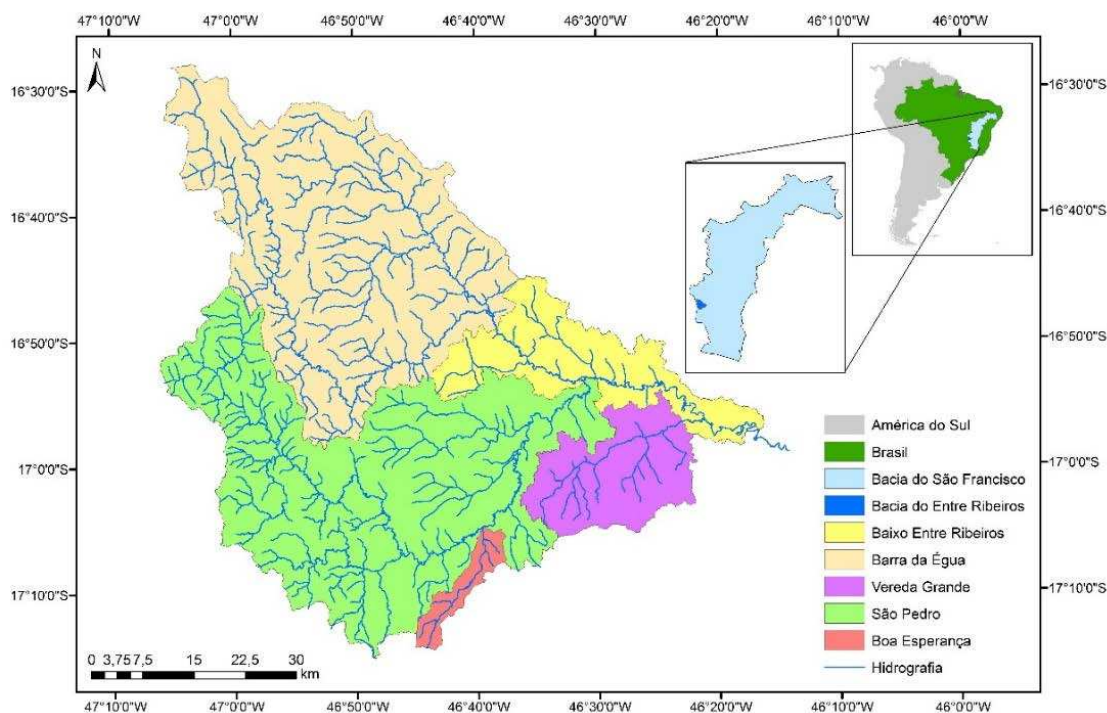


Figura 1 - Localização da bacia do Entre Ribeiros e a subdivisão em condomínios conforme a classificação da AAPER.

Tabela 2 - Áreas atualmente irrigadas para os condomínios considerados no estudo segundo a AAPER

Condomínio	Área irrigada atual (ha)
Baixo Entre Ribeiros	3387
São Pedro	4533
Vereda Grande	1564
Barra da Égua	6823
Boa Esperança	4991
Total	21298

3.4.2 Cenários analisados

As principais culturas presentes na bacia do ribeirão Entre Ribeiros são o milho, o feijão e a soja (IBGE, 2010). As principais rotações praticadas na bacia são realizadas entre o milho safrinha e o feijão das águas; o feijão das secas e o milho; e entre o milho safrinha e a soja.

O cenários analisados foram estabelecidos de acordo com o calendário agrícola adotado na bacia de estudo e, a partir deste, estabeleceu-se novas datas de semeadura para cada rotação, conforme apresentados nas Figuras 2, 3 e 4.

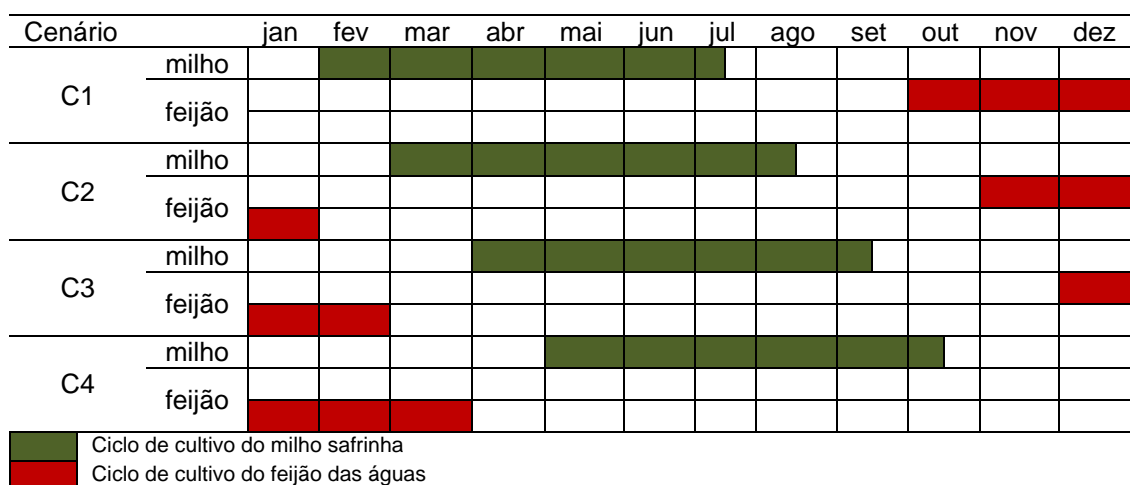


Figura 2 - Cenários analisados para a rotação entre o milho safrinha e o feijão das águas.

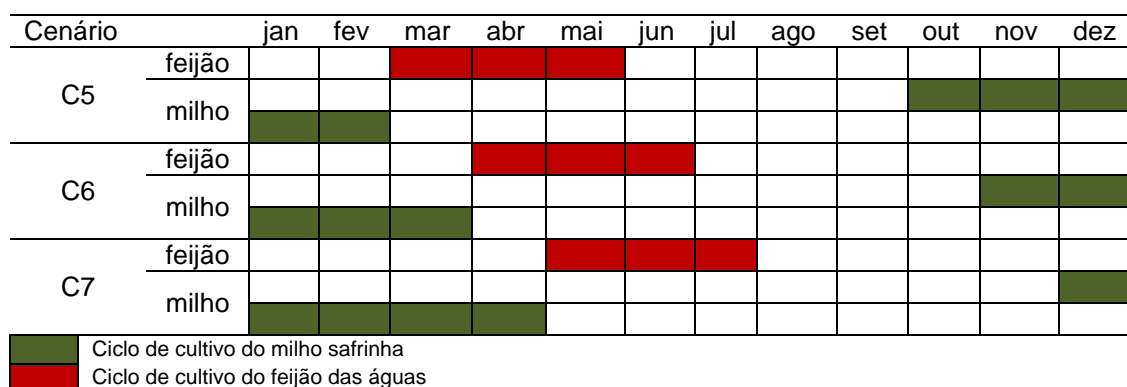


Figura 3 - Cenários analisados para a rotação entre o feijão das secas e o milho.

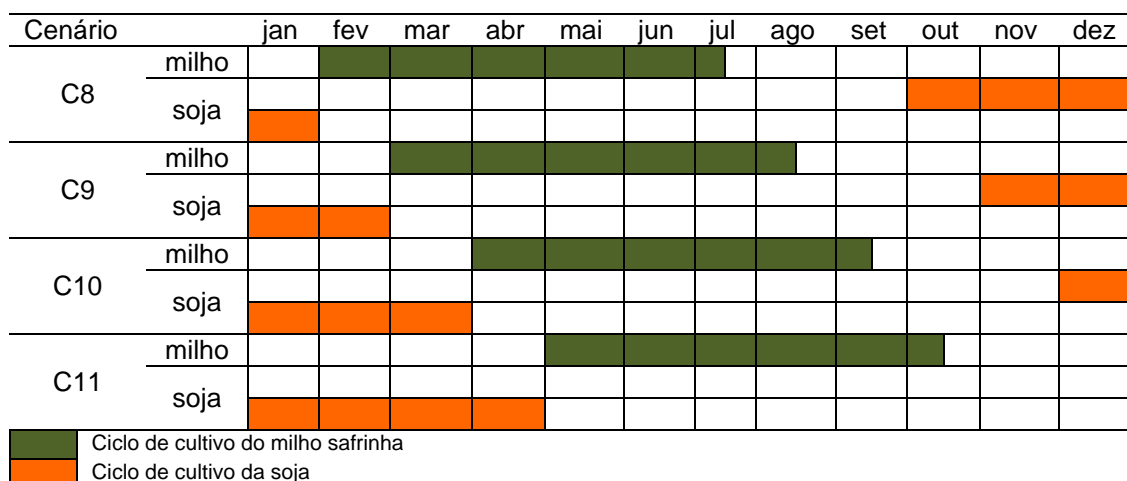


Figura 4 - Cenários analisados para a rotação entre o milho safrinha e a soja.

3.4.3. Balanço hídrico

Para estimar o BH foram utilizados dados diários de precipitação, temperatura máxima e mínima, insolação, umidade relativa e velocidade do vento, correspondentes ao período de 1980 a 2009, obtidos no Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP), referente à rede de estações do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Na Tabela 3 são apresentadas as coordenadas geográficas das estações meteorológicas.

Tabela 3 - Estações meteorológicas utilizadas no estudo

Código	Estação	Longitude (°)	Latitude (°)	Altitude (m)
83479	Paracatu	46,9	17,2	712
83428	Unaí	46,5	16,4	460

O balanço hídrico foi estimado pela Equação 1, com base na precipitação efetiva e na evapotranspiração da cultura.

No cálculo da P_{ef} foram necessárias informações para estimar a capacidade real de água no solo que estão apresentadas na Tabela 1. O fator de disponibilidade de água no solo adotado foi de 0,6, conforme recomendado por Mantovani et al. (2009). Com base nessas informações, a capacidade real de água do solo foi estimada em 26,7 mm.

Para estimar a ET_C utilizou-se os K_c disponíveis em Doorenbos e Kassam (1994), apresentados na Tabela 4.

O K_s utilizado correspondeu à média do K_s imediatamente após a irrigação ($K_s = 1$) e na condição de umidade no momento correspondente ao reinício da irrigação, ($K_s = 0,90$), que correspondeu um valor de K_s médio igual a 0,95.

Tabela 4 - Coeficiente da cultura e duração dos estádios fenológicos das culturas utilizados no estudo

	Milho		Feijão		Soja	
	K_c	Duração (dias)	K_c	Duração (dias)	K_c	Duração (dias)
Estabelecimento	0,35	25	0,35	10	0,35	10
Vegetativo	0,83	40	0,70	20	0,75	30
Floração	1,12	20	1,00	15	1,00	25
Desenvolvimento	0,88	45	0,93	25	0,75	30
Maturação	0,56	15	0,86	20	0,45	10
Total		145		90		105

O BH foi calculado em base diária, sendo, para a interpretação dos resultados obtidos, considerada a média do BH correspondente aos turnos de rega das culturas, sendo estes de 5 dias para o feijão e de 7 dias para o milho e para soja (VENZON; PAULA JÚNIOR, 2007).

Para cada intervalo de irrigação associou-se um intervalo de confiança de 95%, que corresponde a uma probabilidade de 95% das estimativas estarem situadas no referido intervalo.

Foi obtido um intervalo de confiança variável para cada intervalo de tempo correspondente à irrigação, sendo este estimado pela equação:

$$IC_{BH} = \overline{BH} \pm 1,96 \frac{\sigma}{\sqrt{N}} \quad (8)$$

em que: IC_{BH} = intervalo de confiança do BH para cada intervalo de tempo entre as irrigações; \overline{BH} = média do BH para cada intervalo de tempo entre as irrigações; σ = desvio padrão para cada intervalo de tempo entre as irrigações; e N = número de anos da série.

3.4.4. Vazão requerida para irrigação

Para os períodos de déficit hídrico, foram estimadas as vazões unitárias requeridas pela irrigação pela Equação 6, sendo o valor de eficiência de irrigação considerado de 0,85, obtido com base em Mantovani et al. (2009).

3.4.5. Disponibilidade hídrica de águas superficiais e áreas potencialmente irrigáveis

3.4.5.1. Vazões mínimas mensais e anual

A disponibilidade hídrica superficial foi caracterizada pela vazão mínima de sete dias de duração e período de retorno de 10 anos ($Q_{7,10}$).

As estimativas da $Q_{7,10}$ foram obtidas pelas equações disponíveis no estudo de regionalização realizado por Oliveira et al. (2013) e estão apresentadas na Tabela 5, tanto considerando a base anual como a base mensal.

Tabela 5 - Equações utilizadas para a regionalização das $Q_{7,10}$, anual e mensal (OLIVEIRA et al., 2013)

		Equação
$Q_{7,10}$	Anual	$Q_{7,10} = 0,1232 P_{eq\ 750}^{0,9697}$
	Janeiro	$Q_{7,10} = 0,2193 P_{eq\ 750}^{1,1071}$
	Fevereiro	$Q_{7,10} = 0,1952 P_{eq\ 750}^{1,0861}$
	Março	$Q_{7,10} = 0,1982 P_{eq\ 750}^{1,1544}$
	Abril	$Q_{7,10} = 0,1794 P_{eq\ 750}^{1,1953}$
	Maio	$Q_{7,10} = 0,1641 P_{eq\ 750}^{1,1605}$
	Junho	$Q_{7,10} = 0,1434 P_{eq\ 750}^{1,1280}$
	Julho	$Q_{7,10} = 0,1429 P_{eq\ 750}^{1,0646}$
	Agosto	$Q_{7,10} = 0,1451 P_{eq\ 750}^{1,0030}$
	Setembro	$Q_{7,10} = 0,1453 P_{eq\ 750}^{0,9634}$
	Outubro	$Q_{7,10} = 0,1187 P_{eq\ 750}^{0,9959}$
	Novembro	$Q_{7,10} = 0,0841 P_{eq\ 750}^{1,1547}$
Dezembro	$Q_{7,10} = 0,1458 P_{eq\ 750}^{1,1125}$	

P_{eq750}^1

Para a análise foi considerada 50% da $Q_{7,10}$, pois é o critério de outorga na dominialidade da bacia do Entre Ribeiros de acordo com a Resolução Conjunta SEMAD-IGAM nº 1548 de 29 de março de 2012.

Considerando a disponibilidade hídrica em base anual e mensal, obteve-se a área potencialmente irrigável, obtida pela Equação 7, e relacionou-se a A_{pi} com a área atualmente irrigada na bacia (Tabela 2), obtendo-se assim a relação da área irrigada que é suprida considerando a disponibilidade hídrica a fio d'água (R_{ai}), obtido pela equação:

$$R_{ai} = \frac{A_{pi}}{A_{ai}} 100 \quad (9)$$

¹ É a vazão equivalente ao volume precipitado considerando a subtração do fator de abstração da precipitação de 750 mm para a formação das vazões.

em que: R_{ai} é a relação da área irrigada que é suprida considerando a disponibilidade hídrica a fio d'água, %.

Os valores de R_{ai} menores que 100% indicam que a disponibilidade hídrica para outorga a fio d'água não é suficiente para atender a demanda correspondente a área atualmente irrigada. Quando a R_{ai} foi maior que 100% indica que a disponibilidade hídrica para outorga a fio d'água é suficiente para atender a demanda atual de irrigação da seção considerada.

3.4.5.2. Vazões médias mensais

Para a obtenção das vazões médias mensais utilizou-se dados de vazão do Sistema de Informações Hidrológicas (Hidroweb) da Agência Nacional de Águas (ANA), correspondente ao período de 1975 a 2006, que corresponde ao mesmo período base utilizado para a obtenção das equações de regionalização da $Q_{7,10}$. A localização das estações fluviométricas e meteorológicas é apresentada na Figura 5.

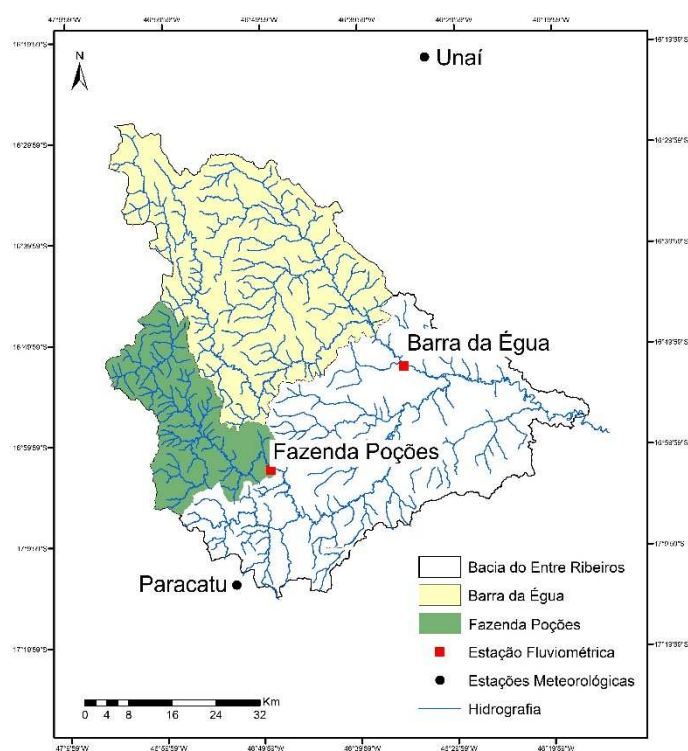


Figura 5 - Localização das estações meteorológicas e fluviométricas.

Para estimar a \bar{Q}_m na foz e nas seções consideradas no estudo foi adotado o procedimento descrito na sequência.

Obteve-se a vazão média mensal para cada estação fluviométrica utilizando o software SisCAH 1.0 - Sistema Computacional para Análises Hidrológicas (SOUZA, 2009), sendo que para o condomínio Barra da Égua foram consideradas as vazões médias mensais obtidas no SisCAH.

Obteve-se a vazão específica (q) para as estações fluviométricas Barra da Égua e Fazenda Poções, de acordo com a equação:

$$q_{ef} = \frac{\bar{Q}_m}{A_d} \quad (10)$$

em que: q_{ef} = vazão específica na estação fluviométrica, $m^3 s^{-1} ha^{-1}$; \bar{Q}_m = vazão média mensal, $m^3 s^{-1}$; e A_d = área de drenagem da seção de controle considerada, ha.

Para a obtenção da \bar{Q}_m na foz utilizou-se as vazões específicas das estações fluviométricas Barra da Égua e Boa Esperança e o fator de proporcionalidade de áreas apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Área de drenagem, vazão específica e percentual de área da estação fluviométrica em relação à área total da bacia.

Estação fluviométrica (EF)	Área de drenagem (km ²)	Vazão específica (L s ⁻¹ km ⁻²)	Percentual de área da EF em relação à área total da bacia (%)
Barra da Égua	1.594	22,0	75
Fazenda Poções	533	32,9	25

As vazões médias mensais na foz da bacia foram estimada pela equação:

$$\bar{Q}_{foz} = [(0,25 q_{FP}) + (0,75 q_{BE})] A_{foz} \quad (11)$$

em que: \bar{Q}_{foz} = vazão média mensal na foz, $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$; q_{FP} = vazão média mensal específica na estação fluviométrica da Fazenda Poções, $\text{m}^3 \text{s}^{-1} \text{ha}^{-1}$; q_{BE} = vazão média mensal específica na estação fluviométrica Barra da Égua, $\text{m}^3 \text{s}^{-1} \text{ha}^{-1}$; e A_{foz} = área de drenagem a montante da seção correspondente a foz da bacia, ha.

Para determinar a \bar{Q}_m nos condomínios, Boa Esperança, Vereda Grande e São Pedro, foram consideradas as vazões médias mensais na foz da bacia, apresentadas na Tabela 7.

Tabela 7 - Vazões médias mensais na foz da bacia

Mês	Q_{foz} ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)
Janeiro	98,30
Fevereiro	93,77
Março	86,93
Abril	62,38
Maio	33,92
Junho	23,49
Julho	18,11
Agosto	14,20
Setembro	12,76
Outubro	17,70
Novembro	39,25
Dezembro	82,41

As estimativas das \bar{Q}_m nestes condomínios foram obtidas pela equação:

$$\bar{Q}_c = \bar{Q}_{\text{foz}} \frac{A_{\text{sc}}}{A_{\text{foz}}} \quad (12)$$

em que: \bar{Q}_c = vazão média mensal no condomínio considerado, $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$; e A_{sc} = área de drenagem do condomínio considerado, ha;

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados são apresentados considerando os planos de rotação entre o milho safrinha e o feijão das águas; entre o feijão das secas e o milho; e entre o milho safrinha e a soja.

Para cada plano de rotação são apresentados o balanço hídrico, a vazão unitária requerida para irrigação, as vazões médias mensais, a disponibilidade hídrica permissível para outorga em bases anual e mensais e a área potencialmente irrigável considerando estas disponibilidades hídricas nas seções de controle correspondentes à foz da bacia e a Boa Esperança, para as quais estas variáveis são analisadas para cada data de semeadura proposta. Para os demais condomínios é apresentada apenas à análise da relação da área atualmente irrigada considerando a disponibilidade hídrica em bases anual e mensais e a área atualmente irrigada.

4.1. Rotação entre o milho safrinha e feijão das águas

4.1.1. Seção de controle correspondente a foz da bacia Entre Ribeiros

4.1.1.1 Semeadura do milho em 1/fevereiro e do feijão em 1/outubro (cenário 1)

Na Figura 6 são apresentados o balanço hídrico (Figura 6a), as vazões unitárias requeridas para irrigação para as datas de semeaduras do milho em 1/fevereiro e do feijão em 1/outubro (cenário 1), as disponibilidades hídricas para concessão de outorga em bases anual e mensais e na manutenção de uma vazão remanescente de 50% da $Q_{7,10}$ anual e as áreas potencialmente irrigáveis

(Figura 6b) considerando estas disponibilidades hídricas para a seção de controle correspondente à foz da bacia.

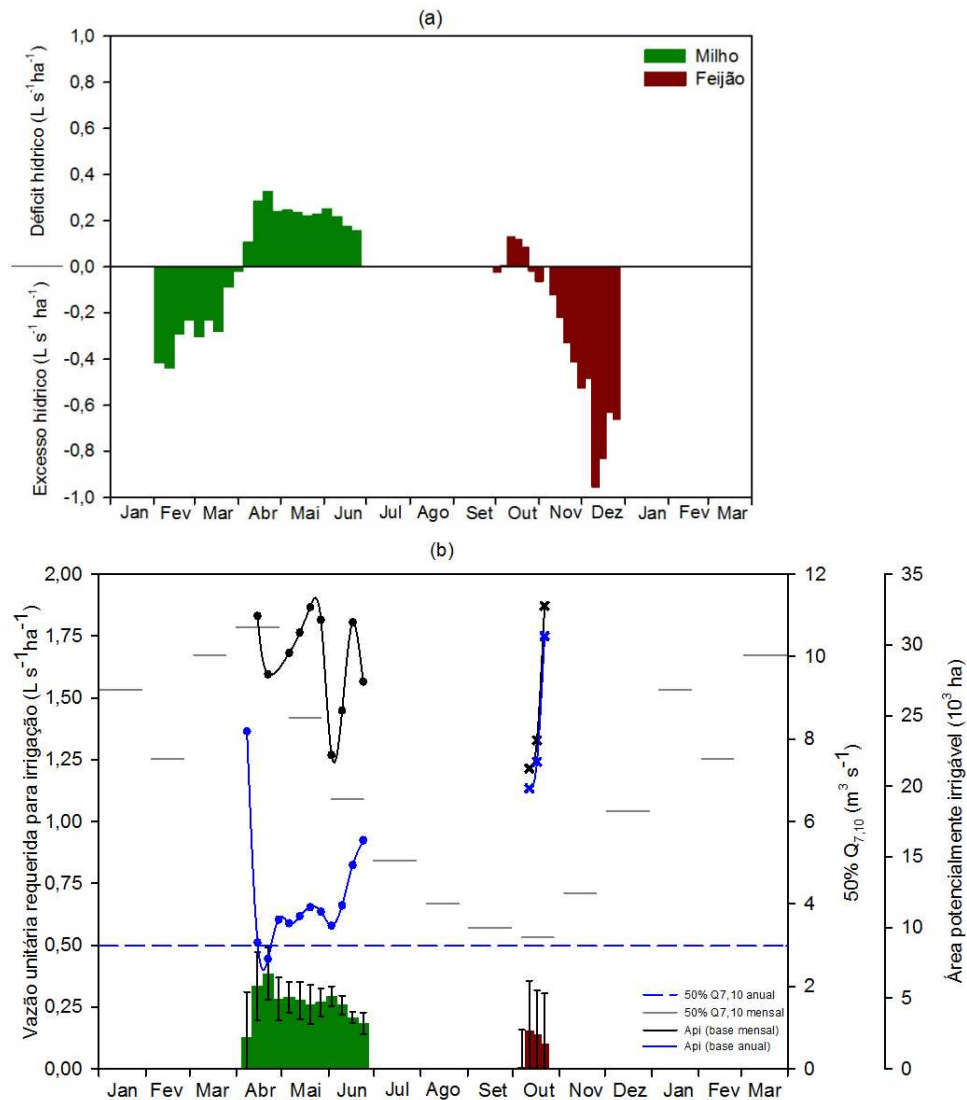


Figura 6 - (a) Balanço hídrico, (b) vazão unitária requerida pela irrigação para as semeaduras do milho em 1/fev e do feijão em 1/out (cenário 1), disponibilidade hídrica para concessão de outorga em base anual e mensal e áreas potencialmente irrigáveis com base nestas disponibilidades hídricas.

A partir do balanço hídrico, correspondente a períodos de sete dias para o milho e de cinco dias para o feijão, é possível identificar para o cultivo do milho excesso hídrico nos meses de fevereiro e março, e déficit hídrico nos meses de abril, maio e junho, resultados que são condizentes com os obtidos por Guimarães et al. (2004), que também identificaram os meses de abril a setembro

como o período de déficit hídrico, motivo pelo qual não recomendam a semeadura do milho de abril a setembro em condições de sequeiro.

Embora não estejam representados na Figura 6a, estão associados ao BH intervalos de confiança ao nível de 95%, sendo que os déficits hídricos para a cultura do milho variam de $0,11 \text{ L s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ (IC_{BH} : limite inferior = 0 e limite superior = $0,26 \text{ L s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$) a $0,33 \text{ L s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ (IC_{BH} : 0,23 a $0,42 \text{ L s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$).

As vazões unitárias requeridas para a suplementação da demanda de água pela irrigação variam de $0,13 \text{ L s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ (IC_{BH} : 0 a $0,31 \text{ L s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$) a $0,39 \text{ L s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ (IC_{BH} : 0,28 a $0,49 \text{ L s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$), sendo que a máxima demanda é constatada em abril (Figura 6b).

Mesmo considerando o limite superior correspondente a máxima demanda do milho ($0,49 \text{ L s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$) este apresenta uma magnitude inferior a 50% das vazões unitárias normalmente concedidas para fins de irrigação na bacia que são frequentemente da ordem de $1 \text{ L s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ (DAB, 2003).

Com base na quantidade de água permissível para a concessão de outorga em condições a fio d'água, e que corresponde a 50% da $Q_{7,10}$ anual (critério de concessão de outorga para as condições vigentes na bacia do ER), a área potencialmente irrigável, correspondente à demanda hídrica máxima do milho de $0,39 \text{ L s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$, é de aproximadamente 7.700 ha (IC_{BH} : 6.092 a 10.735 ha).

Quando considerada a disponibilidade hídrica a fio d'água em uma base mensal a A_{pi} passa a um valor de aproximadamente 22.200 ha (IC_{BH} : 19.584 a 25.630 ha), o que corresponde a um aumento de cerca de três vezes em relação à A_{pi} obtida quando da consideração do critério anual.

Dessa forma, a utilização de um critério único, correspondente a um valor outorgável fixo durante todo ano, restringe expressivamente o uso d'água nos meses fora do período de estiagem.

Em abril, mês de máxima demanda de irrigação pelo milho, a consideração das vazões permissíveis para outorga em base mensal representa um aumento na quantidade de água disponível para outorga de 359%, resultado compatível com os obtidos por Oliveira et al. (2013) e Bof et al. (2013), que evidenciaram um melhor aproveitamento do uso da água quando do uso do critério mensal em substituição ao anual.

Para o cultivo do feijão das águas ocorre excesso hídrico nos meses de novembro e dezembro. Os déficits hídricos se concentram no mês de outubro e

oscilam de 0,004 (IC_{BH}: 0 a 0,14) L s⁻¹ ha⁻¹ a 0,13 (IC_{BH}:0 a 0,30) L s⁻¹ ha⁻¹. Portanto, não é recomendável o plantio do feijão em condições de sequeiro em outubro, tendo em vista a necessidade de irrigação nos estádios iniciais de desenvolvimento da cultura.

A vazão requerida para a suplementação da demanda de água pela irrigação do feijão varia de 0,005 (IC_{BH}: 0 a 0,16) L s⁻¹ ha⁻¹ a 0,15 (IC_{BH}: 0 a 0,36) L s⁻¹ ha⁻¹, sendo a máxima demanda constatada no 2º decêndio de outubro, e portanto, considerando a disponibilidade hídrica anual, a área potencialmente irrigável é de aproximadamente 19.850 ha (IC_{BH}: variando de 8.360 ha a uma área sem restrição quando considerado o li). Com base na disponibilidade hídrica estimada em base mensal a A_{pi} é ligeiramente superior, e corresponde a 21.295 ha (IC_{BH}: 8.940 ha a uma área sem restrição considerando o limite inferior (li)), fazendo com que, para esta condição, o efeito da substituição do critério anual pelo mensal seja pouco efetivo, pois os déficits hídricos ocorrem em um período de menor disponibilidade hídrica para concessão de outorga em base mensal, diferindo em apenas 7% da disponibilidade hídrica anual.

Segundo a AAPER a área atualmente irrigada na bacia é de 21.298 ha, e quando considerada a disponibilidade hídrica para outorga estimada em base anual a A_{pi} do milho (7.700 ha) e do feijão (19.850 ha) que são inferiores a área atualmente irrigada, entretanto a utilização da disponibilidade hídrica estimada em base mensal para concessão de outorga permitiria uma A_{pi} de 22.203 ha para o milho e de 21.295 ha para o feijão, conseqüentemente atendendo as demandas de complementação hídrica para fins de irrigação.

4.1.1.2. Semeadura do milho em 1/março e do feijão em 1/novembro (cenário 2)

Na Figura 7 estão apresentados o balanço hídrico (Figura 7a), as vazões unitárias requeridas pela irrigação para as semeaduras do milho em 1/março e do feijão em 1/novembro (cenário 2), as disponibilidades hídricas em bases anual e mensais e a área potencialmente irrigável considerando estas disponibilidades hídricas para a seção de controle correspondente à foz da bacia (Figura 7b).

Para a cultura do feijão não ocorrem períodos de déficit hídrico, assim é recomendável o cultivo em condições de sequeiro.

Para o cultivo do milho ocorre excesso hídrico em março e déficit hídrico nos meses de abril, maio, junho e julho, período que foi superior em um mês em relação ao déficit hídrico constatado no cenário 1.

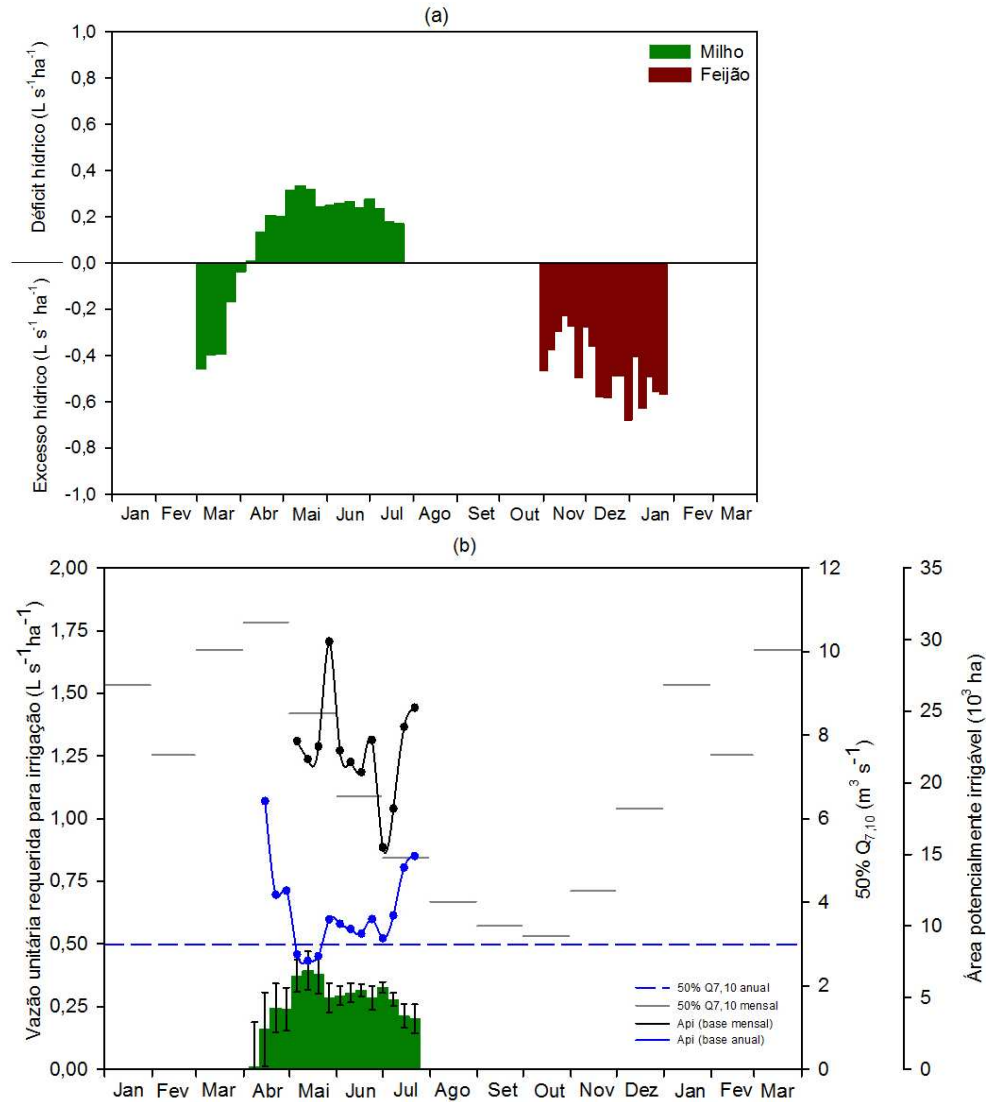


Figura 7 - (a) Balanço hídrico, (b) vazão unitária requerida pela irrigação para as semeaduras do milho em 1/mar e do feijão em 1/nov (cenário 2), disponibilidade hídrica para concessão de outorga em base anual e mensal e áreas potencialmente irrigáveis com base nestas disponibilidades hídricas.

Os déficits hídricos para o cultivo do milho oscilam de 0,009 (IC_{BH}: 0 a 0,16) L s⁻¹ ha⁻¹ a 0,33 (IC_{BH}: 0,27 a 0,40) L s⁻¹ ha⁻¹. Sendo associado a estes déficits hídricos, as vazões unitárias requeridas para a complementação da

irrigação do milho oscilam de 0,01 (IC_{BH}: 0 a 0,19) L s⁻¹ ha⁻¹ a 0,39 (IC_{BH}: 0,32 a 0,47) L s⁻¹ ha⁻¹, sendo a máxima demanda hídrica constatada no mês de maio.

Com base na disponibilidade hídrica a fio d'água anual, a área potencialmente irrigável, para a máxima demanda hídrica do milho de 0,39 L s⁻¹ ha⁻¹, é de aproximadamente 7.570 ha (IC_{BH}: 6.340 a 9.400 ha).

Considerando a disponibilidade hídrica mensal a fio d'água, a A_{pi} é de 15.499 ha (IC_{BH}: 14.529 a 16.609 ha), o que corresponde a um aumento de cerca de duas vezes em relação a A_{pi} obtida quando da consideração da disponibilidade hídrica anual.

Quando considerada a disponibilidade hídrica para outorga, estimada em base anual, a A_{pi} do milho (7.570 ha) é inferior a área atualmente irrigada na bacia (21.298 ha). Entretanto, a utilização da disponibilidade hídrica estimada em base mensal para concessão de outorga permitiria uma A_{pi} de aproximadamente 15.500 ha, que conseqüentemente atenua, mas ainda não é suficiente para garantir o suprimento da A_{ai}, sendo necessária a adoção de práticas de regularização de vazões.

Na Figura 8 estão apresentadas as vazões requeridas para suplementação das demandas de irrigação para suprir a área atualmente irrigada da bacia para a semeadura do milho em 1/março e as vazões médias mensais para a seção de controle correspondente à foz da bacia.

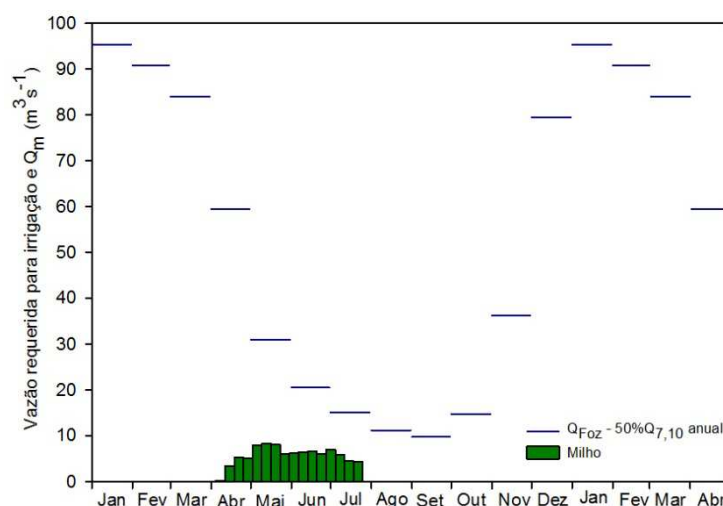


Figura 8 - Vazões requeridas pela irrigação para suprir a A_{ai} para a semeadura do milho em 1/março (cenário 2) e vazões médias mensais para a seção de controle correspondente à foz da bacia.

Na Figura 8 evidencia-se que as vazões requeridas para a suplementação da demanda de água pela irrigação do milho são inferiores às vazões médias mensais, indicando que o volume de reservação pode ser considerado pequeno e que o projeto de um reservatório capaz de regularizar uma vazão inferior à média mensal já atenderia a necessidade de suplementação de água à cultura pela irrigação.

4.1.1.3. Semeadura do milho em 1/abril e do feijão em 1/dezembro (cenário 3)

Na Figura 9 estão apresentados o balanço hídrico (Figura 9a), as vazões unitárias requeridas pela irrigação para as semeaduras do milho em 1/abril e do feijão em 1/dezembro (cenário 3), as disponibilidades hídricas em bases anual e mensais e as áreas potencialmente irrigáveis com base nestas disponibilidades hídricas para a seção de controle correspondente a foz da bacia (Figura 9b).

A partir do BH é possível identificar, para a cultura do feijão, somente períodos de excesso hídrico, e assim como no cenário 2 é recomendável o cultivo em condições de sequeiro.

Para a cultura do milho ocorre excesso hídrico somente no mês de abril e déficit hídrico nos meses de maio, junho, julho e agosto. A medida que atrasa-se a data de semeadura do milho aumenta o período de déficit no qual a cultura é exposta.

Os déficits hídricos para o milho oscilam de 0,04 (IC_{BH} : 0 a 0,14) $L s^{-1} ha^{-1}$ a 0,36 (IC_{BH} : 0,34 a 0,38) $L s^{-1} ha^{-1}$. Associado aos déficits hídricos as vazões unitárias requeridas para a suplementação de água pela irrigação oscilam de 0,05 (IC_{BH} : 0 a 0,16) $L s^{-1} ha^{-1}$ a 0,42 (IC_{BH} : 0,40 a 0,45) $L s^{-1} ha^{-1}$, sendo a máxima demanda hídrica constatada em junho.

Com base na disponibilidade hídrica a fio d'água anual, a área potencialmente irrigável é de aproximadamente 7.086 ha (IC_{BH} : 6.665 a 7.564 ha). Considerando a disponibilidade hídrica mensal, a A_{pi} é de 10.744 ha (IC_{BH} : 10.000 a 11.603 ha), o que corresponde a um aumento de cerca de 1,5 vezes da A_{pi} quando considerada a disponibilidade hídrica anual.

A consideração da disponibilidade hídrica estimada em base mensal promove o suprimento de uma A_{pi} de 10.744, que conseqüentemente atenua,

mas ainda não é suficiente para garantir o suprimento da A_{ai} sendo necessária a adoção de práticas de regularização de vazões.

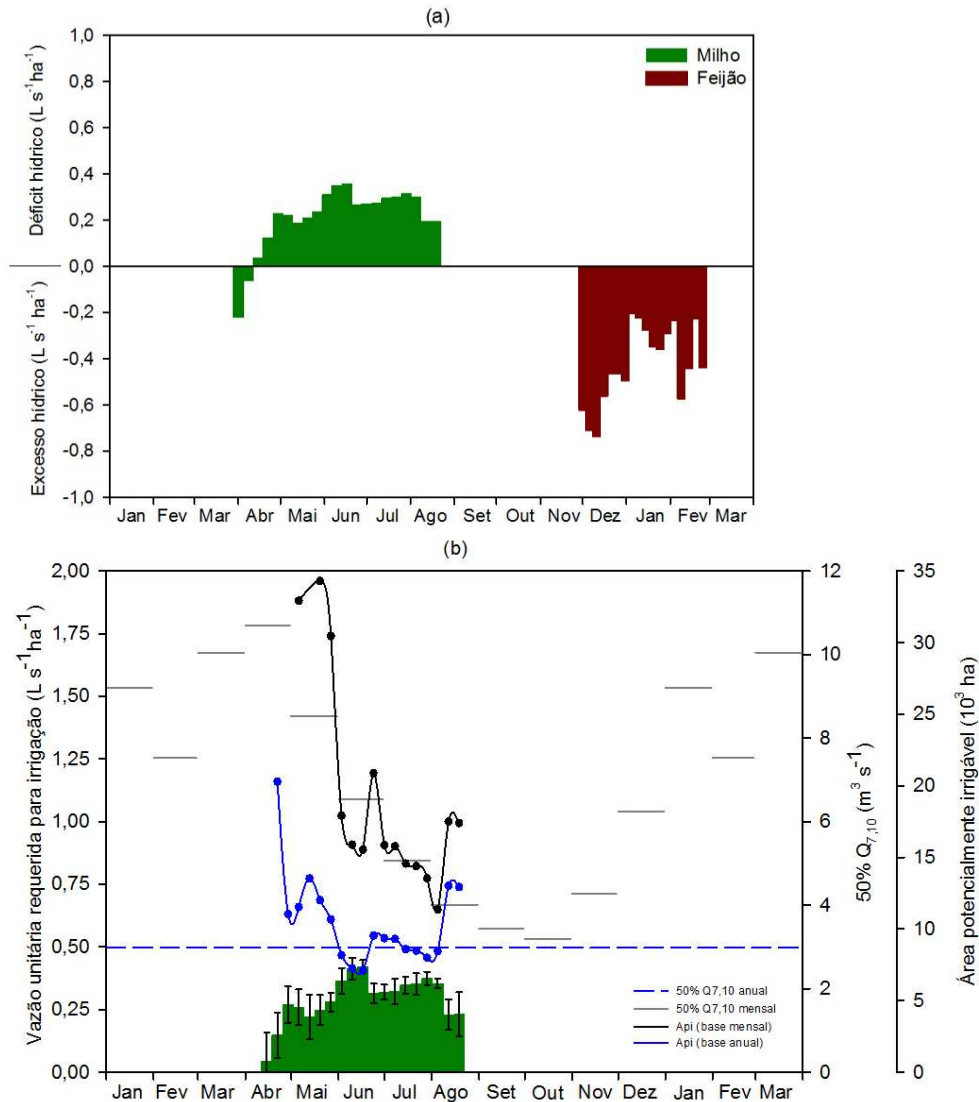


Figura 9 - (a) Balanço hídrico, (b) vazão unitária requerida pela irrigação para as semeaduras do milho em 1/abr e do feijão em 1/dez (cenário 3), disponibilidade hídrica para concessão de outorga em base anual e mensal e áreas potencialmente irrigáveis com base nestas disponibilidades hídricas.

Na Figura 10 estão apresentadas as vazões requeridas para a suplementação da demanda de água pela irrigação para suprir a área atualmente irrigada da bacia (21.298 ha) para a semeadura do milho em 1/abril e as vazões médias mensais para a seção de controle correspondente da foz da bacia.

Evidencia-se que as vazões requeridas para a suplementação da demanda de água pela irrigação do milho são inferiores às vazões médias mensais, indicando que o volume de reservação pode ser considerado pequeno e que o projeto de um reservatório capaz de regularizar uma vazão inferior à média mensal já atenderia a necessidade de suplementação de água à cultura pela irrigação.

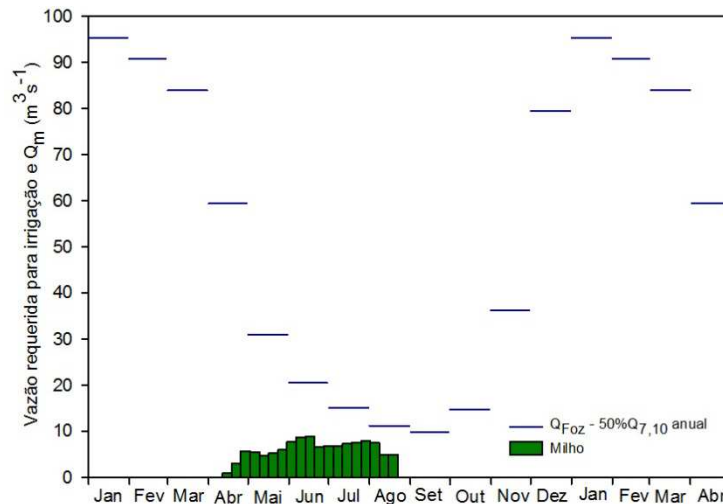


Figura 10 - Vazões requeridas pela irrigação para suprir a A_{ai} para a semeadura do milho em 1/abril (cenário 3) e vazões médias mensais para a seção de controle correspondente à foz da bacia.

4.1.1.4. Semeadura do milho em 1/maio e do feijão em 1/janeiro (cenário 4)

Na Figura 11 estão apresentados o balanço hídrico (Figura 11a), as vazões unitárias requeridas pela irrigação para as semeaduras do milho em 1/maio e do feijão em 1/janeiro (cenário 4), as disponibilidades hídricas em bases anual e mensais e as áreas potencialmente irrigáveis com base nestas disponibilidades hídricas para a seção de controle correspondente a foz da bacia (Figura 11b).

Para a cultura do feijão ocorre somente períodos de excesso hídrico, assim como nos cenários 2 e 3, sendo recomendável o cultivo em condições de sequeiro.

Para o milho ocorre déficit hídrico durante todo ciclo de cultivo, estes déficits oscilam de 0,08 (IC_{BH}: 0,002 a 0,14) L s⁻¹ ha⁻¹ a 0,39 (IC_{BH}: 0,09 a 0,45) L s⁻¹ ha⁻¹.

Associado aos déficits hídricos, as vazões unitárias requeridas para suplementação da demanda hídrica para irrigação do milho oscilam de 0,09 (IC_{BH}: 0,02 a 0,17) L s⁻¹ ha⁻¹ a 0,45 (IC_{BH}: 0,40 a 0,50) L s⁻¹ ha⁻¹, sendo que a máxima demanda hídrica foi constatada no mês de julho.

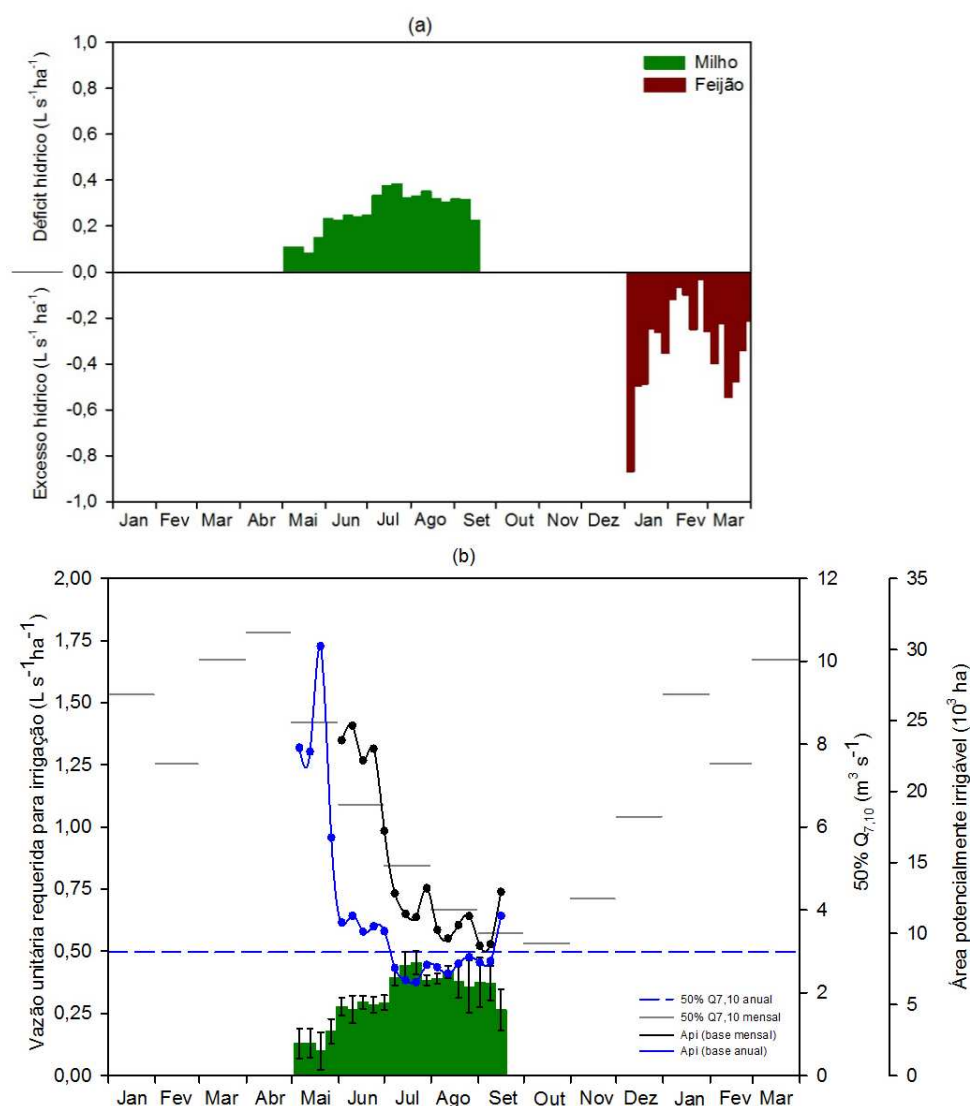


Figura 11 - (a) Balanço hídrico, (b) vazão unitária requerida pela irrigação para as semeaduras do milho em 1/mai e do feijão em 1/jan (cenário 4), disponibilidade hídrica para concessão de outorga em base anual e mensal e áreas potencialmente irrigáveis com base nestas disponibilidades hídricas.

Considerando a disponibilidade hídrica a fio d'água anual, a área potencialmente irrigável é de aproximadamente 6.574 ha (IC_{BH}: 5.957 a 7.335 ha).

Com base na disponibilidade hídrica em base mensal a A_{pi} é de aproximadamente 9.145 ha (IC_{BH}: 7.232 a 12.433 ha), o que corresponde a um aumento de cerca 1,39 vezes em relação a A_{pi} quando considerada a disponibilidade hídrica anual.

Quando considerada a disponibilidade hídrica para outorga estimada em base mensal a A_{pi} do milho é inferior a área atualmente irrigada na bacia. Tal procedimento atenua, mas ainda não é suficiente para garantir o suprimento da A_{ai} , sendo necessária a adoção de práticas de regularização de vazões.

Na Figura 12 estão apresentadas as vazões requeridas para suplementação das demandas de irrigação para suprir a área atualmente irrigada da bacia para a semeadura do milho em 1/maio e as vazões médias mensais para a seção correspondente a foz da bacia.

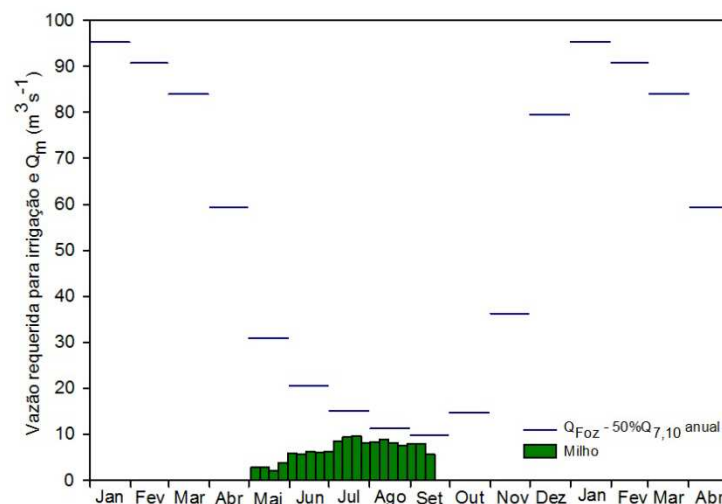


Figura 12 - Vazões médias mensais e vazões requeridas pela irrigação para suprir a área atualmente irrigada para a semeadura do milho em 1/maio.

Às vazões médias mensais são superiores as vazões requeridas para a suplementação da demanda de água pela irrigação do milho, indicando que o volume de reservação pode ser considerado pequeno e que o projeto de um reservatório capaz de regularizar uma vazão inferior à média mensal já atenderia a necessidade de suplementação de água à cultura pela irrigação.

4.1.2. Seção de controle correspondente a Boa Esperança

4.1.2.1. Semeadura do milho em 1/fevereiro e do feijão em 1/outubro (cenário 1)

Na Figura 13 estão apresentadas as vazões unitárias requeridas pela irrigação para as semeaduras do milho em 1/fevereiro e do feijão em 1/outubro (cenário 1), descritas no item 4.1.1.1. Estão representadas também, as disponibilidades hídricas anual e mensais e as áreas potencialmente irrigáveis com base nestas disponibilidades hídricas para a seção de controle correspondente a Boa Esperança.

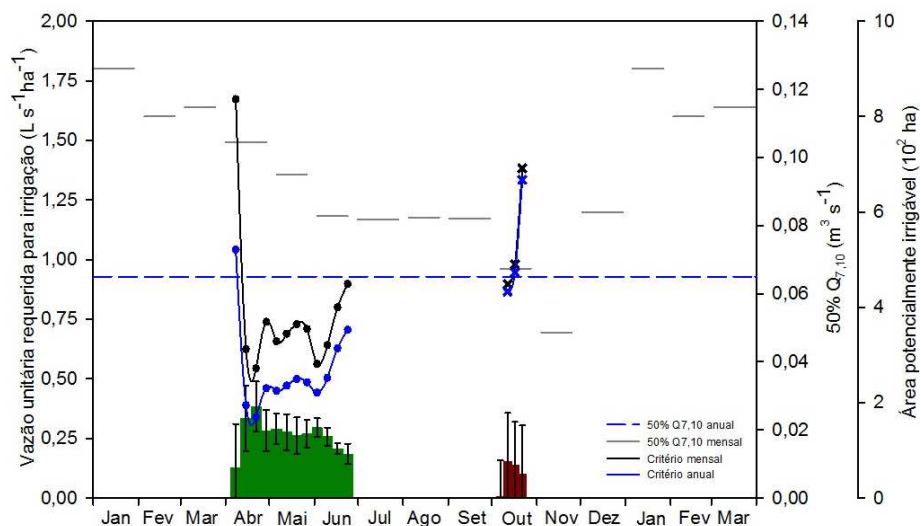


Figura 13 - Vazão unitária requerida pela irrigação para as semeaduras do milho em 1/fev e do feijão em 1/out (cenário 1), disponibilidade hídrica para concessão de outorga em base anual e mensal e áreas potencialmente irrigáveis com base nestas disponibilidades hídricas, para a seção de controle Boa Esperança.

Considerando a disponibilidade hídrica a fio d'água em base anual (critério vigente para concessão de outorga na dominialidade da bacia do ER), a área potencialmente irrigável, para a máxima demanda hídrica do milho, é de 171 ha (IC_{BH}: 133 a 234 ha).

Com base na disponibilidade hídrica mensal a A_{pi} é de 272 ha (IC_{BH} : 213 a 376 ha), que corresponde a um aumento de 1,59 vezes da A_{pi} quando da consideração da disponibilidade hídrica anual.

Para o cultivo do feijão, quando considerada a disponibilidade hídrica anual, a área potencialmente irrigável é de 433 ha (IC_{BH} : 182 ha a uma área sem restrição considerando o li). E com base na disponibilidade hídrica mensal a A_{pi} é de 448 ha (IC_{BH} : 188 a uma área sem restrição considerando o li). A diferença entre as A_{pi} é pequena devido ao mês de outubro ser o período de menor disponibilidade hídrica estimada em base mensal.

No condomínio Boa Esperança, segundo a AAPER a área atualmente irrigada é de 4.991 ha, e quando considerada a disponibilidade hídrica estimada em base anual a A_{pi} do milho (171 ha) e do feijão (433 ha) são inferiores a A_{ai} , entretanto, a utilização da disponibilidade hídrica em base mensal permitiria uma A_{pi} de 272 ha para o milho e 448 ha para o feijão, conseqüentemente mesmo a utilização da disponibilidade hídrica estimada em base mensal garante o suprimento de apenas 5,5% (milho) e 9% (feijão) da A_{ai} , sendo necessário a adoção de práticas de regularização de vazões.

Na Figura 14 estão apresentadas as vazões requeridas para suplementação das demandas de irrigação para suprir a área atualmente irrigada da bacia para a semeadura do milho em 1/abril e do feijão em 1/outubro (cenário 2) e as vazões médias mensais.

Evidencia-se que as vazões requeridas para suplementação das demandas de irrigação do milho e do feijão são superiores as vazões médias mensais, indicando que o volume de reservação é alto e que o projeto de um reservatório deverá considerar as vazões dos meses anteriores para garantir a suplementação de água para as culturas.

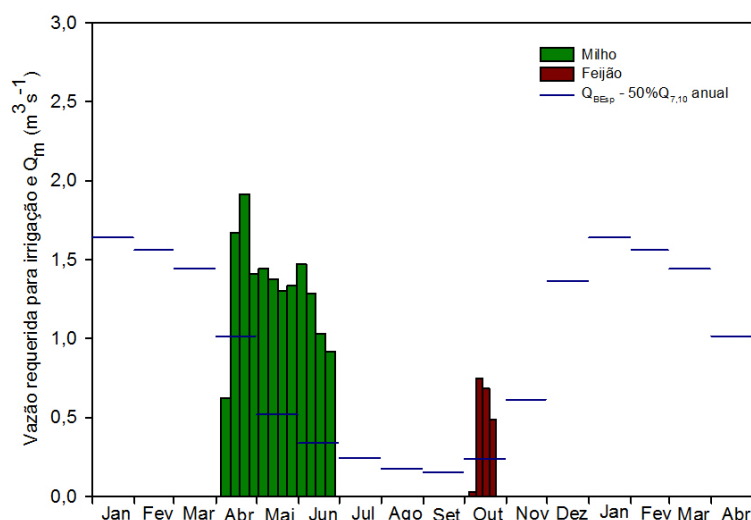


Figura 14 - Vazões requeridas pela irrigação para suprir a A_{Ai} para a semeadura do milho em 1/fev e do feijão em 1/out (cenário 1) e vazões médias mensais para a seção de controle correspondente à Boa Esperança.

4.1.2.2. Semeadura do milho em 1/março e do feijão em 1/novembro (cenário 2)

Na Figura 15 estão apresentadas as vazões unitárias requeridas pela irrigação para a semeadura do milho em 1/mar (cenário 2), descritas no item 4.1.1.2., bem como as disponibilidades hídricas anual e mensais e as áreas potencialmente irrigáveis com base nestas disponibilidades hídricas para a seção de controle correspondente a Boa Esperança.

Considerando as disponibilidades hídricas em base anual a área potencialmente irrigável é de 165 ha (IC_{BH} : 138 a 205 ha). E com base nas disponibilidades hídricas mensais a A_{pi} é de 241 ha (IC_{BH} : 202 a 299 ha), que corresponde a um aumento de 1,46 vezes, quando da consideração da disponibilidade hídrica anual.

Embora a consideração da disponibilidade hídrica estimada em base mensal promova uma atenuação das demandas de complementação hídrica para fins de irrigação, esta não é suficiente para garantir o suprimento de água da área atualmente irrigada, sendo necessário adotar práticas de regularização de vazões.

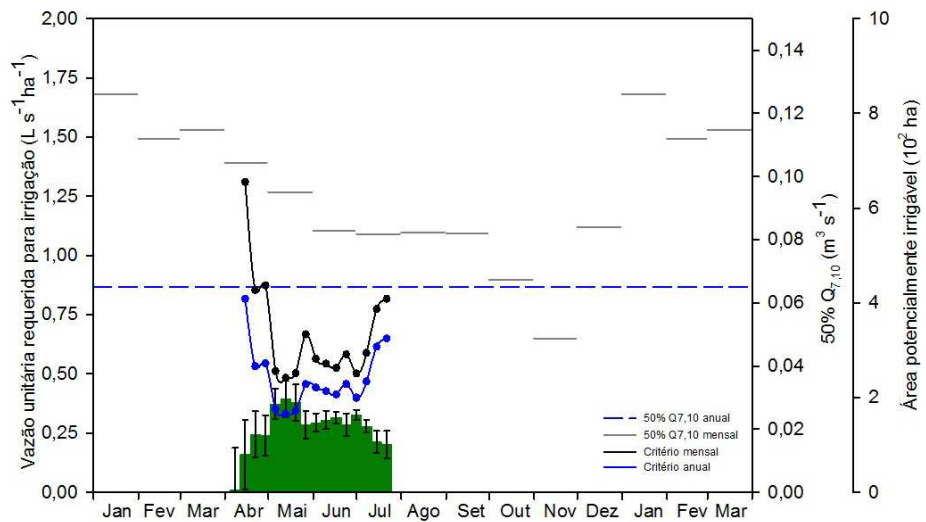


Figura 15 - Vazão unitária requerida pela irrigação para as semeaduras do milho em 1/mar e do feijão em 1/nov (cenário 2), disponibilidade hídrica para concessão de outorga em base anual e mensal e áreas potencialmente irrigáveis com base nestas disponibilidades hídricas, para a seção de controle Boa Esperança.

Na Figura 16 estão apresentadas as vazões requeridas para suplementação das demandas de irrigação para suprir a área atualmente irrigada no condomínio para a semeadura do milho em 1/março e as vazões médias mensais.

As vazões requeridas para a suplementação da demanda de irrigação do milho foram superiores as vazões médias mensais, assim como evidenciado no cenário 1, indicando que o volume de reservação é alto e que o projeto de um reservatório deverá considerar as vazões dos meses anteriores para garantir a suplementação de água para as culturas.

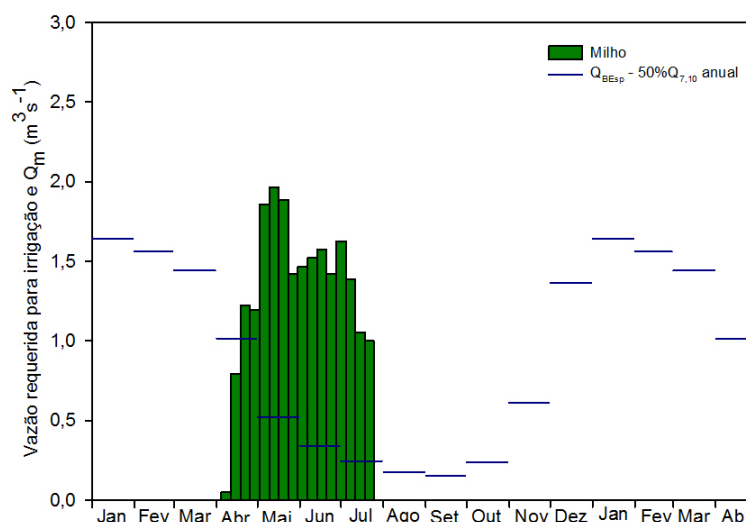


Figura 16 - Vazões requeridas pela irrigação para suprir a A_{ai} para a semeadura do milho em 1/mar (cenário 2) e vazões médias mensais para a seção de controle correspondente à Boa Esperança.

4.1.2.3. Semeadura do milho em 1/abril e do feijão em 1/dezembro (cenário 3)

Na Figura 17 estão apresentadas as vazões unitárias requeridas pela irrigação para a semeadura do milho em 1/abril, no qual está descrita no item 4.1.1.3., estão representadas também as disponibilidades hídricas anual e mensais e as áreas potencialmente irrigáveis com base nestas disponibilidades hídricas para a seção de controle correspondente a Boa Esperança.

Considerando a disponibilidade hídrica em base anual, a área potencialmente irrigável é de 155 ha (IC_{BH} : 145 a 165 ha). E quando considerada a disponibilidade hídrica mensal a A_{pi} é 197 ha (IC_{BH} : 185 a 210 ha), o que corresponde a um aumento de cerca de 1,27 vezes da A_{pi} quando considerada a disponibilidade hídrica anual.

Embora a consideração da disponibilidade hídrica estimada em base mensal proporcione um aumento da A_{pi} , esta não garante o suprimento da área atualmente irrigada no condomínio, sendo necessário a adoção de práticas de regularização de vazões.

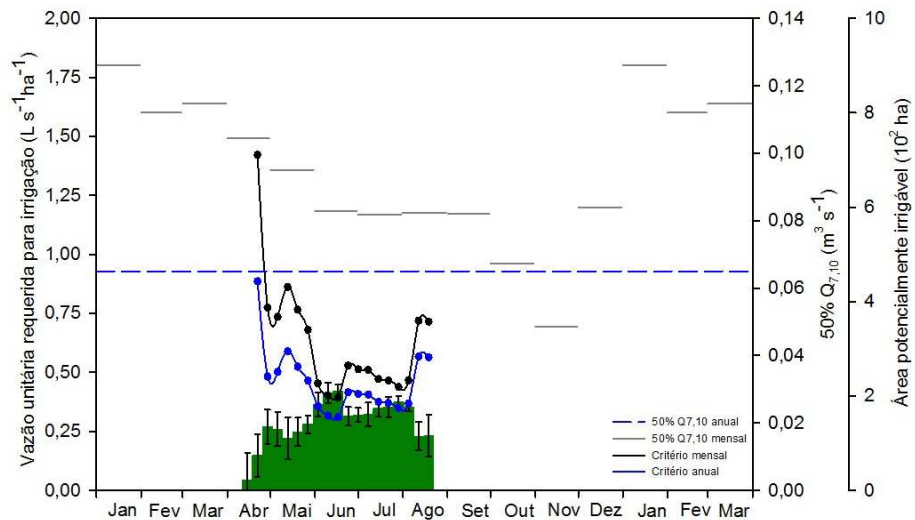


Figura 17 - Vazão unitária requerida pela irrigação para a semeadura do milho em 1/abr (cenário 3), disponibilidade hídrica para concessão de outorga em base anual e mensais e áreas potencialmente irrigáveis com base nestas disponibilidades hídricas, para a seção de controle Boa Esperança.

Na Figura 18 estão apresentadas as vazões requeridas para suplementação das demandas de irrigação para suprir a área atualmente irrigada no condomínio Boa Esperança para a semeadura do milho em 1/abril e as vazões médias mensais.

Evidencia-se que as vazões requeridas para a suplementação da demanda de água pela irrigação do milho são superiores as vazões médias mensais, indicando que o volume de reservação é alto e que o projeto de um reservatório deverá considerar as vazões dos meses anteriores para garantir a suplementação de água para à cultura.

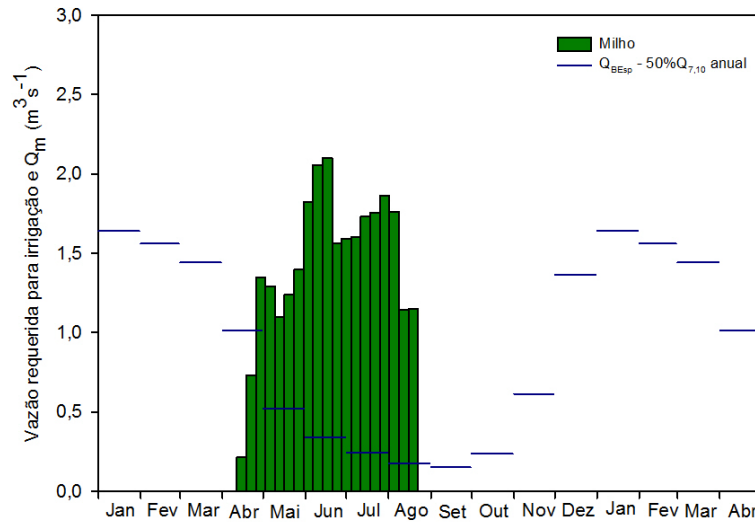


Figura 18 - Vazões requeridas pela irrigação para suprir a A_{ai} para a semeadura do milho em 1/abr e do feijão em 1/out (cenário 3) e vazões médias mensais para a seção de controle correspondente à Boa Esperança.

4.1.2.4. Semeadura do milho em 1/maio e do feijão em 1/janeiro (cenário 4)

Na Figura 19 estão apresentadas as vazões unitárias requeridas pela irrigação para a semeadura do milho em 1/maio (cenário 4), no qual está descrita no item 4.1.1.4., estão representadas as disponibilidades hídricas anual e mensais e as áreas potencialmente irrigáveis com base nestas disponibilidades hídricas para a seção de controle correspondente a Boa Esperança.

Considerando a disponibilidade hídrica anual, a área potencialmente irrigável, para a máxima demanda hídrica do milho, é de 143 ha (IC_{BH}: 130 a 160 ha). E com base na disponibilidade hídrica mensal a A_{pi} é de 180 ha (IC_{BH}: 163 a 201 ha), o que corresponde a um aumento de cerca 1,26 vezes quando da consideração da disponibilidade hídrica anual.

Embora a consideração da disponibilidade hídrica estimada em base mensal promova uma atenuação nas demandas de complementação hídrica de irrigação, esta não garante o suprimento da área atualmente irrigada, sendo necessário adotar práticas de regularização de vazões.

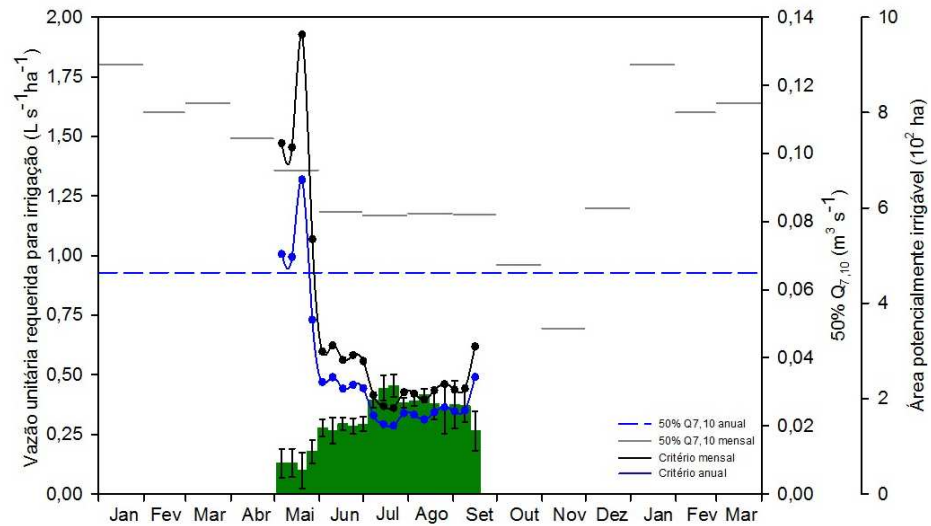


Figura 19 - Vazão unitária requerida pela irrigação para a sementeiras do milho em 1/mai (cenário 4), disponibilidades hídricas para concessão de outorga em base anual e mensais e áreas potencialmente irrigáveis com base nestas disponibilidades hídricas, para a seção de controle Boa Esperança.

Na Figura 20 estão apresentadas as vazões requeridas para suplementação das demandas de irrigação para suprir a área atualmente irrigada no condomínio Boa Esperança para a sementeira do milho em 1/maio e as vazões médias mensais.

As vazões requeridas para a complementação das demandas hídricas de irrigação do milho foram superiores as vazões médias mensais, indicando que o volume de reservação é alto e que o projeto de um reservatório deverá considerar as vazões dos meses anteriores para garantir a suplementação de água para à cultura.

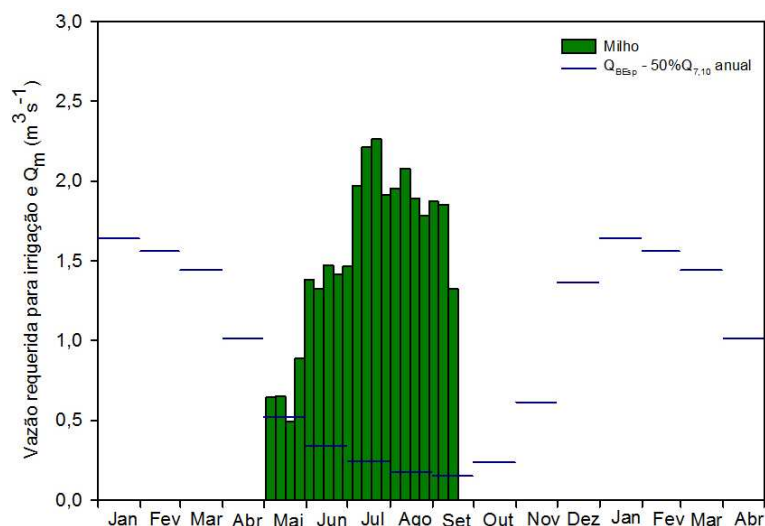


Figura 20 - Vazões requeridas pela irrigação para suprir a A_{ai} para a semeadura do milho em 1/mai (cenário 4) e vazões médias mensais para a seção de controle correspondente à Boa Esperança.

4.1.3. Relação entre a área potencialmente irrigável e a área atualmente irrigada

Na Figura 21 estão apresentadas as relações entre as áreas potencialmente irrigáveis, estimadas com base nas disponibilidades hídricas anual e mensais, e a área atualmente irrigada em cada condomínio, para diferentes datas de semeadura.

Dentre os cenários analisados, apenas no cenário 1 houve necessidade de irrigação para a cultura do feijão, sendo que nos demais cenários o feijão pode ser cultivado em condições de sequeiro, motivo pelo qual apenas para este cenário foi representada a cultura do feijão.

Considerando a disponibilidade hídrica para outorga estimada em base anual, esta não é suficiente para atender as demandas de complementação hídrica de irrigação do milho da A_{ai} em nenhum dos condomínios e em nenhuma data de semeadura analisada.

Quando considerada a disponibilidade hídrica mensal para concessão de outorga, embora promova uma atenuação do suprimento das demandas de complementação hídrica de irrigação, esta não é suficiente para o suprimento da área atualmente irrigada nos cenários 2, 3 e 4, exceto no condomínio São Pedro

no qual nos cenários 2 e 3 a disponibilidade hídrica mensal atende as demandas de complementação hídrica para fins de irrigação da A_{ai} .

No cenário 1 a disponibilidade hídrica para outorga estimada em base mensal atende as demandas de complementação hídrica de irrigação para a A_{ai} na maioria dos condomínios, exceto nos condomínios Vereda Grande em que a R_{ai} é de 95%, e Boa Esperança em que a R_{ai} é de no máximo 9%.

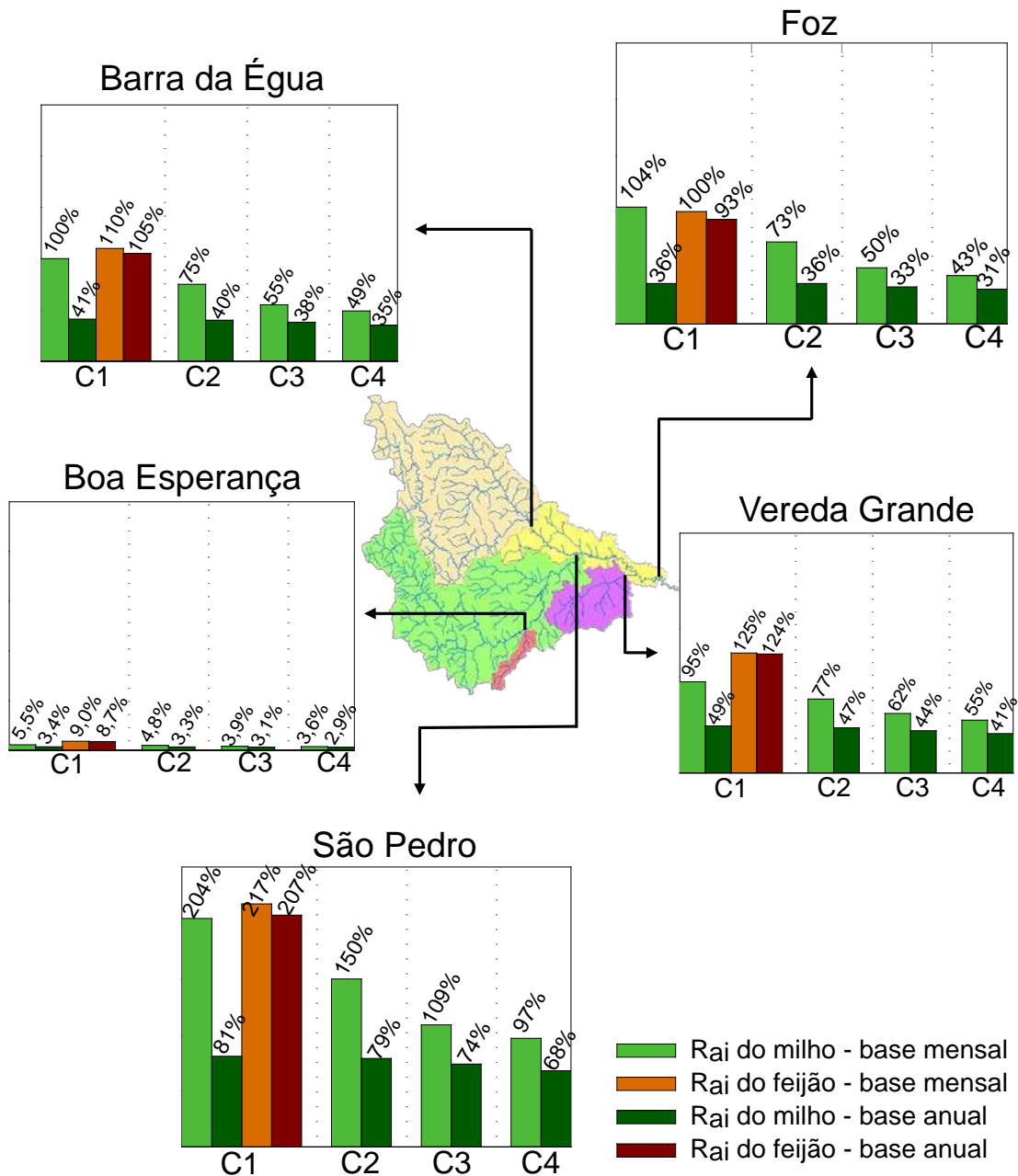


Figura 21 - Relação entre a área potencialmente irrigável e a área atualmente irrigada (R_{ai}) para os cinco condomínios analisados e para diferentes datas de semeadura.

4.2. Rotação entre feijão das secas e milho

4.2.1. Seção de controle correspondente a foz da bacia

4.2.1.1. Semeadura do feijão em 1/março e do milho em 1/outubro (cenário 5)

Na Figura 22 estão apresentados o balanço hídrico (Figura 22a), as vazões unitárias requeridas pela irrigação para as semeaduras do feijão em 1/março e do milho em 1/outubro (cenário 5), as disponibilidades hídricas anual e mensais e as áreas potencialmente irrigáveis com base nestas disponibilidades hídricas na seção de controle correspondente a foz da bacia (Figura 22b).

A partir do balanço hídrico, identifica-se para o feijão excesso hídrico em março e déficit hídrico nos meses de abril e maio, que oscilam de $0,03 \text{ L s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ (IC_{BH} : 0 a $0,15 \text{ L s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$) a $0,37 \text{ L s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ (IC_{BH} : $0,29$ a $0,45 \text{ L s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$).

Associado a estes déficits, as vazões unitárias requeridas para a complementação da demanda de água para irrigação do feijão oscilam de $0,04$ (IC_{BH} : 0 a $0,18$) $\text{L s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ a $0,44$ (IC_{BH} : $0,34$ a $0,53$) $\text{L s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$, sendo a máxima demanda constatada em abril.

Considerando a disponibilidade hídrica anual, a área potencialmente irrigável, para a máxima demanda hídrica do feijão, é de aproximadamente 6.814 ha (IC_{BH} : 5.610 a 8.675 ha).

Com base na disponibilidade hídrica mensal, a A_{pi} para o feijão é de 24.468 ha (IC_{BH} : 20.145 a 31.152 ha), no qual representa um aumento de cerca de 3,59 vezes quando da consideração da disponibilidade hídrica anual.

Para o cultivo do milho ocorreram excesso hídrico nos meses de novembro a fevereiro, e déficit hídrico somente na 1ª semana de outubro, de $0,04$ (IC_{BH} : 0 a $0,15$) $\text{L s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$. A vazão requerida para complementação da irrigação do milho é de $0,05$ (IC_{BH} : 0 a $0,18$) $\text{L s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$.

Com base na disponibilidade hídrica anual a área potencialmente irrigável é de aproximadamente 65.106 ha (IC_{BH} : 16.222 a uma área sem restrição considerando o li). Quando considerada a disponibilidade hídrica mensal a A_{pi} é de 69.658 ha (IC_{BH} : 17.357 ha a uma área sem restrição considerando o li).

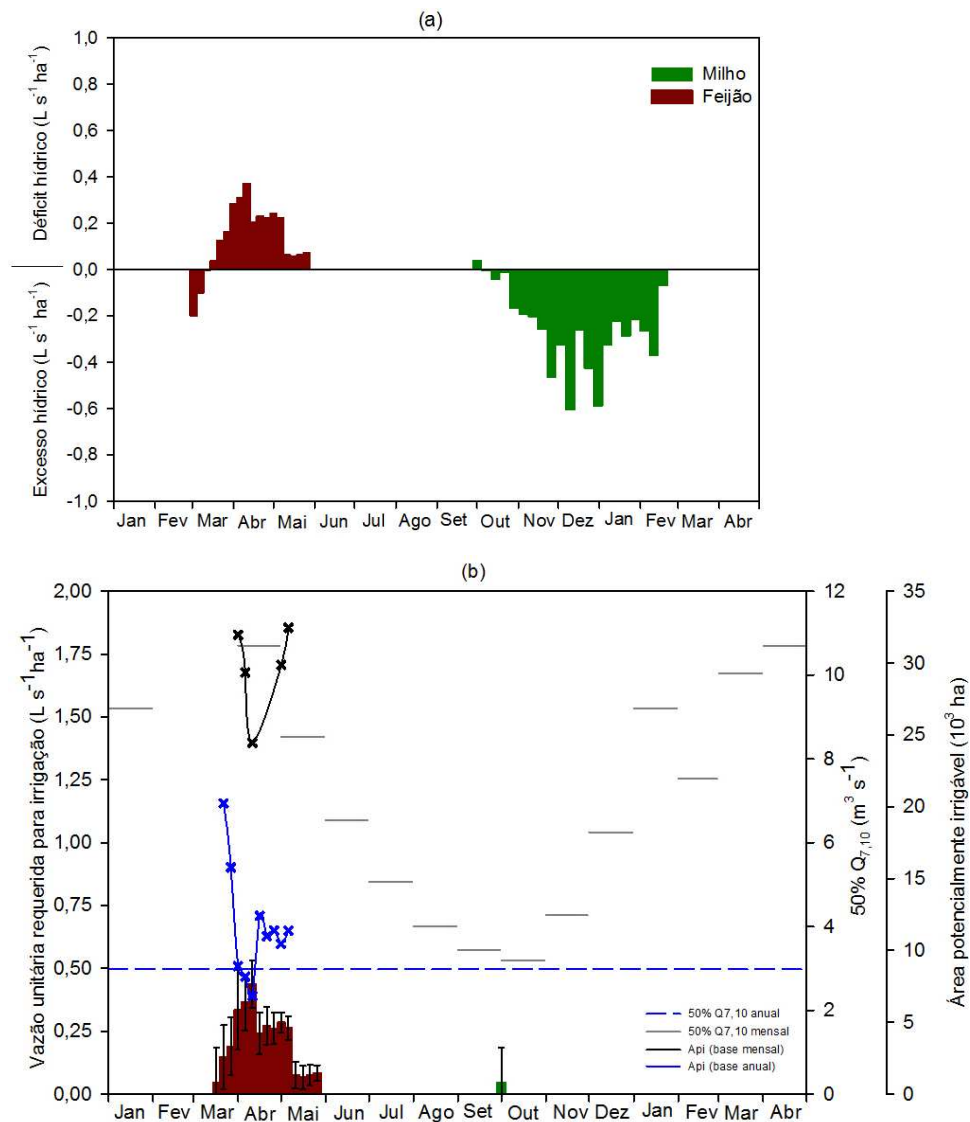


Figura 22 - (a) Balanço hídrico, (b) vazão requerida para irrigação para as semeaduras do feijão em 1/mar e do milho em 1/out (cenário 5), disponibilidade hídrica para concessão de outorga em base anual e mensal e áreas potencialmente irrigáveis com base nestas disponibilidades hídricas.

Quando considerada a disponibilidade hídrica para outorga estimada em base anual a A_{pi} do feijão (20.145 ha) é inferior a área atualmente irrigada (21.298 ha). Entretanto, a utilização da disponibilidade hídrica estimada em base mensal para concessão de outorga permitiria uma A_{pi} de 31.152 ha para o feijão, conseqüentemente atendendo as demandas de complementação hídrica para fins de irrigação.

4.2.1.2. Semeadura do feijão em 1/abril e do milho em 1/novembro (cenário 6)

Na Figura 23 estão apresentados o balanço hídrico (Figura 23a), as vazões unitárias requeridas pela irrigação para as semeaduras do feijão em 1/abril e do milho em 1/novembro (cenário 6), as disponibilidades hídricas em base anual e mensais e a área potencialmente irrigável com base nestas disponibilidades hídricas para a seção de controle correspondente a foz da bacia (Figura 23b).

Para a semeadura do milho em 1/novembro não ocorrem déficits hídricos, sendo recomendável o cultivo em condições de sequeiro.

Para o feijão foram identificados excesso hídrico no primeiro decêndio de abril, e déficit hídrico nos últimos 20 dias de abril, e nos meses de maio e junho. Estes déficits hídricos oscilam de 0,07 (IC_{BH}: 0,03 a 0,10) L s⁻¹ ha⁻¹ a 0,39 (IC_{BH}: 0,35 a 0,43) L s⁻¹ ha⁻¹.

No qual as vazões unitárias requeridas para a suplementação da demanda de irrigação do feijão oscilam de 0,08 (IC_{BH}: 0,04 a 0,12) L s⁻¹ ha⁻¹ a 0,46 (IC_{BH}: 0,41 a 0,51) L s⁻¹ ha⁻¹, sendo que a máxima demanda foi constatada no mês de maio.

Considerando a disponibilidade hídrica anual, a área potencialmente irrigável é de 6.485 ha (IC_{BH}: 5.816 a 7.326 ha). E com base na disponibilidade hídrica mensal a A_{pi} é de 18.530 ha (IC_{BH}: 16.621 a 20.935 ha), que corresponde a um aumento de cerca de três vezes em relação a A_{pi} quando considerada a disponibilidade hídrica anual.

Quando considerada a disponibilidade hídrica para outorga estimada em base anual a A_{pi} do feijão (6.485 ha) é inferior a área atualmente irrigada na bacia (21.298 ha), entretanto a utilização da disponibilidade hídrica estimada em base mensal para concessão de outorga permitiria uma A_{pi} de aproximadamente 18.530 ha, conseqüentemente atenua, mas ainda não é suficiente para garantir o suprimento da A_{ai} sendo necessário a adoção de práticas de regularização de vazões.

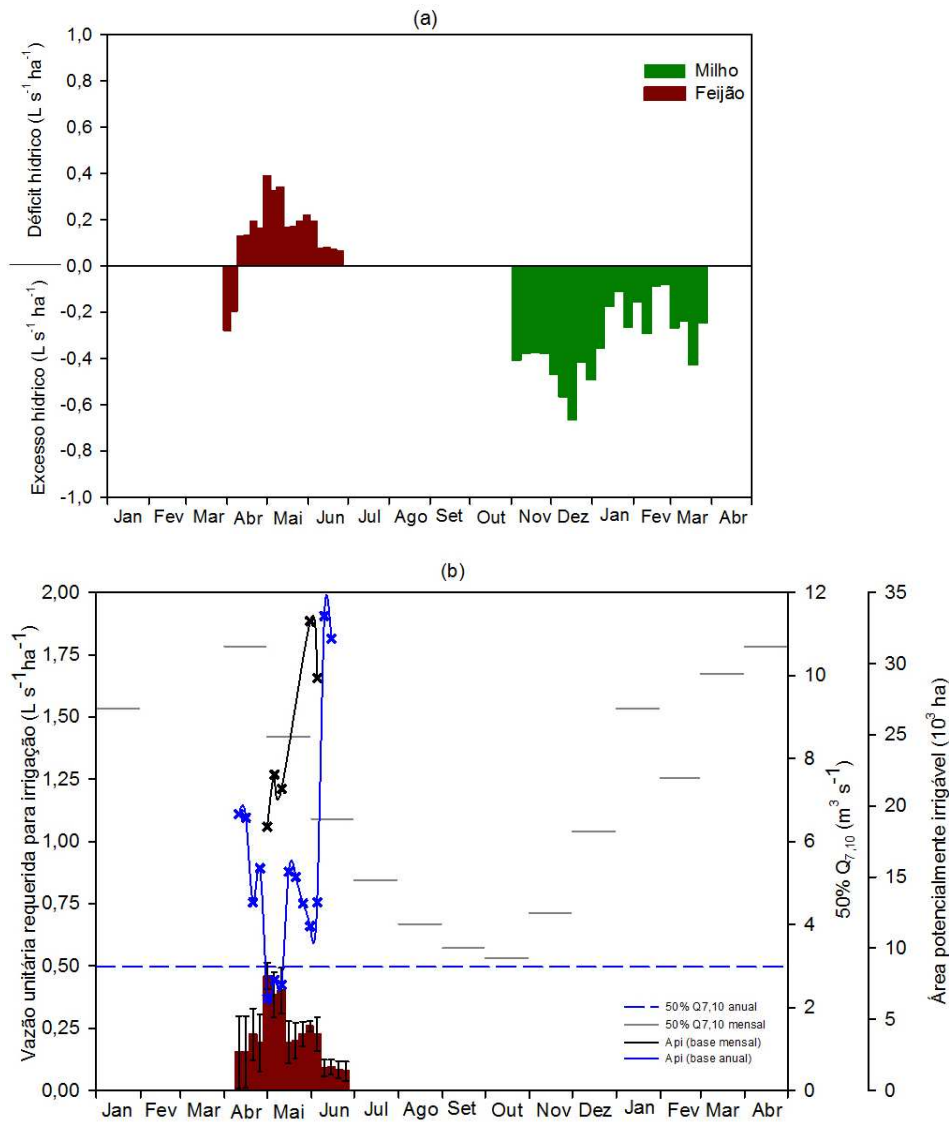


Figura 23 - (a) Balanço hídrico, (b) vazão requerida para irrigação para as semeaduras do feijão em 1/abr e do milho em 1/nov (cenário 6), disponibilidade hídrica para concessão de outorga em base anual e mensal e áreas potencialmente irrigáveis com base nestas disponibilidades hídricas.

Na Figura 24 estão apresentadas as vazões requeridas para suplementação das demandas de irrigação para suprir a área atualmente irrigada da bacia para a semeadura do feijão em 1/abril e as vazões médias mensais para a seção correspondente a foz da bacia.

Evidencia-se que as vazões requeridas para a suplementação da demanda de água pela irrigação do feijão são inferiores as vazões médias

mensais, indicando que o volume de reservação pode ser considerado pequeno e que o projeto de um reservatório capaz de regularizar uma vazão inferior à média mensal já atenderia a necessidade de suplementação de água à cultura pela irrigação.

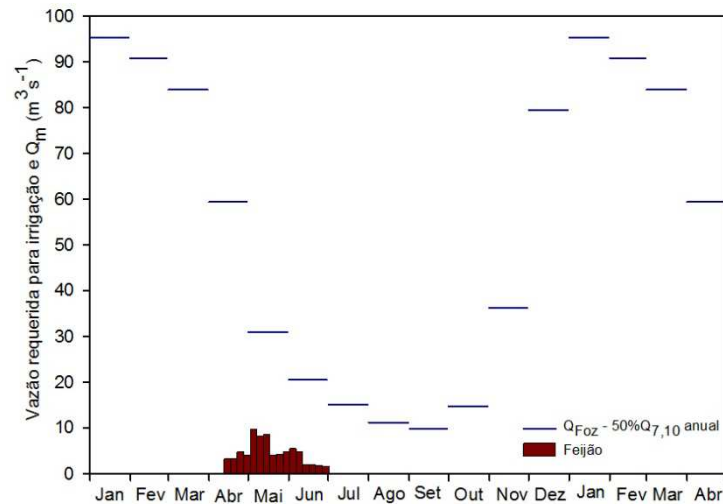


Figura 24 - Vazões requeridas pela irrigação para suprir a A_{ai} para a semeadura do feijão em 1/abril (cenário 6) e vazões médias mensais para a seção de controle correspondente à foz da bacia.

4.2.1.3. Semeadura do feijão em 1/maio e do milho em 1/dezembro (cenário 7)

Na Figura 25 estão apresentados o balanço hídrico (Figura 25a), as vazões unitárias requeridas pela irrigação para as semeaduras do feijão em 1/maio e do milho em 1/dezembro (cenário 7), as disponibilidades hídricas em base anual e mensais, e as áreas potencialmente irrigáveis com base nestas disponibilidades hídricas para a seção de controle correspondente a foz da bacia (Figura 25b).

A partir do balanço hídrico é possível identificar para o feijão déficit hídrico em todo o período de cultivo, os quais oscilam de 0,05 (IC_{BH}: 0 a 0,11) L s⁻¹ ha⁻¹ a 0,36 (IC_{BH}: 0,34 a 0,38) L s⁻¹ ha⁻¹.

Associados a estes déficits hídricos, as vazões unitárias requeridas para irrigação oscilam de 0,06 (IC_{BH}:0 a 0,14) L s⁻¹ ha⁻¹ a 0,42 (IC_{BH}: 0,40 a 0,45) L s⁻¹ ha⁻¹, sendo a máxima demanda constatada no mês de maio.

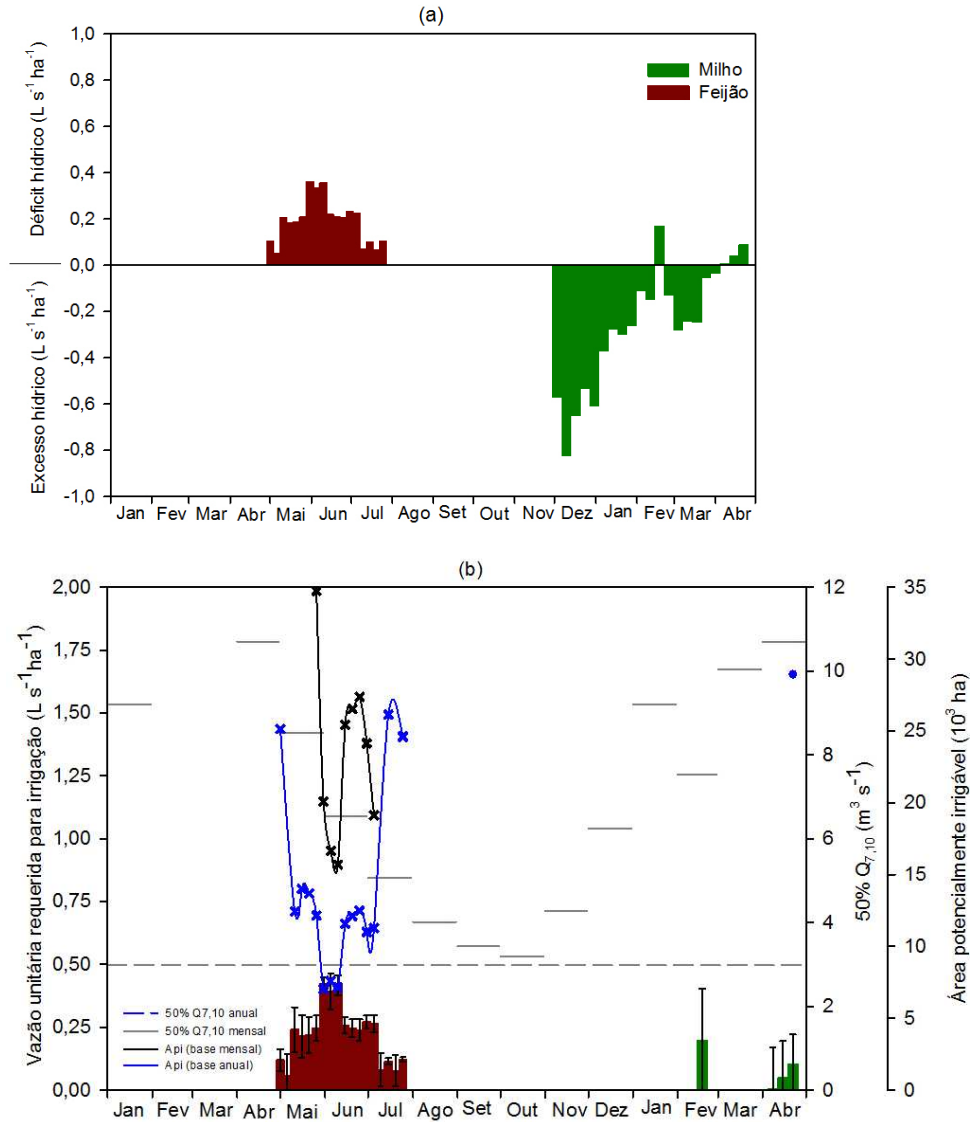


Figura 25 - (a) Balanço hídrico, (b) vazão requerida para irrigação para as semeaduras do feijão em 1/mai e do milho 1/dez (cenário 7), disponibilidade hídrica para concessão de outorga em base anual e mensal e áreas potencialmente irrigáveis com base nestas disponibilidades hídricas.

Considerando a disponibilidade hídrica em base anual, a área potencialmente irrigável é de 7.033 ha (IC_{BH}: 6.629 a 7.490 ha). E quando

considera-se a disponibilidade hídrica mensal a A_{pi} é de 15.422 ha (IC_{BH} : 14.535 a 16.423) ha, que corresponde a um aumento de cerca de três vezes em relação a A_{pi} obtida quando da consideração do critério anual.

Para o cultivo do milho ocorrem excesso hídrico nos meses de dezembro, janeiro e março, e os déficits hídricos ocorrem na 2ª semana de fevereiro e no mês de abril, os quais oscilam de 0,009 (IC_{BH} : 0 a 0,14) $L s^{-1} ha^{-1}$ a 0,17 (IC_{BH} : 0 a 0,34) $L s^{-1} ha^{-1}$.

Associado a estes déficits hídricos as vazões unitárias requeridas para irrigação do milho oscilam de 0,01 (0 a 0,17) $L s^{-1} ha^{-1}$ a 0,20 (0 a 0,40) $L s^{-1} ha^{-1}$, sendo que a máxima demanda foi constatada em fevereiro.

Considerando a disponibilidade hídrica em base anual, a área potencialmente irrigável para o milho é de 14.955 ha (IC_{BH} : 7.407 ha a uma área sem restrição considerando o li).

Com base na disponibilidade hídrica mensal, a A_{pi} é de 37.750 ha (IC : 18.697 ha a uma área sem restrição considerando o li), que corresponde a um aumento de cerca de 2,5 vezes em relação a A_{pi} obtida quando da consideração do critério anual.

A área atualmente irrigada é de 21.298 (APPER) e quando considerada a disponibilidade hídrica em base anual a A_{pi} do feijão (7.033 ha), entretanto a utilização da disponibilidade hídrica estimada em base mensal permitiria uma A_{pi} de 15.422 ha, conseqüentemente atenua, mas ainda não é suficiente para garantir o suprimento da A_{ai} sendo necessário a adoção de práticas de regularização de vazões.

Na Figura 26 estão apresentadas as vazões requeridas pela irrigação para suprir a área atualmente irrigada para a semeadura do feijão em 1/maio e as vazões médias mensais para a seção de controle correspondente a foz da bacia.

As vazões requeridas para a suplementação da demanda de água pela irrigação do feijão foram inferiores as vazões médias mensais indicando que o volume de reservação pode ser considerado pequeno e que o projeto de um reservatório capaz de regularizar uma vazão inferior à média mensal já atenderia a necessidade de suplementação de água à cultura pela irrigação.

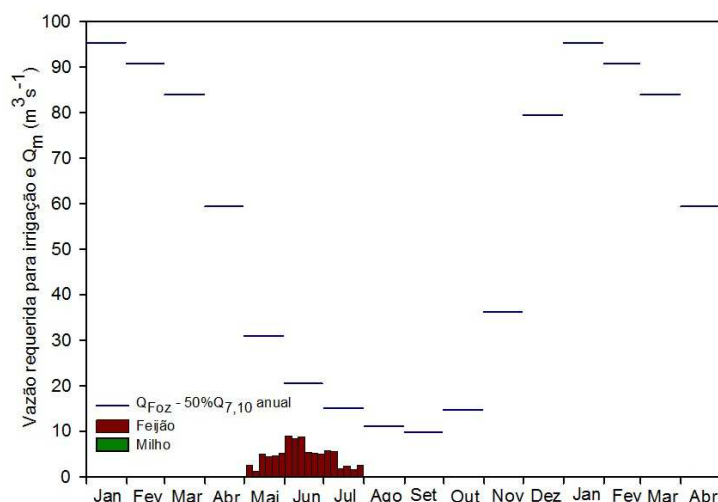


Figura 26 - Vazões médias mensais e necessidade de irrigação para suprir a área atualmente irrigada na foz da bacia para as culturas do milho e feijão para as datas de semeadura propostas no cenário 7.

4.2.2. Seção de controle correspondente a Boa Esperança

4.2.2.1. Semeadura do feijão em 1/março e do milho em 1/outubro (cenário 5)

Na Figura 27 estão apresentadas as vazões unitárias requeridas pela irrigação para a semeadura do feijão em 1/março e do milho em 1/outubro (cenário 5), nos quais estão descritas no item 4.2.1.1., estão representadas também as disponibilidades hídricas em bases anual e mensais e as áreas potencialmente irrigáveis com base nestas disponibilidades hídricas para a seção de controle correspondente à Boa Esperança.

Considerando as disponibilidades hídricas em base anual (critério vigente para concessão de outorga na dominialidade da bacia), para a máxima vazão unitária requerida pelo feijão, a área potencialmente irrigável é de 148 ha (IC_{BH} : 122 a 189 ha). E com base na disponibilidade hídrica mensal a A_{pi} é de 239 ha (IC_{BH} : 196 a 304 ha), o que corresponde a um aumento de cerca de 1,6 vezes quando da consideração do critério anual.

Para o cultivo do milho, com base na disponibilidade hídrica anual a área potencialmente irrigável é de 1.419 ha (IC_{BH} : 354 ha a uma área sem restrição

considerando o limite inferior). Considerando a disponibilidade hídrica em base mensal a A_{pi} é de 1.470 ha (IC_{BH} : 366 a uma área sem restrição considerando o li). Como já foi evidenciado anteriormente, a substituição do critério anual pelo mensal em outubro é pouco efetivo, visto que é o mês com menor disponibilidade hídrica mensal.

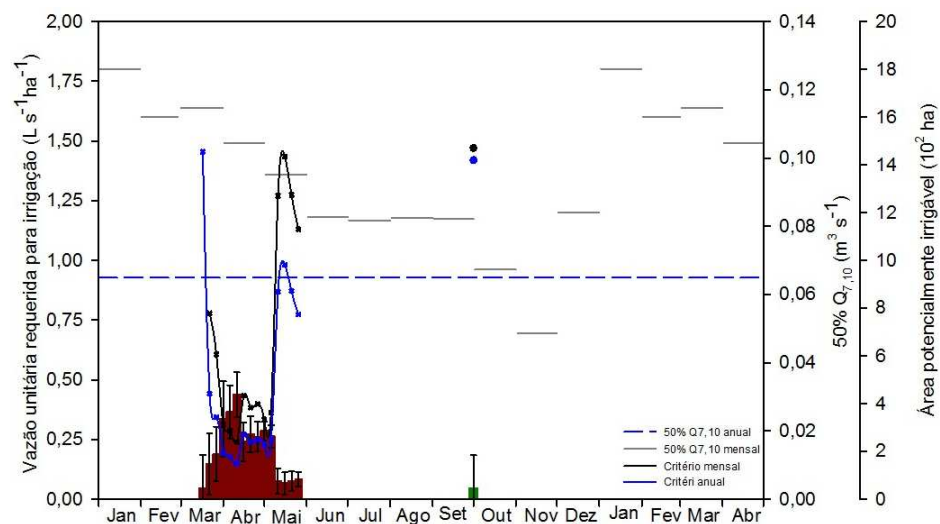


Figura 27 - Vazão unitária requerida para irrigação para as semeaduras do feijão em 1/mar e do milho em 1/out (cenário 5), disponibilidade hídrica para concessão de outorga em base anual e mensal e áreas potencialmente irrigáveis com base nestas disponibilidades hídricas, para a seção de controle Boa Esperança.

No condomínio Boa Esperança, segundo a (AAPER) a área atualmente irrigada é de 4.991 ha, e quando considerada a disponibilidade hídrica estimada em base anual a A_{pi} do feijão (148 ha) e do milho (1.470 ha) são inferiores a A_{ai} , no entanto a utilização da disponibilidade hídrica em base mensal permitiria uma A_{pi} de 239 ha para o feijão e 1.470 ha para o milho, conseqüentemente mesmo a utilização da disponibilidade hídrica estimada em base mensal garante o suprimento de 4,8% (feijão) e 30% (milho) da A_{ai} , sendo necessário a adoção de práticas de regularização de vazões.

Na Figura 28 estão apresentadas as vazões requeridas para suplementação das demandas de irrigação para suprir a área atualmente irrigada do condomínio Boa Esperança, para as semeaduras do feijão em

1/março e do milho em 1/outubro, e as vazões médias mensais para a seção de controle correspondente a Boa Esperança.

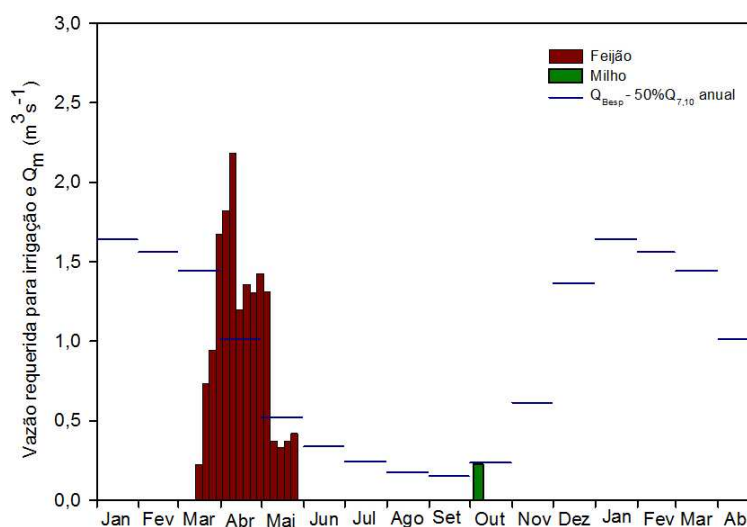


Figura 28 - Vazões requeridas pela irrigação para suprir a A_{ai} para as semeaduras do feijão em 1/março e do milho em 1/outubro (cenário 5) e vazões médias mensais para a seção de controle correspondente à Boa Esperança.

Evidencia-se que as vazões requeridas para a suplementação da demanda de água pela irrigação do feijão são superiores as vazões médias mensais, indicando que o volume de reservação é alto e que o projeto de um reservatório deverá considerar as vazões dos meses anteriores para garantir a suplementação de água à cultura pela irrigação.

4.2.2.2. Semeadura do feijão em 1/abril e do milho em 1/novembro (cenário 6)

Na Figura 29 estão apresentadas as vazões unitárias requeridas pela irrigação, para a semeadura do feijão em 1/abril (cenário 6), no qual está descrito no item 4.2.1.2. Também estão representadas as disponibilidades hídricas anual e mensais e as áreas potencialmente irrigáveis com base nestas disponibilidades hídricas para a seção de controle correspondente a Boa Esperança.

Com base na disponibilidade hídrica anual a área potencialmente irrigável, para a máxima demanda hídrica do feijão, é de 141 ha (IC_{BH}: 126 a 160 ha). E

quando considerada a disponibilidade hídrica em base mensal a A_{pi} é de 207 ha (IC_{BH}: 185 a 234 ha), que representa um aumento de cerca de 1,46 vezes da A_{pi} quando da consideração do critério anual.

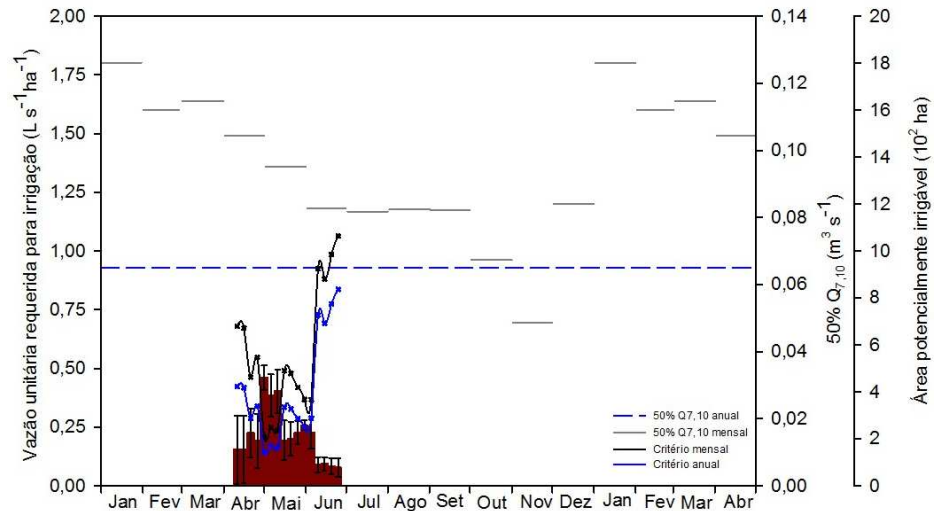


Figura 29 - Vazão requerida para irrigação para a semeadura do feijão em 1/abr (cenário 6), disponibilidade hídrica para concessão de outorga em base anual e mensal e áreas potencialmente irrigáveis com base nestas disponibilidades hídricas, para a seção de controle correspondente a Boa Esperança.

Apesar da utilização da disponibilidade hídrica mensal para concessão de outorga promover um aumento da A_{pi} , esta garante o suprimento de no máximo 4% da A_{ai} (4.991 ha), conseqüentemente não é suficiente para garantir o suprimento da A_{ai} , sendo necessário a adoção de práticas de regularização de vazões.

Na Figura 30 estão apresentadas as vazões requeridas para suplementação das demandas de irrigação para suprir a área atualmente irrigada do condomínio Boa Esperança, para a semeadura do feijão em 1/março e as vazões médias mensais.

Evidencia-se que as vazões requeridas para a suplementação da demanda de água pela irrigação do feijão são superiores as vazões médias mensais, indicando que o volume de reservação é alto e que o projeto de um reservatório deverá considerar as vazões dos meses anteriores para garantir a suplementação de água à cultura pela irrigação.

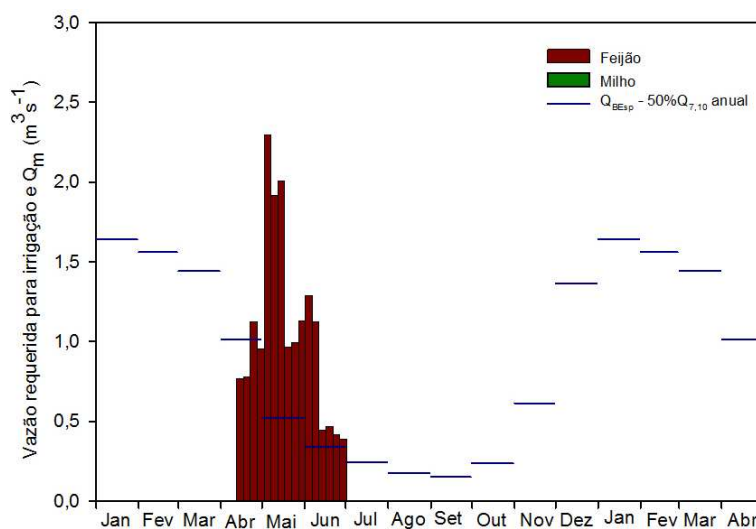


Figura 30 - Vazões requeridas pela irrigação para suprir a A_{ai} para a semeadura do feijão em 1/abril (cenário 6) e vazões médias mensais para a seção de controle correspondente à Boa Esperança.

4.2.2.3. Semeadura do feijão em 1/maio e do milho em 1/dezembro (cenário 7)

Na Figura 31 estão apresentadas as vazões unitárias requeridas pela irrigação para as semeaduras do feijão em 1/maio e do milho em 1/dez (cenário 7), nos quais estão descritas no item 4.2.1.3., sendo representadas também as disponibilidades hídricas em base anual e mensais e as áreas potencialmente irrigáveis com base nestas disponibilidades hídricas para seção de controle correspondente a Boa Esperança.

Considerando a disponibilidade hídrica em base anual (critério de outorga vigente na dominialidade da bacia), para a máxima demanda hídrica do feijão, a área potencialmente irrigável é de 153,3 ha (IC_{BH} : 144,5 a 163,3 ha).

E com base na disponibilidade hídrica anual, a área potencialmente irrigável é de 195,1 ha (IC_{BH} : 183,9 a 207,8 ha), que representa um aumento de cerca 1,28 vezes em relação a A_{pi} quando considerado o critério de outorga anual.

Para o cultivo do milho, quando considerada a disponibilidade hídrica anual a A_{pi} é de 326 ha (IC_{BH}: 161 ha a um área sem restrição quando considerando o li).

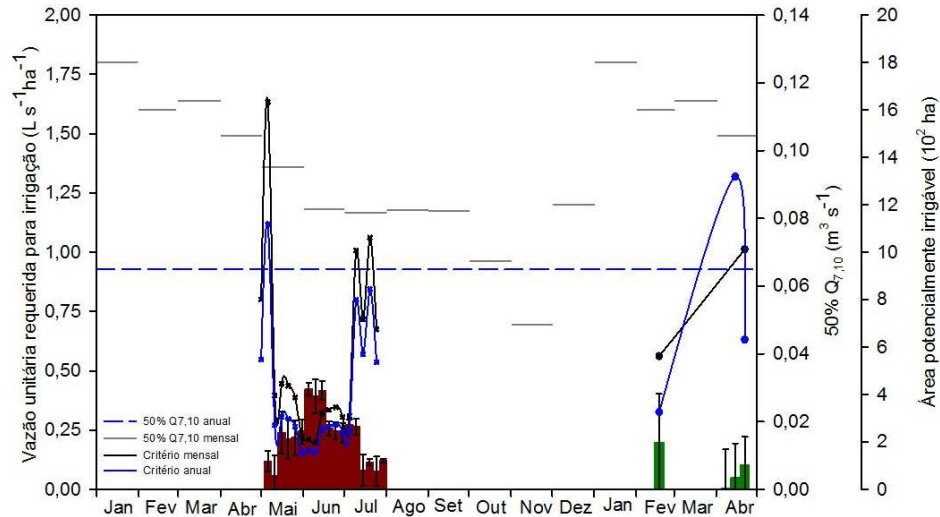


Figura 31 - Vazão unitária requerida para irrigação para as semeaduras do feijão em 1/mai e do milho em 1/dez (cenário 7), disponibilidade hídrica para concessão de outorga em base anual e mensal e áreas potencialmente irrigáveis com base nestas disponibilidades hídricas, para a seção de controle Boa Esperança.

Com base na disponibilidade hídrica mensal, a área potencialmente irrigável é de 561,8 ha (IC: 278,2 ha a uma área sem restrição considerando o li), que representa um aumento de A_{pi} de cerca de 1,72 vezes em relação a A_{pi} obtida quando da consideração da disponibilidade hídrica anual.

De acordo com as A_{pi} , a utilização da disponibilidade hídrica estimada em mensal supri no máximo 6,5% da área atualmente irrigada do condomínio, conseqüentemente não garante o suprimento das demandas de complementação hídrica, sendo necessário a adoção de práticas de regularização de vazões.

Na Figura 32 estão apresentadas as vazões requeridas para suplementação das demandas de irrigação para as semeaduras do feijão em 1/maio e do milho em 1/dezembro, e as vazões médias mensais da seção de controle correspondente a Boa Esperança.

Evidencia-se que as vazões requeridas para a suplementação da demanda de água pela irrigação do feijão são superiores as vazões médias mensais, indicando que o volume de reservação é alto e que o projeto de um reservatório deverá considerar as vazões dos meses anteriores para garantir a suplementação de água à cultura pela irrigação.

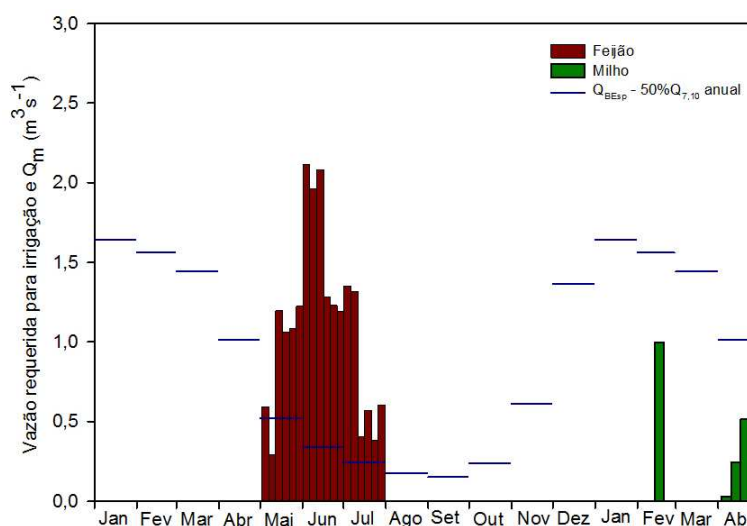


Figura 32 - Vazões requeridas pela irrigação para suprir a A_{ai} para a semeadura do feijão em 1/maio e do milho em 1/dezembro (cenário 7) e vazões médias mensais para a seção de controle correspondente à Boa Esperança.

4.2.3. Relação entre a área potencialmente irrigável e a área atualmente irrigada

Na Figura 33 estão apresentadas a relação entre as áreas potencialmente irrigáveis estimadas com base nas disponibilidades hídricas anual e mensais e a área atualmente irrigada em cada condomínio, para diferentes datas de semeadura.

Dentre os cenários analisados, para todos os condomínios considerados, somente no cenário 6 o milho pode ser cultivado em condições de sequeiro.

Considerando a disponibilidade hídrica para outorga estimada em base anual, esta não é suficiente para atender as demandas de complementação

hídrica de irrigação do feijão da A_{ai} em nenhum dos condomínios e em nenhuma data de semeadura analisada.

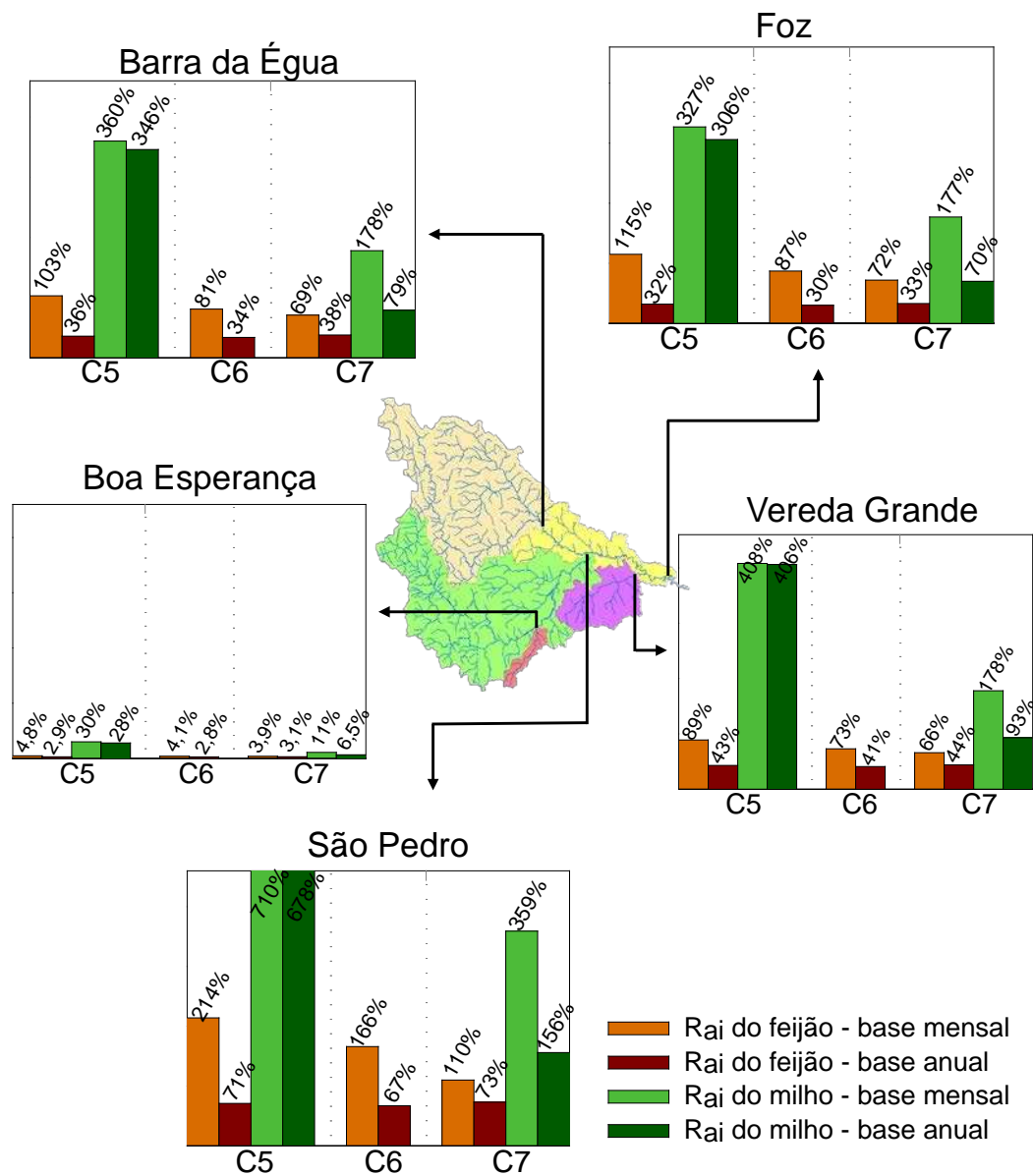


Figura 33 - Relação entre a área potencialmente irrigável e a área atualmente irrigada (R_{ai}) para os cinco condomínios analisados e para diferentes datas de semeadura.

Quando considerada a disponibilidade hídrica estimada em base mensal para concessão de outorga, embora promova uma atenuação no suprimento das demandas de complementação hídrica de irrigação não é suficiente para garantir o suprimento da A_{ai} nos cenários 6 e 7, exceto no condomínio São Pedro em que

a disponibilidade hídrica em base mensal promove o suprimento de uma A_{pi} superior a A_{ai} .

No calendário atualmente praticado na bacia (cenário 5) a utilização da disponibilidade hídrica mensal para concessão de outorga garante o suprimento da A_{ai} em três dos condomínios analisados, exceto nos condomínios Vereda Grande e Boa Esperança.

4.3. Rotação entre o milho safrinha e a soja

4.3.1. Seção de controle correspondente a foz da bacia

4.3.1.1. Semeadura do milho em 1/fevereiro e do soja em 1/outubro (cenário 8)

Na Figura 34 estão apresentados o balanço hídrico (Figura 34a), as vazões unitárias requeridas pela irrigação para a semeadura do milho em 1/fevereiro e da soja em 1/outubro (cenário 8), as disponibilidades hídricas anual e mensais, e as áreas potencialmente irrigáveis considerando estas disponibilidades hídricas para a seção correspondente a foz da bacia (Figura 34b).

A análise dos resultados referentes a cultura do milho estão descritas no item 4.1, portanto serão analisados neste capítulo apenas os resultados referentes a cultura da soja

A partir do balanço hídrico identificam-se para a soja excesso hídrico nos meses de novembro, dezembro e janeiro e déficit hídrico em outubro.

Os déficits hídricos oscilam de 0,06 (IC_{BH} : 0 a 0,20) $L s^{-1} ha^{-1}$ a 0,11 (IC_{BH} : 0 a 0,26) $L s^{-1} ha^{-1}$. Associados a estes déficits hídricos as vazões unitárias requeridas para a suplementação da demanda de água pela irrigação oscilam de 0,07 (IC_{BH} : 0 a 0,23) $L s^{-1} ha^{-1}$ a 0,13 (IC_{BH} : 0 a 0,30) $L s^{-1} ha^{-1}$. Sendo a máxima demanda constatada em outubro.

Considerando a disponibilidade hídrica anual, para a máxima demanda hídrica da soja, a área potencialmente irrigável é de 22.323 ha (IC_{BH} : 10.078 ha a uma área sem restrição considerando o limite inferior).

Com base na disponibilidade hídrica mensal, a A_{pi} é de 23.844 ha (IC_{BH} : 10.782 ha a uma área sem restrição considerando o li), que corresponde a aumento da A_{pi} de cerca de 1,06 vezes quando da consideração do critério anual.

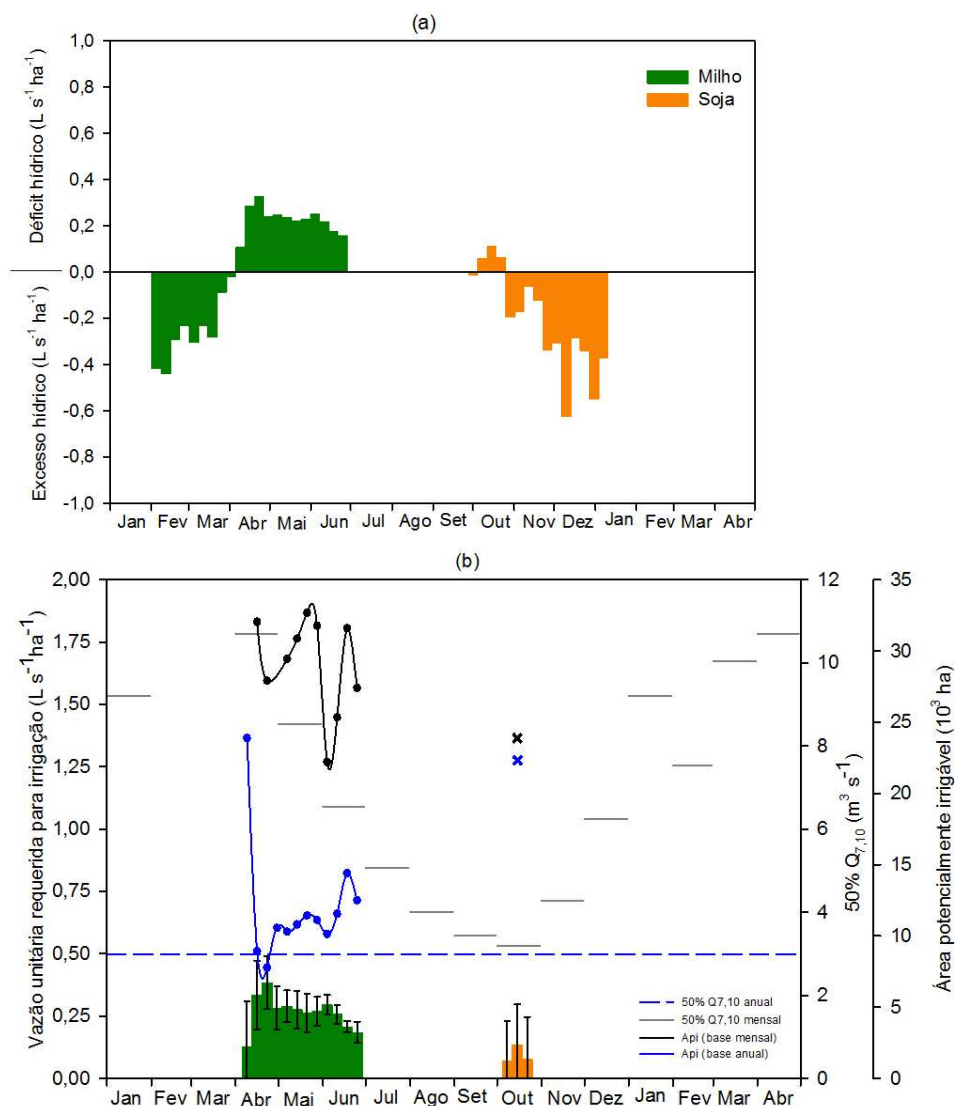


Figura 34 - (a) Balanço hídrico, (b) vazão unitária requerida pela irrigação para as semeaduras do milho em 1/fev e da soja em 1/out (cenário 8), disponibilidade hídrica para concessão de outorga em base anual e mensal e áreas potencialmente irrigáveis com base nestas disponibilidades hídricas.

Para a rotação entre o milho safrinha e a soja, a consideração da disponibilidade hídrica estimada em base mensal proporciona o suprimento de uma A_{pi} superior a área atualmente irrigada, consequentemente atendendo as demandas de complementação hídrica para fins de irrigação.

4.3.1.2. Semeadura do milho em 1/março e do soja em 1/novembro (cenário 9)

Na Figura 35 estão apresentados o balanço hídrico para as sementeiras do milho em 1/março e da soja em 1/novembro (cenário 9).

A partir do balanço hídrico identificou-se para a cultura da soja, somente excesso hídrico, sendo recomendável o cultivo em condições de sequeiro, assim como para as culturas do milho e feijão quando sementeiras em novembro.

As considerações para a sementeira do milho em 1/março está descrita no item 4.1.1.2.

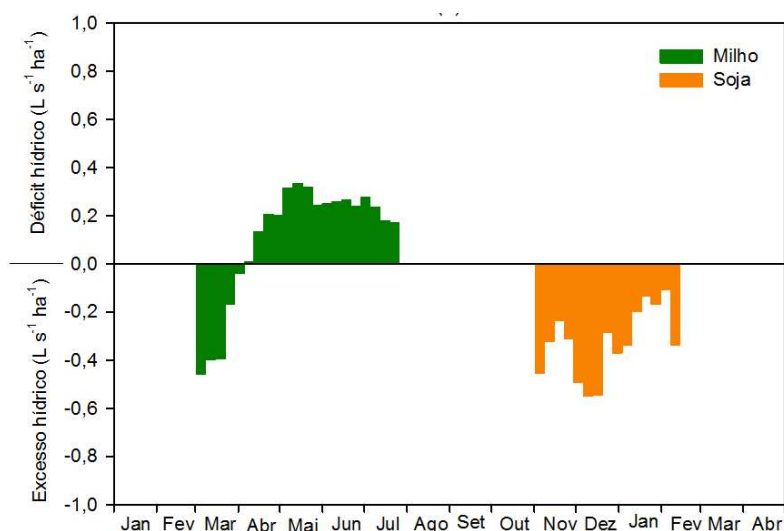


Figura 35 - Balanço hídrico para as sementeiras do milho em 1/março e da soja em 1/novembro.

4.3.1.3. Semeadura do milho em 1/abril e do soja em 1/dezembro (cenário 10)

Na Figura 36 estão apresentados o balanço hídrico (Figura 36a), as vazões unitária requeridas pela irrigação para a sementeira do milho em 1/abril e da soja em 1/dezembro (cenário 10), as disponibilidades hídricas em bases anual e mensais e as áreas potencialmente irrigáveis com base nestas disponibilidades hídricas para a seção de controle correspondente a foz da bacia.

As considerações para a semeadura do milho em 1/abril estão descritas no item 4.1.1.3.

A partir do balanço hídrico identifica-se excesso hídrico em praticamente todo o período de cultivo da soja exceto na terceira semana de fevereiro que há déficit hídrico.

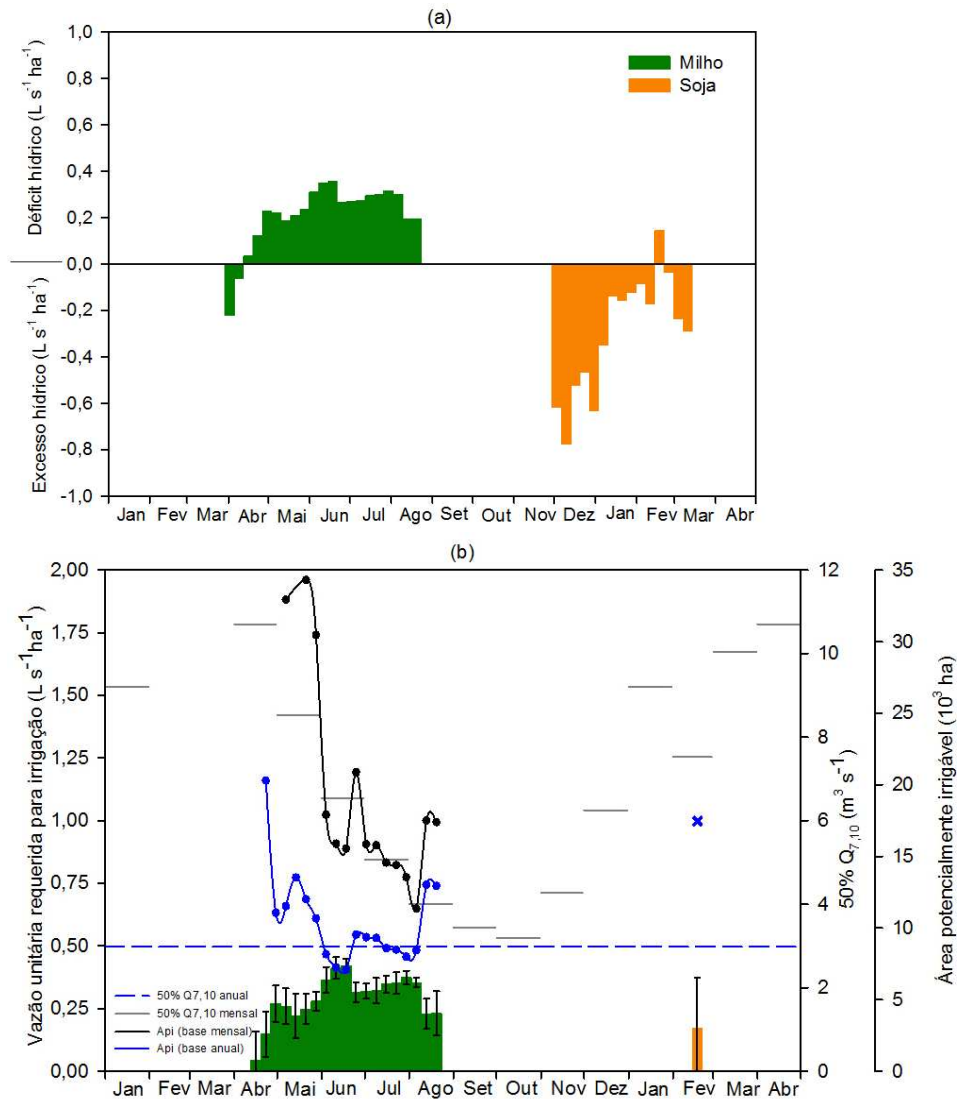


Figura 36 - (a) Balanço hídrico, (b) vazão unitária requerida pela irrigação para as semeaduras do milho em 1/abr e da soja em 1/dez (cenário 10), disponibilidade hídrica para concessão de outorga em base anual e mensal e áreas potencialmente irrigáveis com base nestas disponibilidades hídricas.

O déficit hídrico é de $0,14 \text{ L s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ (IC_{BH} : 0 a $0,31 \text{ L s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$), o qual está associando a uma vazão unitária requerida para a suplementação da demanda de água pela irrigação de $0,17 \text{ L s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ (IC_{BH} : 0 a $0,37 \text{ L s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$).

Com base na disponibilidade hídrica anual, para a máxima demanda hídrica da soja, a área potencialmente irrigável é de 17.466 ha (IC_{BH} : 7.998 ha a uma área sem restrição considerando o limite inferior).

Considerando a disponibilidade hídrica em base mensal, a A_{pi} é de 44.086 ha (IC_{BH} : 20.187 ha a uma área sem restrição considerando o limite inferior), que representa um aumento da A_{pi} de cerca de 2,52 vezes.

Assim a utilização da disponibilidade hídrica estimada em base mensal garante o suprimento de uma A_{pi} superior a área atualmente irrigada, conseqüentemente atendendo as demandas de complementação hídrica para fins de irrigação da soja.

4.3.1.4. Semeadura do milho em 1/maio e do soja em 1/janeiro (cenário 11)

Na Figura 37 estão apresentados o balanço hídrico (Figura 37a), as vazões unitárias requeridas pela irrigação para as semeaduras do milho em 1/maio e da soja em 1/janeiro (cenário 11), as disponibilidades hídricas em base anual e mensais e as áreas potencialmente irrigáveis com base nestas disponibilidades hídricas para a seção de controle correspondente a foz da bacia (Figura 37b).

As considerações para a semeadura do milho em 1/maio estão descritas no item 4.1.1.4.

A partir do balanço hídrico identifica-se para a soja excesso hídrico em janeiro, nas primeiras quinzenas de fevereiro e de março e na primeira semana de abril. Os déficits hídricos ocorrem na terceira semana de fevereiro, na última semana de março e na segunda semana de abril, os quais oscilam de $0,085 \text{ L s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ (IC_{BH} : 0 a $0,2 \text{ L s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$) a $0,13 \text{ L s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ (IC_{BH} : 0 a $0,31 \text{ L s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$).

Associado a estes déficits as vazões unitárias requeridas para a suplementação de água pela irrigação oscilam de $0,10 \text{ L s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ (IC_{BH} : 0 a $0,24 \text{ L s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$) a $0,15 \text{ L s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ (IC_{BH} : 0 a $0,36 \text{ L s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$), sendo a máxima demanda hídrica constatada em fevereiro.

Considerando a disponibilidade hídrica em base anual (critério vigente para a concessão de outorga na bacia), para a máxima demanda hídrica da soja, a área potencialmente irrigável é de 19.448 ha (IC_{BH}: 8.266 a uma área sem restrição considerando o limite inferior).

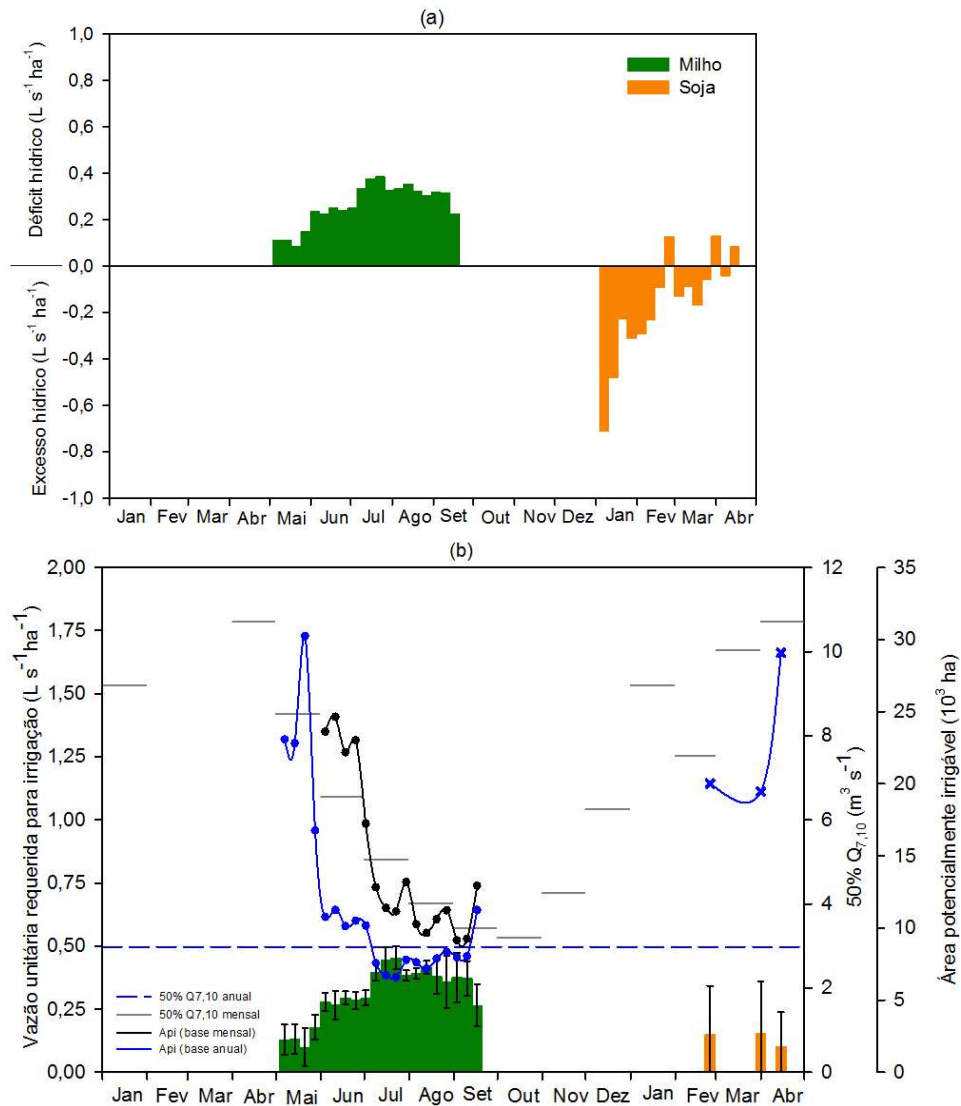


Figura 37 - (a) Balanço hídrico, (b) vazão unitária requerida pela irrigação para as semeaduras do milho em 1/mai e da soja em 1/jan (cenário 11), disponibilidade hídrica para concessão de outorga em base anual e mensal e áreas potencialmente irrigáveis com base nestas disponibilidades hídricas.

Com base na disponibilidade hídrica mensal a A_{pi} é de 65.506 ha (IC_{BH}: 27.844 a uma área sem restrição considerando o limite inferior), que representa um aumento da A_{pi} de cerca de 8 vezes.

Assim a consideração da disponibilidade hídrica estimada em base mensal potencializa o suprimento das demandas de complementação hídrica para fins de irrigação da soja.

4.3.2. Seção de controle correspondente a Boa Esperança

4.3.2.1. Semeadura do milho em 1/fevereiro e do soja em 1/outubro (cenário 8)

Na Figura 38 estão representas as vazões unitárias requeridas pela irrigação para as semeaduras do milho em 1/fevereiro e da soja em 1/outubro, os quais estão descritas no item 4.3.1.1., além disso estão mostradas as disponibilidades hídricas em bases anual e mensais e as áreas potencialmente irrigáveis com base nestas disponibilidades hídricas para a seção correspondente a Boa Esperança.

As considerações e análises para a semeadura do milho em 1/fevereiro estão descritas no item 4.1.2.1.

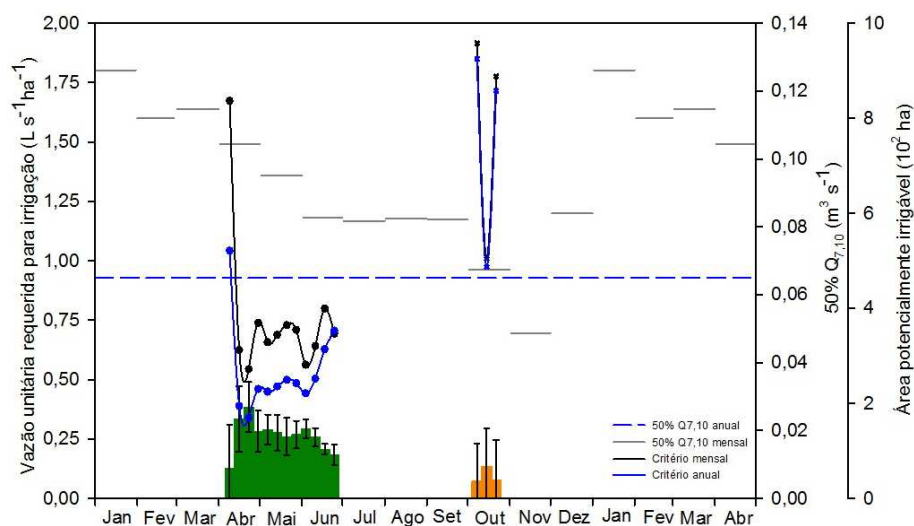


Figura 38 - Vazão unitária requerida pela irrigação para as semeaduras do milho em 1/fev e da soja em 1/out (cenário 8), disponibilidade hídrica para concessão de outorga em base anual e mensal e áreas potencialmente irrigáveis com base nestas disponibilidades hídricas, para a seção de controle Boa Esperança.

Considerando a disponibilidade hídrica em base anual, para a máxima demanda hídrica da soja, a área potencialmente irrigável é de 487 ha (IC_{BH}: 219 ha a uma área sem restrição considerando o limite inferior).

Com base na disponibilidade hídrica mensal a A_{pi} é de 504 ha (IC_{BH}: 228 ha a uma área sem restrição considerando o li), que representa um aumento de cerca de 1,03 vezes quando da consideração do critério anual.

Apesar do incremento da área potencialmente irrigável quando considerada a disponibilidade hídrica estimada em base mensal, esta não garante o suprimento das demandas de irrigação da A_{ai}, sendo necessário a adoção de práticas de regularização de vazões.

Na Figura 39 estão apresentadas as vazões requeridas pela irrigação para suprir a área atualmente irrigada, para as semeaduras do milho em 1/fevereiro e da soja em 1/outubro, e as vazões médias mensais para a seção correspondente a Boa Esperança.

Evidencia-se que as vazões médias mensais são inferiores as vazões requeridas para irrigação do milho e da soja, indicando que o volume de reservação é alto e que o projeto de um reservatório deverá considerar as vazões dos meses anteriores para garantir a suplementação de água à cultura pela irrigação.

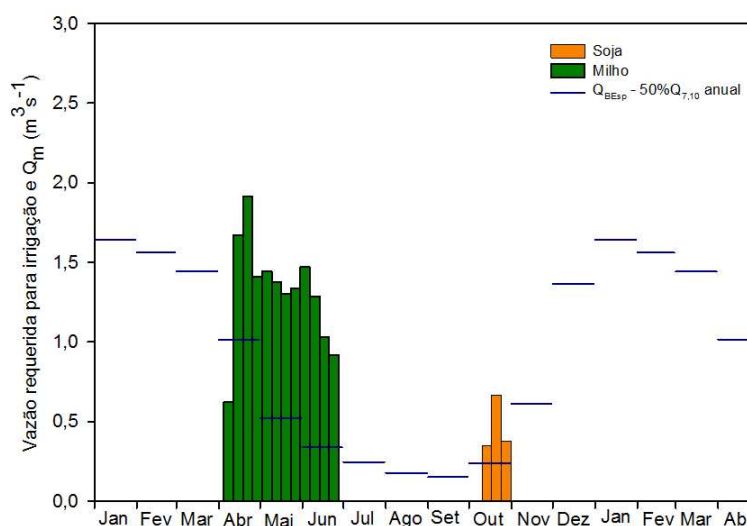


Figura 39 - Vazões médias mensais e vazões requeridas pela irrigação para suprir a área atualmente irrigada no condomínio Boa Esperança para as culturas do milho e soja para as datas de semeadura propostas no cenário 8.

4.3.2.2. Semeadura do milho em 1/abril e do soja em 1/dezembro (cenário 10)

Na Figura 39 estão apresentadas as vazões unitárias requeridas pela irrigação para as semeaduras do milho em 1/abril e da soja em 1/dez (cenário 10) nos quais estão descritas no item 4.3.1.3, e as vazões médias mensais.

As considerações e as análises dos resultados para a semeadura do milho em 1/abril estão descritas no item 4.1.2.3.

Considerando a disponibilidade hídrica anual, para a máxima demanda hídrica da soja de $0,17 \text{ L s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$, a área potencialmente irrigável é de 381 ha (IC_{BH}: 174 ha a uma área sem restrição considerando o limite inferior).

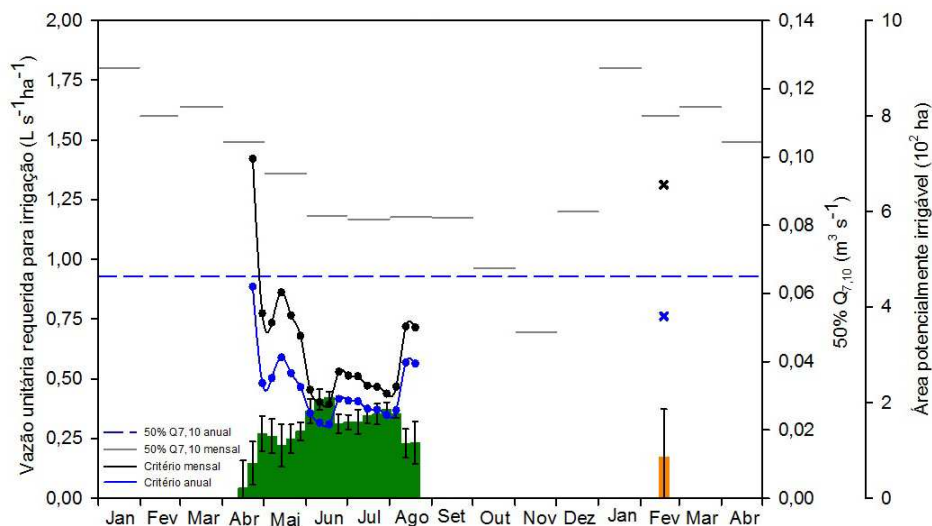


Figura 40 - Vazão unitária requerida pela irrigação para as semeaduras do milho em 1/abr e da soja em 1/dez (cenário 10), disponibilidade hídrica para concessão de outorga em base anual e mensal e áreas potencialmente irrigáveis com base nestas disponibilidades hídricas, para a seção de controle Boa Esperança.

Com base na disponibilidade hídrica mensal, a A_{pi} é de 656 ha (IC: 300 ha a uma área sem restrição considerando o li), que representa um aumento de cerca de 1,72 vezes da A_{pi} quando considerada a disponibilidade hídrica anual.

No entanto, a utilização da disponibilidade hídrica mensal, considerando a máxima demanda hídrica da soja, não garante o suprimento da área

atualmente irrigada na bacia, sendo necessário a adoção de práticas de regularização de vazões.

Na Figura 41 estão apresentadas as vazões requeridas para a suplementação da demanda de água pela irrigação para suprir a área atualmente irrigada no condomínio Boa Esperança, para as semeaduras do milho em 1/abril e da soja em 1/dezembro, e as vazões médias mensais.

A vazão requerida para complementação das demandas de irrigação da soja é inferior a vazão média mensal, assim o projeto de um reservatório capaz de regularizar uma vazão inferior à média mensal já atenderia a necessidade de suplementação de água à cultura da soja pela irrigação.

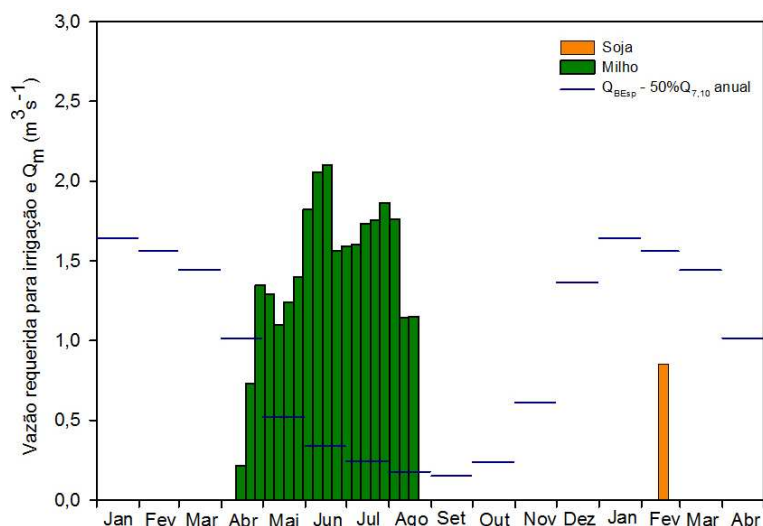


Figura 41 - Vazões médias mensais e vazões requeridas pela irrigação para suprir a área atualmente irrigada no condomínio Boa Esperança para as culturas do milho e soja para as datas de semeadura propostas no cenário 10.

4.3.2.3. Semeadura do milho em 1/maio e do soja em 1/janeiro (cenário 11)

Na Figura 42 estão apresentadas as vazões unitárias requeridas pela irrigação para as semeaduras do milho em 1/maio e da soja em 1/janeiro, descritas no item 4.3.1.4., estão representadas também as disponibilidades hídricas anual e mensais e as áreas potencialmente irrigáveis com base nestas

disponibilidades hídricas para a seção de controle correspondente a Boa Esperança.

Considerando a disponibilidade hídrica anual, para a máxima demanda hídrica da soja de $0,15 \text{ L s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$, a área potencialmente irrigável é de 423 ha (IC_{BH}: 180 ha a uma área sem restrição considerando o limite inferior).

Com base na disponibilidade hídrica mensal a A_{pi} é de 748 ha (IC_{BH}: 318 ha a uma área sem restrição considerando o li), que representa um aumento de cerca de 1,77 vezes quando considerada a disponibilidade hídrica anual.

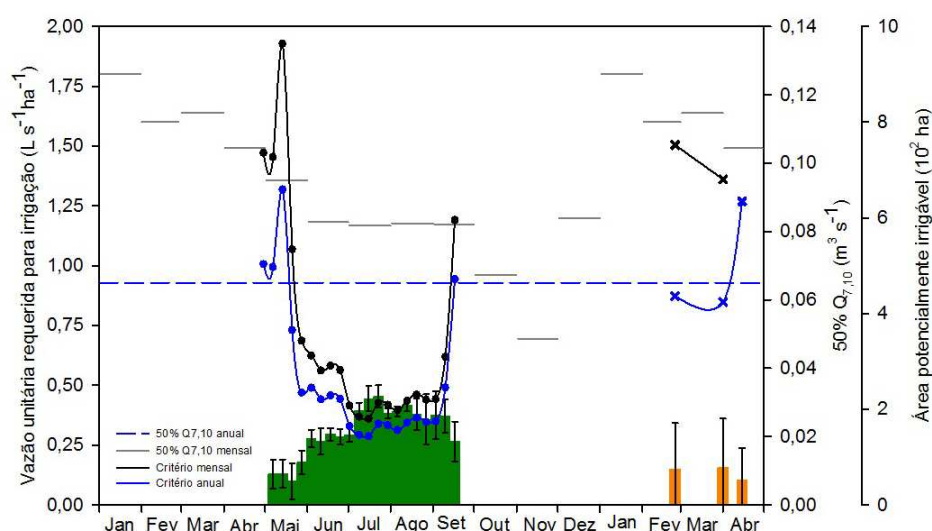


Figura 42 - Vazão unitária requerida pela irrigação para as semeaduras do milho em 1/mai e da soja em 1/jan (cenário 11), disponibilidade hídrica para concessão de outorga em base anual e mensal e áreas potencialmente irrigáveis com base nestas disponibilidades hídricas, para a seção de controle Boa Esperança.

Apesar do considerável aumento da A_{pi} , a consideração da disponibilidade hídrica estimada em base mensal não garante o suprimento da área atualmente irrigada, sendo necessário a adoção de práticas de regularização de vazões.

Na Figura 43 estão apresentadas as vazões requeridas para suplementação das demandas de irrigação para suprir a área atualmente irrigada no condomínio Boa Esperança, para as semeaduras do milho em 1/maio e da soja em 1/janeiro, e as vazões médias mensais.

Evidencia-se que as vazões requeridas para a suplementação da demanda de água pela irrigação da soja são inferiores às vazões médias mensais e também são inferiores as vazões requeridas para fins de irrigação do milho, indicando que o volume de reservação da soja pode ser considerado pequeno e que o projeto de um reservatório deverá considerar as vazões requeridas pelo milho.

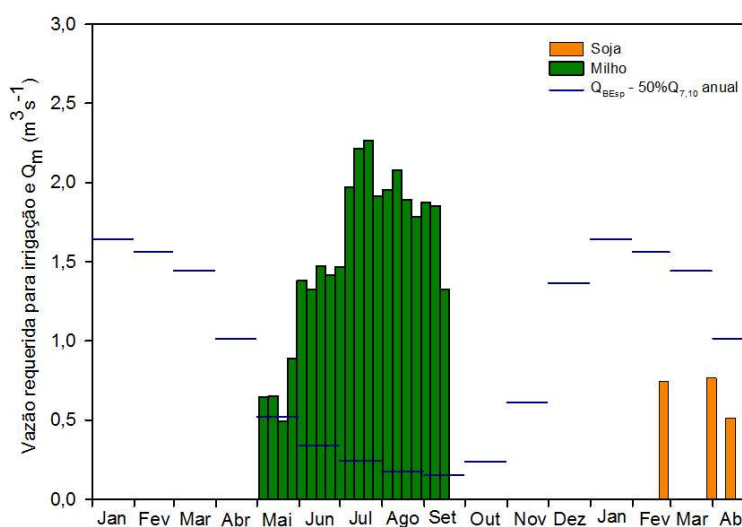


Figura 43 - Vazões médias mensais e vazões requeridas pela irrigação para suprir a área atualmente irrigada no condomínio Boa Esperança para as culturas do milho e soja para as datas de semeadura propostas no cenário 11.

4.3.3. Relação entre a área potencialmente irrigável e a área atualmente irrigada

Na Figura 44 estão apresentadas a relação entre as áreas potencialmente irrigáveis estimadas com base nas disponibilidades hídricas anual e mensais e a área atualmente irrigada em cada condomínio, para diferentes datas de semeadura.

Dentre os cenários analisados apenas no cenário 9 a soja pode ser cultivada em condições de sequeiro.

Considerando a disponibilidade hídrica em base anual esta não garante a suplementação das demandas de água requerida para irrigação do milho em todos os cenários analisados. Entretanto, garante o suprimento das demandas de complementação hídrica da soja no cenários 8, para todos os condomínios.

Quando considerada a disponibilidade hídrica estimada em base mensal, embora promova uma atenuação do suprimento das demandas de complementação hídrica do milho esta não garante o suprimento da A_{ai} nos cenários 9, 10 e 11, exceto no condomínio São Pedro em que a disponibilidade hídrica mensal garante o suprimento da A_{ai} .

No cenário 8, a consideração da disponibilidade hídrica mensal garante o suprimento das demandas de complementação hídrica para ambas as culturas, exceto nos condomínios Boa Esperança e Vereda Grande.

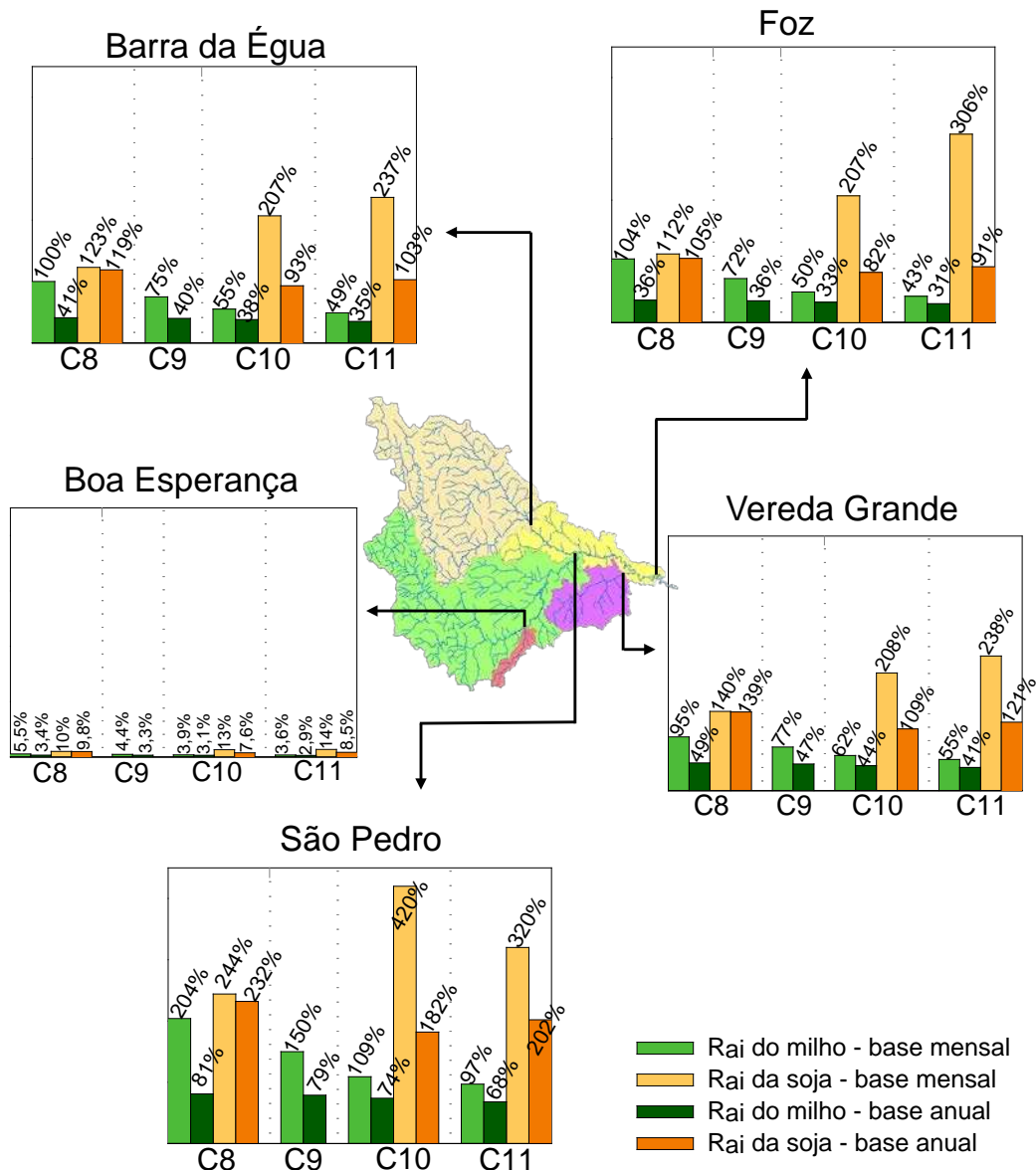


Figura 44 - Relação entre a área potencialmente irrigável e a área atualmente irrigada (R_{ai}) para os cinco condomínios analisados e para diferentes datas de semeadura.

5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos neste trabalho chegou-se às seguintes conclusões:

- A consideração do critério de outorga anual é insuficiente para garantir o suprimento de água requerido pelas demandas de complementação de irrigação em qualquer plano de plantio estudado;
- A utilização do critério de outorga mensal potencializa a solução da complementação das demandas de irrigação para três dos cinco condomínios analisados e para todos os planos de rotação, sendo que o calendário atualmente praticado é o mais adequado para o uso eficiente d'água.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil: 2011. 2011.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Manual de Estudos de Disponibilidade Hídrica para Aproveitamentos Hidrelétricos. 2009.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil:2013. 2013a.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Manual de procedimentos técnicos e administrativos de outorga de direito de uso de recursos hídricos da Agência Nacional de Águas. 2013b.

ANDARZIAN, B.; HOOGENBOOM, G.; BANNAYAN, M.; SHIRALI, M.; ANDARZIAN, B. Determining optimum sowing date of wheat using CSM-CERES-Wheat model. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, 2014. King Saud University and Saudi Society of Agricultural Sciences.

ASFORA, M. C.; CIRILO, J. A. Reservatórios de regularização: alocação de água para usos múltiplos com diferentes garantias. **Rega**, v. 2, n. 2, p. 27 – 38, 2005.

BACIGALUPPO, S.; BODRERO, M. L.; BALZARINI, M. Main edaphic and climatic variables explaining soybean yield in Argiudolls under no-tilled systems. **European Journal of Agronomy**, v. 35, n. 4, p. 247–254, 2011. Elsevier B.V. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1161030111000748>>. Acesso em: 14/9/2014.

BANNAYAN, M.; EYSHI REZAEI, E.; HOOGENBOOM, G. Determining optimum planting dates for rainfed wheat using the precipitation uncertainty model and adjusted crop evapotranspiration. **Agricultural Water Management**, v. 126, p. 56–63, 2013.

BARBOSA, A. R. **Regularização de vazão**. Hidrologia Aplicada, 2011.

BATTISTI, R.; SENTELHAS, P. C.; PILAU, F. G.; WOLLMANN, C. A. Eficiência climática para as culturas da soja e do trigo no estado do Rio Grande do Sul em diferentes datas de semeadura. **Ciência Rural**, v. 43, n. 3, p. 390–396, 2013.

BOF, L. H. N.; PRUSKI, F. F.; SILVA, L. M. C.; JUSTINO, F. Analysis of appropriate timescales for water diversion permits in Brazil. **Environmental management**, v. 51, n. 2, p. 492–500, 2013.

BRITO, R. A. L.; BASTINGS, I. V. O. W. A.; BORTOLOZZO, A. R. The Paracatu/Entre-Ribeiros irrigation scheme in Southeastern Brazil. **Irrigation and Drainage Systems**, v. 17, p. 285–303, 2003.

BUENO. Estudos climáticos: evapotranspiração. 2012. Apostila. Disponível em: <[http://www.ifgoiano.edu.br/ipora/images/stories/coordenacao/Bueno/2 - estudos climticos - evapotranspirao.pdf](http://www.ifgoiano.edu.br/ipora/images/stories/coordenacao/Bueno/2_estudos_climticos_-_evapotranspirao.pdf)>. Acesso em 16/08/2012.

CARVALHO, I. R.; KORCELSKI, C.; PELISSARI, G.; HANUS, D. A.; ROSA, G. M. Demanda hídrica das culturas de interesse agrônomo. **Enciclopédia Biosfera**, v. 9, n. 17, p. 969–985, 2013.

CARVALHO, L. G.; RIOS, G. F. A.; MIRANDA, W. L.; NETO, P. C. Evapotranspiração De Referência: Uma Abordagem Atual De Diferentes Métodos De Estimativa. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 3, p. 456–465, 2011.

CHRISTOFIDIS, D. Água, irrigação e agropecuária. **Revista Política Agrícola**, v. XXII, n. 1, p. 115–127, 2013.

COSGROVE, C. E.; COSGROVE, W. J. **The Dynamics of Global Water Futures Driving Forces 2011 – 2050**. 2011.

DAB. Diagnóstico ambiental da sub-bacia do ribeirão Entre Ribeiros. 2003. Iriplan Engenharia Ltda.

DOORENBONS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Roma: FAO Irrigação e drenagem - 33, 1994.

ECKER, S. L.; SILVA, C.; PERIN, G. F. Efeito das épocas de semeadura sobre os componentes biológicos de sorgo sacarino. XXX Congresso Nacional de milho e sorgo. **Anais...** p.2–5, 2014. Salvador/BA.

EITZINGER, J.; ŠTASTNÁ, M.; ŽALUD, Z.; DUBROVSKÝ, M. A simulation study of the effect of soil water balance and water stress on winter wheat production under different climate change scenarios. **Agricultural Water Management**, v. 61, n. 3, p. 195–217, 2003.

ERTEK, A.; YILMAZ, H. The agricultural perspective on water conservation in Turkey. **Agricultural Water Management**, v. 143, p. 151–158, 2014.

EUCLYDES, H. P.; FERREIRA, P. A.; FARIA FILHO, R. F. Critério de outorga sazonal para a agricultura irrigada no estado de Minas Gerais. Estudo de caso. **Irrigação e Tecnologia Moderna**, v. 71/72, p. 1–13, 2006.

FAO. Food and Agricultural Organization of the United Nations. 2011. Disponível em:< <https://www.fao.org.br/>>. Acesso em 20/02/12.

FENNER, W.; DALLACORT, R.; SANTI, A.; OKUMURA, R. S.; TIEPPO, R. C. Épocas de semeadura do arroz de sequeiro na região de Tangará da Serra. **Engenharia na Agricultura**, v. 21, n. 6, p. 583–596, 2013.

GUIMARÃES, T. B.; CUNHA, M. A. R.; CHAVES, M. **Transformando o desenvolvimento da agropecuária**. 2004.

HEINEMANN, A. B.; STONE, L. F. Efeito da deficiência hídrica no desenvolvimento e rendimento de quatro cultivares de arroz de terras altas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 39, n. 2, p. 134–139, 2009.

HORAI, K.; ISHII, A.; MAE, T.; SHIMONO, H. Effects of early planting on growth and yield of rice cultivars under a cool climate. **Field Crops Research**, v. 144, p. 11–18, 2013.

IBGE. Censo Agropecuário. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/default.shtm>>, 2010. Acesso em 20/02/2012.

ITABORAHY, C. R.; COUTO, L.; SANTOS, D. G.; PRETO, L. A.; REZENDE, L. S. Agricultura irrigada e o uso racional de água. 2004. Agência Nacional de Águas, Superintendência de Conservação de Água e Solo.

JÚNIOR, J. L. C. S.; FRIZZONE, J. A.; PAZ, V. P. S. Otimização do uso da água no perímetro irrigado formoso aplicando lâminas máximas de água. **Irriga**, v. 19, n. 2, p. 196–206, 2014.

KANG, M.; PARK, S. Modeling water flows in a serial irrigation reservoir system considering irrigation return flows and reservoir operations. **Agricultural Water Management**, v. 143, p. 131–141, 2014.

KHARRAZ, J. EL; EL-SADEK, A.; GHAFFOUR, N.; MINO, E. Water scarcity and drought in WANA countries. **Procedia Engineering**, v. 33, p. 14–29, 2012.

LIMA, D. P.; SEDIYAMA, G. C.; ANDRADE, R. G.; LOPES, V. D.; SILVA, B. B. Evapotranspiração real diária em sub-bacias do Paracatu, utilizando produtos do sensor Modis. **Revista Ceres**, v. 61, n. 1, p. 017–027, 2014.

LIMA, J. R. S.; ANTONINO, A. C. D.; LIRA, C. A. B. O.; SOUZA, E. S.; SILVA, I. F. Balanço de energia e evapotranspiração de feijão caupi sob condições de sequeiro. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 1, p. 65–74, 2011.

LOPES, A. S.; OLIVEIRA, G. Q.; FILHO, S. N. S.; GOES, R. J.; CAMACHO, M. A. Manejo de irrigação e nitrogênio no feijoeiro comum cultivado em sistema plantio direto. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 1, p. 51–56, 2011.

LORENÇONI, R.; NETO, D. D.; HEINEMANN, A. B. Calibração e avaliação do modelo ORYZA-APSIM para o arroz de terras altas no Brasil. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 4, p. 605–613, 2010.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: princípios e métodos**. 3rd ed. Viçosa/MG, 2009.

MARINI, P.; MORAES, C. L.; MARINI, N.; MORAES, D. M.; AMARANTE, L. Alterações fisiológicas e bioquímicas em sementes de arroz submetidas ao estresse térmico. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 4, p. 722–730, 2012.

MARQUES, F. D. A.; DAVID, D.; RAMOS, M. M.; PRUSKI, F. F. AQUORA — Sistema Multi-Usuário para Gestão de Recursos Hídricos. , v. 14, p. 51–69, 2009.

MOREIRA, M. C.; SILVA, D. D.; LARA, M. S.; PRUSKI, F. F. Índices de Conflito pelo uso da Água da Bacia do Ribeirão entre Ribeiros. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, n. 1, p. 221–228, 2014.

MOROKE, T. S.; SCHWARTZ, R. C.; BROWN, K. W.; JUO, A. S. R. Water use efficiency of dryland cowpea, sorghum and sunflower under reduced tillage. **Soil and Tillage Research**, v. 112, n. 1, p. 76–84, 2011. Elsevier B.V.

OKUYAMA, L. A.; FEDERIZZI, L. C.; NETO, J. F. B. Correlation and path analysis of yield and its components and plant traits in wheat. **Ciência Rural**, v. 34, n. 6, p. 1701–1708, 2004.

OLIVEIRA, J. R.; PRUSKI, F. F.; NUNES, A. D. A. Otimização do aproveitamento da disponibilidade de águas superficiais na bacia do Ribeirão entre Ribeiros. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 18, n. 4, p. 157–172, 2013.

OLIVEIRA, J. R. S. **Otimização do aproveitamento da disponibilidade de águas superficiais na bacia do ribeirão entre ribeiros**, 2011. 85 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa/MG. 2011.

OLIVEIRA, L. F. C.; CARVALHO, D. F. Regionalização da lâmina suplementar de irrigação e época de plantio da cultura de feijão , no Estado de Goiás. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 1, p. 106–110, 2003.

OLIVEIRA, L. F. C.; SILVA, M. A. S. Regionalização da lâmina suplementar de irrigação e época de semeadura do milho no estado de goiás e distrito federal. **Bioscience Journal**, v. 25, n. 4, p. 43–52, 2009.

ONU. Creating a Sustainable Food Future. 2013. Word Resouces Report 2013 - 14: Interim Findings.

OWEIS, T.; HACHUM, A. Optimizing supplemental irrigation: Tradeoffs between profitability and sustainability. **Agricultural Water Management**, v. 96, n. 3, p. 511–516, 2009.

PANDEYA, B.; MULLIGAN, M. Modelling crop evapotranspiration and potential impacts on future water availability in the Indo-Gangetic Basin. **Agricultural Water Management**, v. 129, p. 163–172, 2013.

PARIZI, A. R. C. **Funções de produção das culturas de milho e feijão através de estudo experimental e simulado**, 2010. 205 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria/RS. 2010.

PEREIRA, A. R.; SEDIYAMA, G. C.; VILLA NOVA, N. A. **Evapotranspiração**. Fundag ed. Campinas, 2013.

PEREIRA, J. S. J. Recursos hídricos - conceituação, disponibilidade e usos. 2004. Biblioteca Digital da Câmara.

PEREIRA, M.; KAYSER, R.; COLLISCHONN, W. Regionalização de vazões assistida por modelagem hidrológica para análises de disponibilidade de água, estudo de caso: Bacia do rio Ibicuí -RS. XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. **Anais...** p.1–8, 2013. Bento Gonçalves/RS.

PINTO, M. F.; ALVES, D. G.; PAULINO, J.; COELHO, R. D. Distribuição de frequência da precipitação e sua aplicação no dimensionamento de projetos de irrigação suplementar. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 6, n. 4, p. 303–313, 2012.

PIRES, R. C.; ARRUDA, F. B.; SAKAI, E.; CALHEIROS, R. O.; BRUNINI, O. Agricultura irrigada. **Revista Tecnológica e Inovação Agropecuária**, p. 98–111, 2008.

RODRIGUEZ, R. D. G. **Metodologia para a estimativa das demandas e disponibilidades hídricas: Estudo de caso da bacia do Paracatu**, 2004. 111 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa/MG. 2004.

ROSSATO, L. Estimativa da capacidade de armazenamento de água no solo do Brasil, 2002. 145 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) INPE, São José dos Campos/SP. 2002.

SANTANA, M. J.; CARVALHO, J. A.; ANDRADE, M. J. B. Viabilidade técnica econômica da aplicação de água na cultura do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciência Agrotécnica**, v. 33, n. 2, p. 532–538, 2009.

SANTOS, R. R. S. **Crise hídrica na irrigação: O Caso do Ribeirão Entre-Ribeiros (MG)**, 2007. 116 p. Dissertação (Mestrado), Universidade de Brasília, Brasília/DF. 2007.

SCHALDACH, R.; KOCH, J.; AUS DER BEEK, T.; KYNAST, E.; FLÖRKE, M. Current and future irrigation water requirements in pan-Europe: An integrated analysis of socio-economic and climate scenarios. **Global and Planetary Change**, v. 94-95, p. 33–45, 2012.

SILVA, A.; OLIVEIRA, P. M.; MELLO, C. R.; PIERANGELI, C. Vazões mínimas e de referência para outorga na região do Alto Rio Grande, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 2, p. 374–380, 2006.

SILVA, D. D.; MARQUES, F. A.; LEMOS, A. F. Flexibilidade das vazões mínimas de referência com a adoção do período trimestral. **Engenharia na Agricultura**, v. 19, n. 3, p. 244–254, 2011.

SILVA, F. A. M.; MULLER, A. G.; LIMA, J. E. F. W.; SILVA, E. M.; LOPES, T. S. S. Avaliação da oferta e da demanda hídrica para o cultivo de cana-de-açúcar

no estado de Goiás. II Simpósio Internacional Savanas Tropicais. **Anais...** v. 1, 2008. Brasília/DF.

SILVA, M. B.; HERREROS, M. M. A. G.; BORGES, F. Q. Análise dos aspectos econômicos e socioambientais no projeto hidrelétrico Belo Monte, Pará. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 8, n. 1, p. 16 – 27, 2014.

SOUZA, H. T. **Sistema Computacional para regionalização de vazões**, 2009. 86 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa/MG. 2009.

STRECK, N. A. Do we know how plants sense a drying soil ? **Ciência Rural**, v. 34, n. 2, p. 581–584, 2004.

SUN, H.; SHEN, Y.; YU, Q. Effect of precipitation change on water balance and WUE of the winter wheat–summer maize rotation in the North China Plain. **Agricultural Water Management**, v. 97, n. 8, p. 1139–1145, 2010. Elsevier B.V.

TSIMBA, R.; EDMEADES, G. O.; MILLNER, J. P.; KEMP, P. D. The effect of planting date on maize grain yields and yield components. **Field Crops Research**, v. 150, p. 135–144, 2013.

VASCONCELOS, V. V. **Frentes agrícolas de irrigação e zoneamento ecológico-econômico: estudo de caso da Bacia de Entre-Ribeiros – Noroeste de Minas Gerais**, 2010. 142 p. Dissertação (Mestrado em Geografia), Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte/MG. 2010.

VASCONCELOS, V. V.; MARTINS JUNIOR, P. P.; HADAD, R. M. Bacia hidrográfica e hidrogeológica de Entre-Ribeiros: Zonas prováveis de recarga e análise dos impactos ambientais históricos. **Engenharia Agrícola Jaboticabal**, v. 32, n. 3, p. 560–572, 2012.

VELLAME, L. M.; QUEIROZ, M. Z. S. S.; OLIVEIRA, A. S. Probabilidade de ocorrência da evapotranspiração de referência em Ouricuri-PE. Inovagri International Meeting. **Anais...** , 2012. Fortaleza/ Brasil.

VENZON, M.; PAULA JÚNIOR, T. J. **101 CULTURAS manual de tecnologias agrícolas**. Epamig, 2007.

VERGARA, F. E.; REIS, F. C. DOS R.; MAGALHÃES FILHO, L. N. L.; REZENDE, C. S. A. Proposta de vazão de referência Q_{90} para o rio Formoso na bacia do Araguaia. **Engenharia Ambiental**, v. 10, n. 1, p. 84–102, 2013.

VIVAN, G. A.; PEITER, M. X.; ROBAINA, A. D.; BARBOZA, F. S.; BUSKE, T. C. Rendimento relativo da cultura da soja em função da lâmina de irrigação. **Irriga**, v. 18, n. 2, p. 282–292, 2013.

WAGNER, M. V; JADOSKI, S. O.; MAGGI, M. F.; SAITO, L. R.; LIMA, A. S. Estimativa da produtividade do milho em função da disponibilidade hídrica em Guarapuava, PR, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 2, p. 170–179, 2013.

WANG, J.; HUANG, J.; ZHANG, L.; HUANG, Q. Do incentives still matter for the reform of irrigation management in the Yellow River Basin in China? **Journal of Hydrology**, v. 517, p. 584–594, 2014.

WANG, X.; DAI, K.; ZHANG, D. Dryland maize yields and water use efficiency in response to tillage/crop stubble and nutrient management practices in China. **Field Crops Research**, v. 120, n. 1, p. 47–57, 2011.

WARD, P. R.; FLOWER, K. C.; CORDINGLEY, N.; WEEKS, C.; MICIN, S. F. Soil water balance with cover crops and conservation agriculture in a Mediterranean climate. **Field Crops Research**, v. 132, p. 33–39, 2012.

ZENG, Z.; LIU, J.; SAVENIJE, H. H. G. A simple approach to assess water scarcity integrating water quantity and quality. **Ecological Indicators**, v. 34, p. 441–449, 2013.

ZHANG, S.; SADRAS, V.; CHEN, X.; ZHANG, F. Water use efficiency of dryland maize in the Loess Plateau of China in response to crop management. **Field Crops Research**, v. 163, p. 55–63, 2014.

APÊNDICES

APÊNDICE A

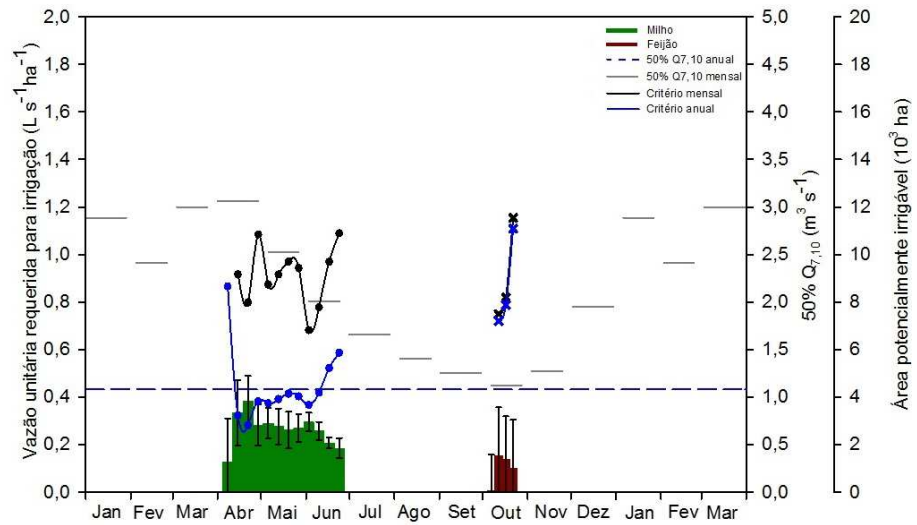


Figura 1A - vazão unitária requerida pela irrigação para as semeaduras do milho em 1/fev e do feijão em 1/out (cenário 1), disponibilidade hídrica para concessão de outorga em base anual e mensal e áreas potencialmente irrigáveis com base nestas disponibilidades hídricas para a seção correspondente à Barra da água.

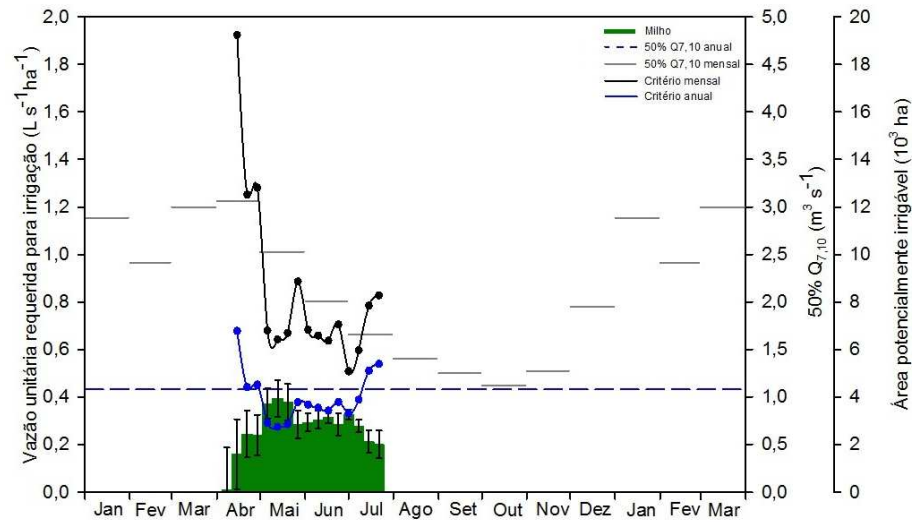


Figura 2A - vazão unitária requerida pela irrigação para as semeaduras do milho em 1/mar e do feijão em 1/nov (cenário 2), disponibilidade hídrica para concessão de outorga em base anual e mensal e áreas potencialmente irrigáveis com base nestas disponibilidades hídricas para a seção correspondente à Barra da água.

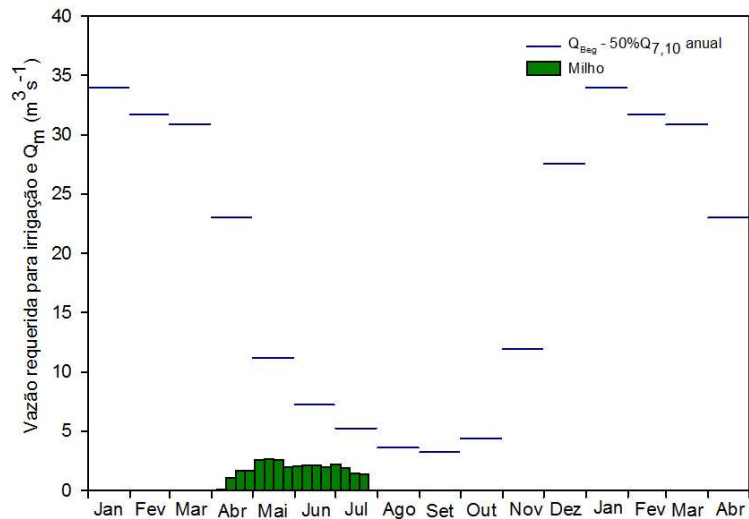


Figura 3A - Vazões requeridas pela irrigação para suprir a A_{ai} para a semeadura do milho em 1/março (cenário 2) e vazões médias mensais para a seção de controle correspondente à Barra da égua.

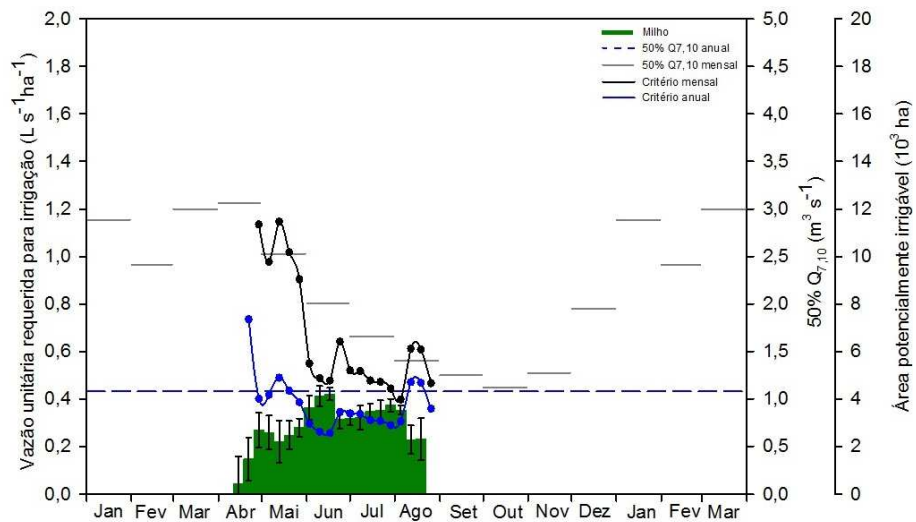


Figura 4A - vazão unitária requerida pela irrigação para a semeadura do milho em 1/abr (cenário 3), disponibilidade hídrica para concessão de outorga em base anual e mensal e áreas potencialmente irrigáveis com base nestas disponibilidades hídricas para a seção correspondente à Barra da égua.

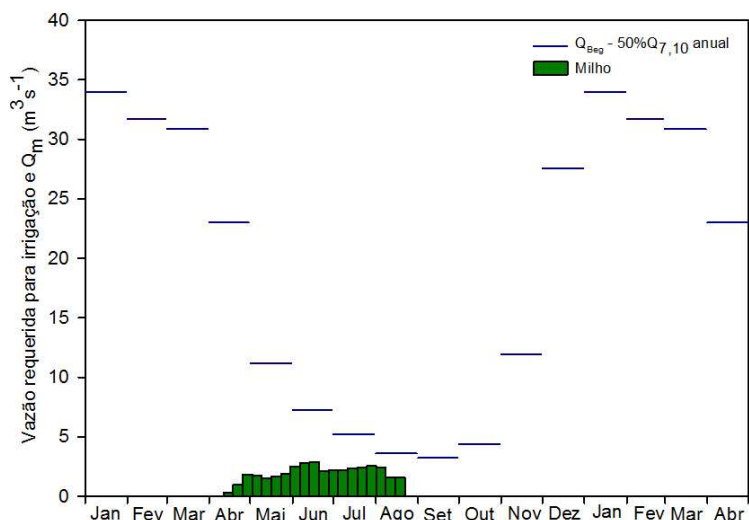


Figura 5A - Vazões requeridas pela irrigação para suprir a A_{ai} para a semeadura do milho em 1/abr (cenário 3) e vazões médias mensais para a seção de controle correspondente à Barra da égua.

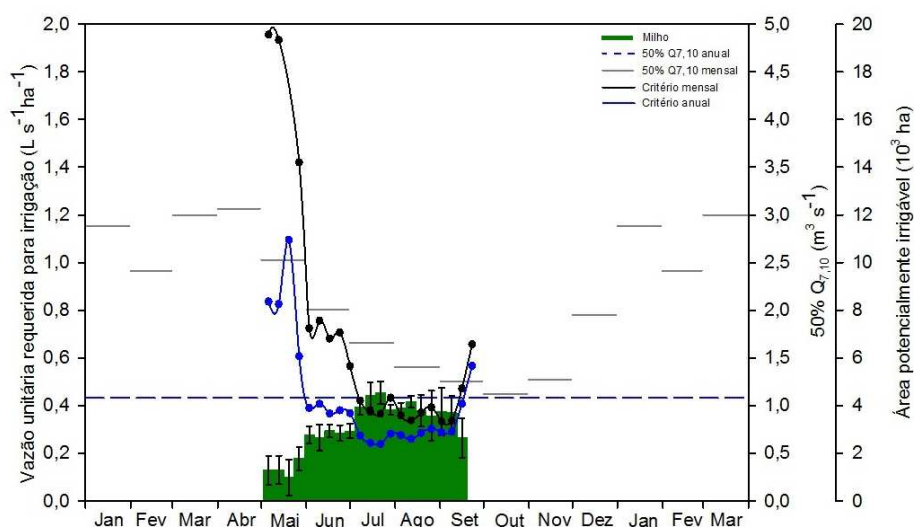


Figura 6A - vazão unitária requerida pela irrigação para a semeadura do milho em 1/mar (cenário 4), disponibilidade hídrica para concessão de outorga em base anual e mensal e áreas potencialmente irrigáveis com base nestas disponibilidades hídricas para a seção correspondente à Barra da égua.

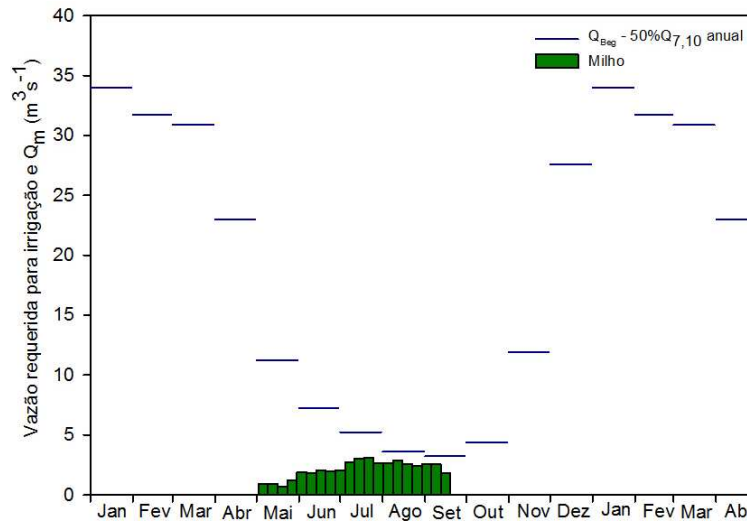


Figura 7A - Vazões requeridas pela irrigação para suprir a A_{ai} para a semeadura do milho em 1/mai (cenário 4) e vazões médias mensais para a seção de controle correspondente à Barra da égua.

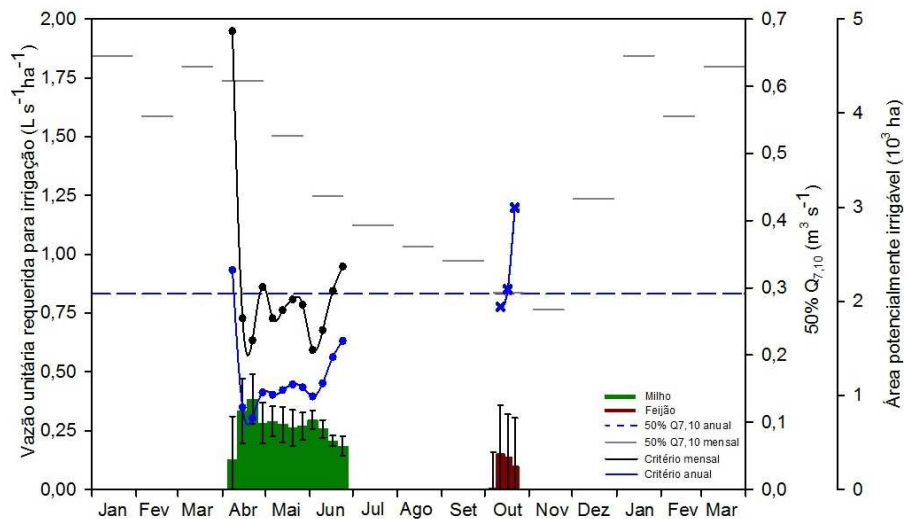


Figura 8A - vazão unitária requerida pela irrigação para as semeaduras do milho em 1/fev e do feijão em 1/out (cenário 1), disponibilidade hídrica para concessão de outorga em base anual e mensal e áreas potencialmente irrigáveis com base nestas disponibilidades hídricas para a seção correspondente à Vereda Grande.

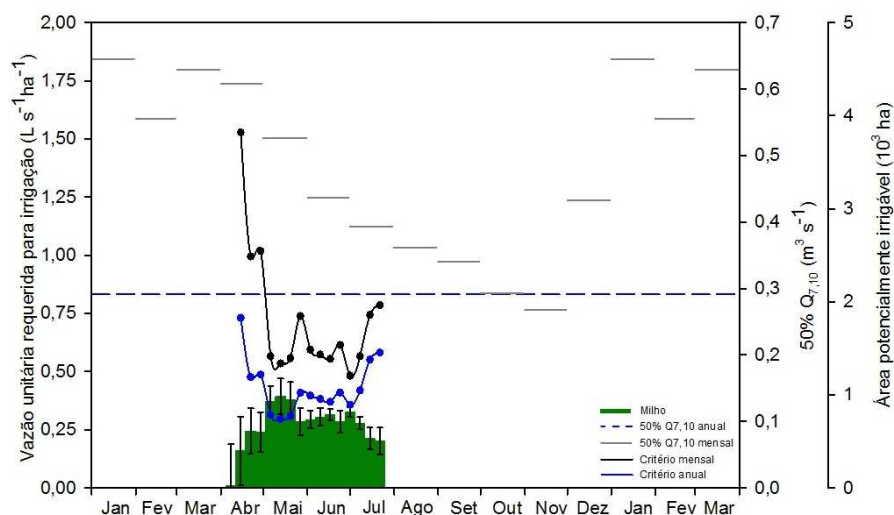


Figura 9A - vazão unitária requerida pela irrigação para as semeaduras do milho em 1/mar e do feijão em 1/nov (cenário 2), disponibilidade hídrica para concessão de outorga em base anual e mensal e áreas potencialmente irrigáveis com base nestas disponibilidades hídricas para a seção correspondente à Vereda Grande.

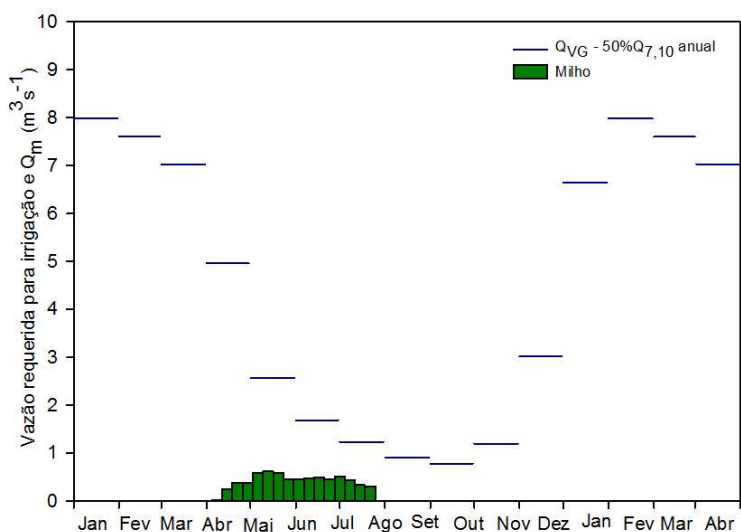


Figura 10A - Vazões requeridas pela irrigação para suprir a A_{ai} para a semeadura do milho em 1/março (cenário 2) e vazões médias mensais para a seção de controle correspondente à Vereda Grande.

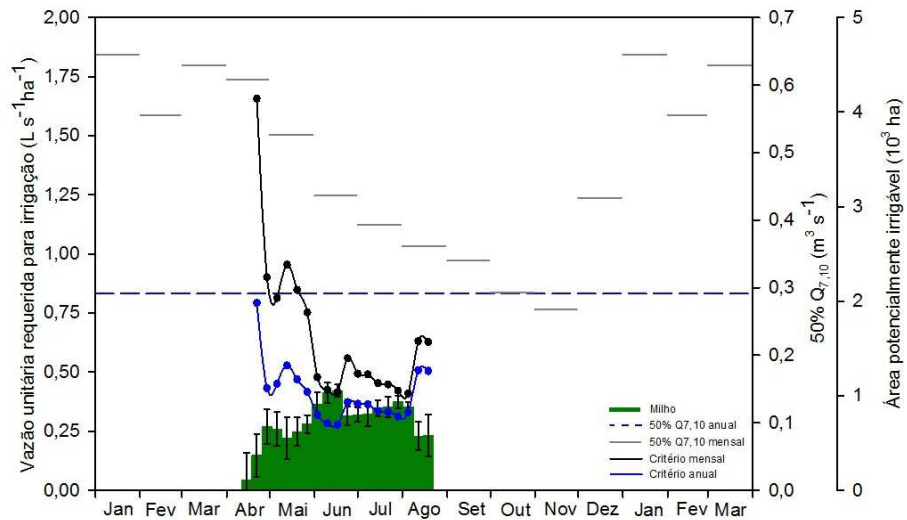


Figura 11A - vazão unitária requerida pela irrigação para a semeadura do milho em 1/abr (cenário 3), disponibilidade hídrica para concessão de outorga em base anual e mensal e áreas potencialmente irrigáveis com base nestas disponibilidades hídricas para a seção correspondente à Vereda Grande.

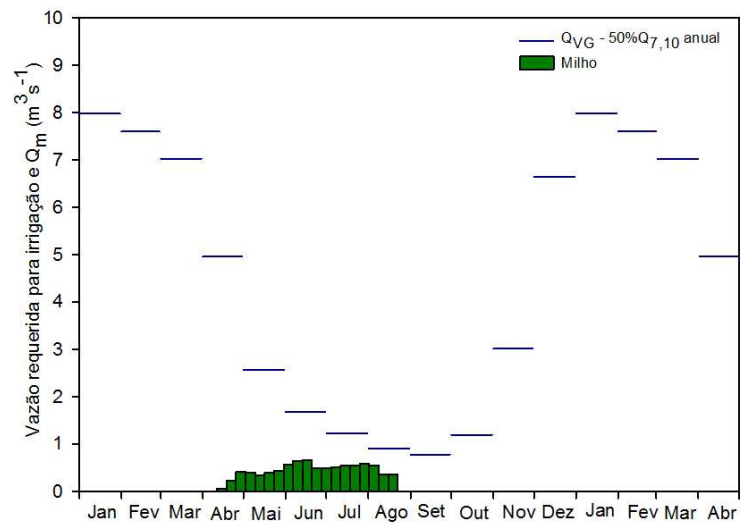


Figura 12A - Vazões requeridas pela irrigação para suprir a A_{ai} para a semeadura do milho em 1/abr (cenário 3) e vazões médias mensais para a seção de controle correspondente à Vereda Grande.

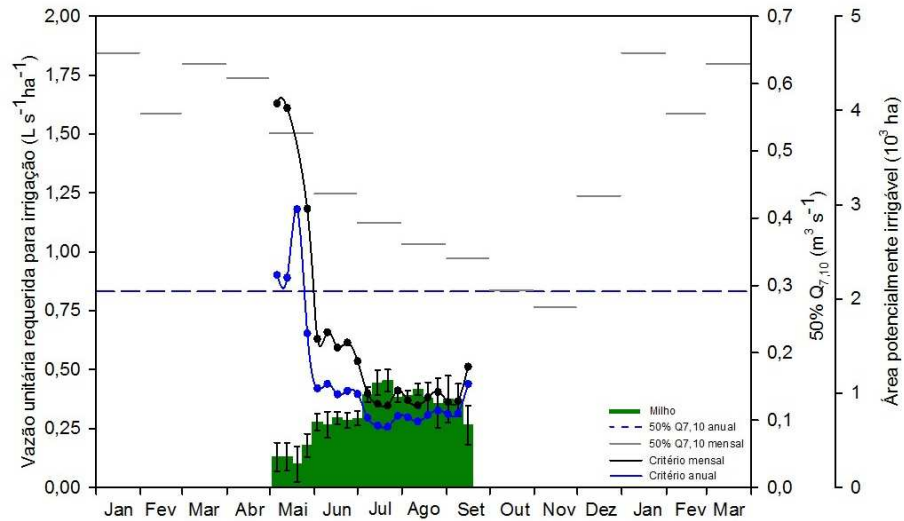


Figura 13A - vazão unitária requerida pela irrigação para a semeadura do milho em 1/mai (cenário 4), disponibilidade hídrica para concessão de outorga em base anual e mensal e áreas potencialmente irrigáveis com base nestas disponibilidades hídricas para a seção correspondente à Vereda Grande.

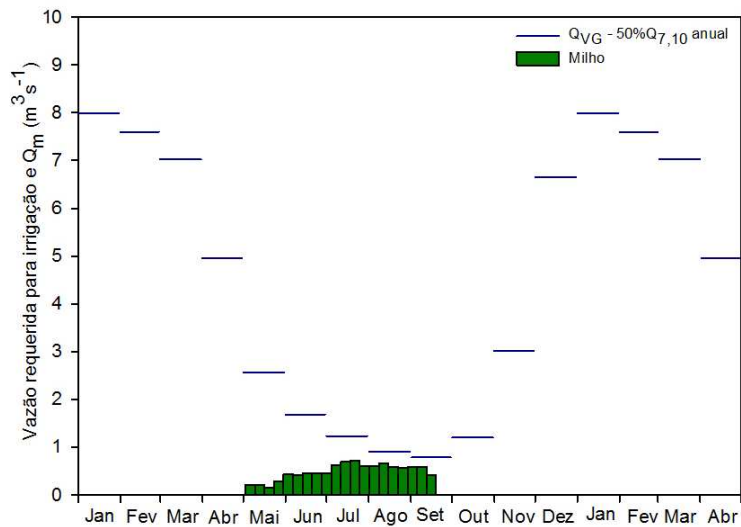


Figura 14A - Vazões requeridas pela irrigação para suprir a A_{ai} para a semeadura do milho em 1/mai (cenário 4) e vazões médias mensais para a seção de controle correspondente à Vereda Grande.

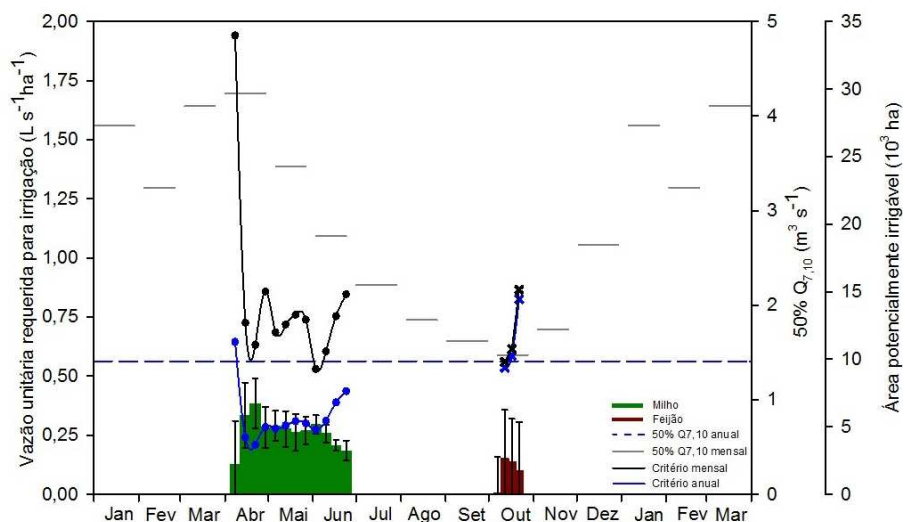


Figura 15A - vazão unitária requerida pela irrigação para as semeaduras do milho em 1/fev e do feijão em 1/out (cenário 1), disponibilidade hídrica para concessão de outorga em base anual e mensal e áreas potencialmente irrigáveis com base nestas disponibilidades hídricas para a seção correspondente à São Pedro.

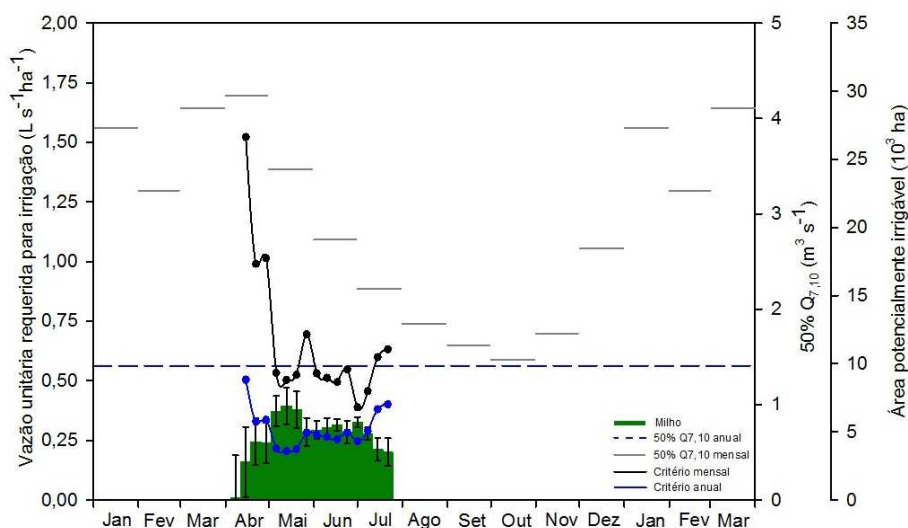


Figura 16A - vazão unitária requerida pela irrigação para as semeaduras do milho em 1/mar (cenário 2), disponibilidade hídrica para concessão de outorga em base anual e mensal e áreas potencialmente irrigáveis com base nestas disponibilidades hídricas para a seção correspondente à São Pedro.

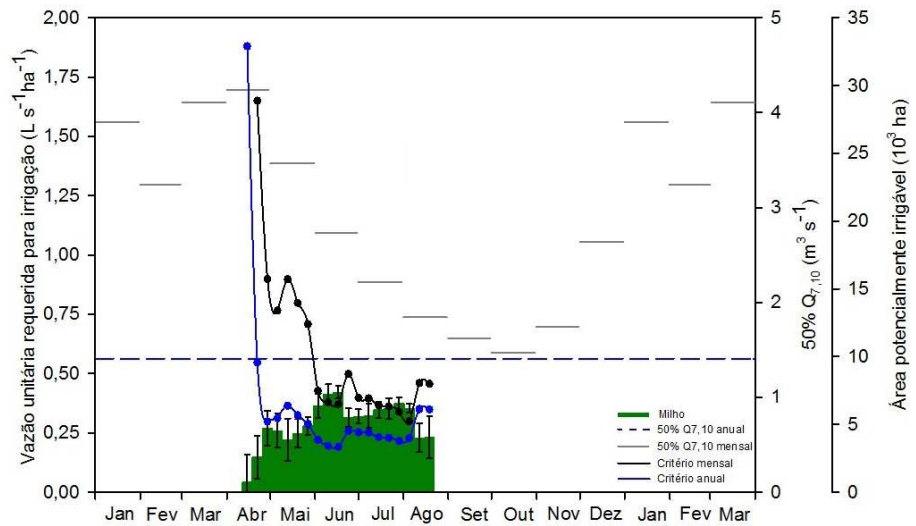


Figura 17A - vazão unitária requerida pela irrigação para as semeaduras do milho em 1/mar (cenário 3), disponibilidade hídrica para concessão de outorga em base anual e mensal e áreas potencialmente irrigáveis com base nestas disponibilidades hídricas para a seção correspondente à São Pedro.

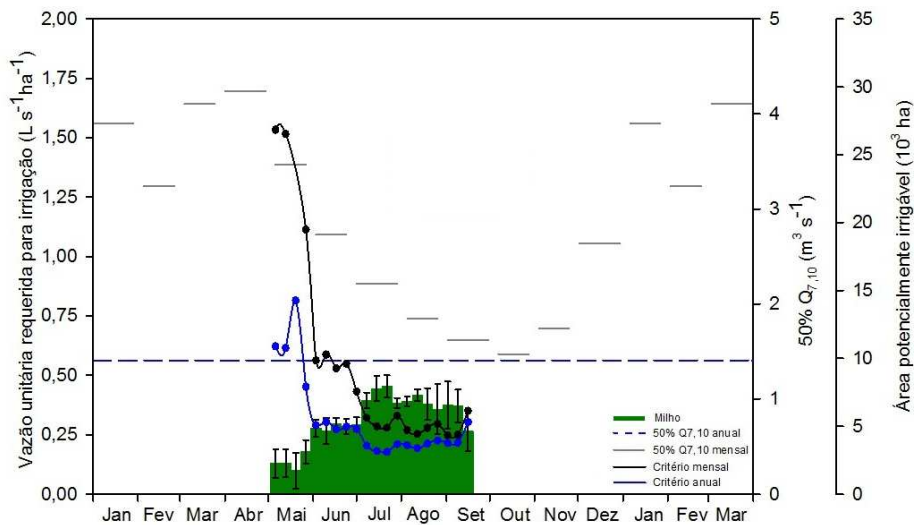


Figura 18A - vazão unitária requerida pela irrigação para as semeaduras do milho em 1/mar (cenário 4), disponibilidade hídrica para concessão de outorga em base anual e mensal e áreas potencialmente irrigáveis com base nestas disponibilidades hídricas para a seção correspondente à São Pedro.

APÊNDICE B

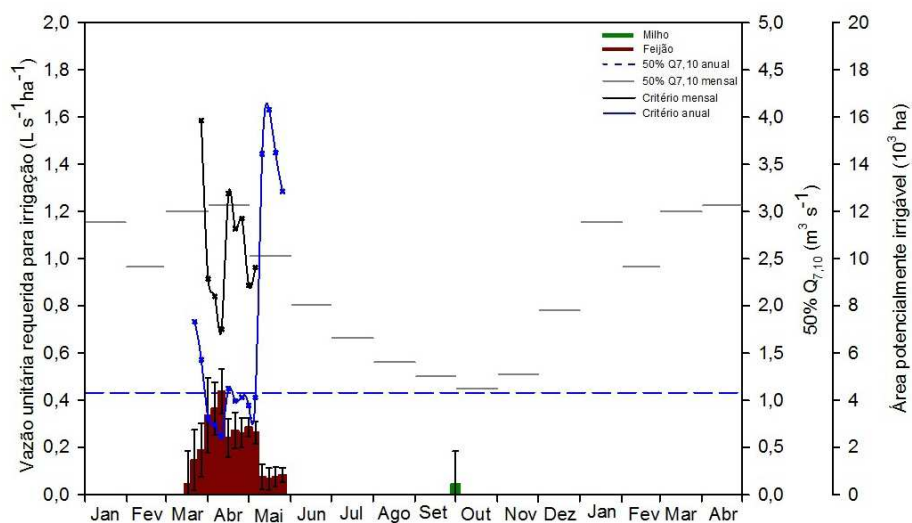


Figura 1B - Vazão unitária requerida pela irrigação para as semeaduras do feijão em 1/mar e do milho em 1/out (cenário 5), disponibilidade hídrica para concessão de outorga em base anual e mensal e áreas potencialmente irrigáveis com base nestas disponibilidades hídricas para a seção correspondente à Barra da égua.

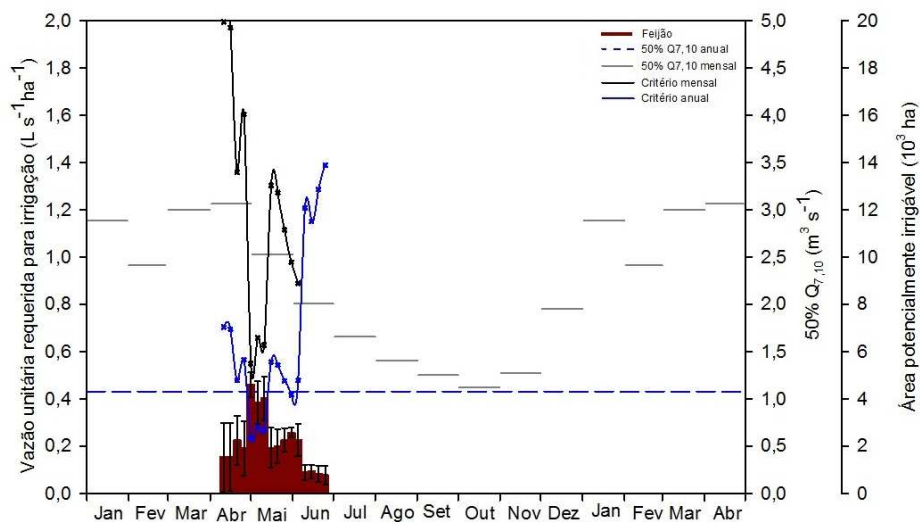


Figura 2B - Vazão unitária requerida pela irrigação para a semeadura do feijão em 1/abr (cenário 6), disponibilidade hídrica para concessão de outorga em base anual e mensal e áreas potencialmente irrigáveis com base nestas disponibilidades hídricas para a seção correspondente à Barra da égua.

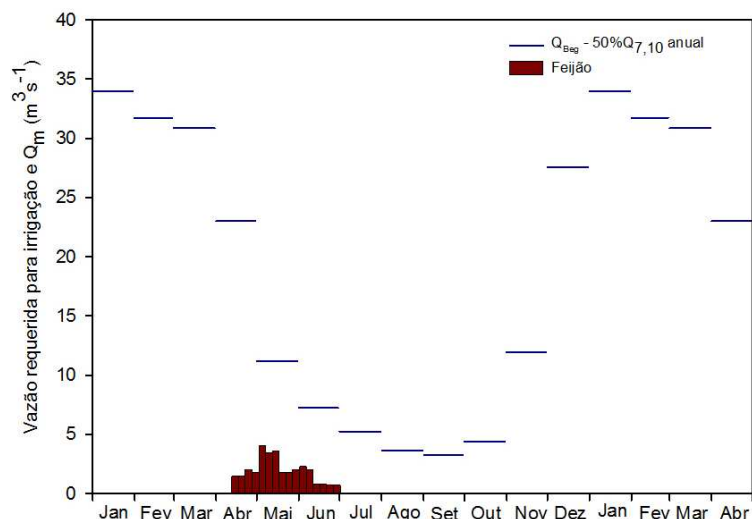


Figura 3B - Vazões requeridas pela irrigação para suprir a A_{ai} para a semeadura do feijão em 1/abr (cenário 6) e vazões médias mensais para a seção de controle correspondente à Barra da água.

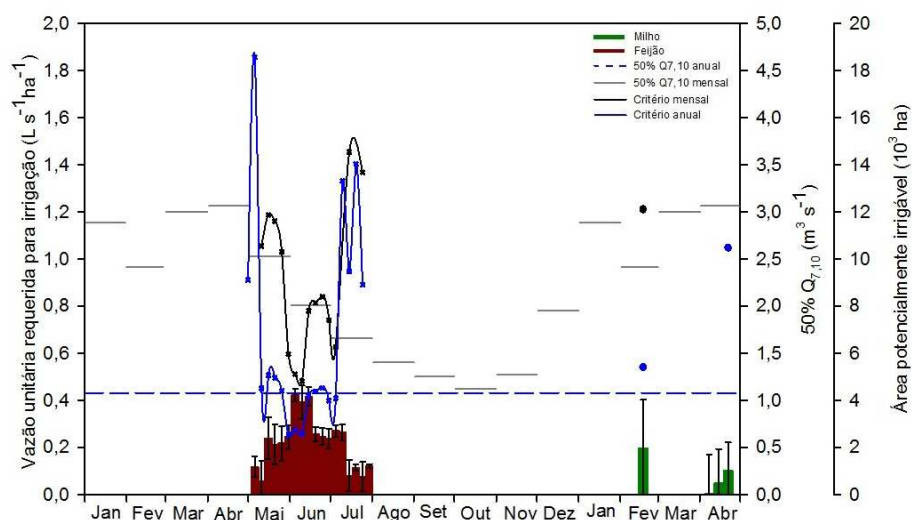


Figura 4B - Vazão unitária requerida pela irrigação para as semeaduras do feijão em 1/mai e do milho em 1/dez (cenário 7), disponibilidade hídrica para concessão de outorga em base anual e mensal e áreas potencialmente irrigáveis com base nestas disponibilidades hídricas para a seção correspondente à Barra da água.

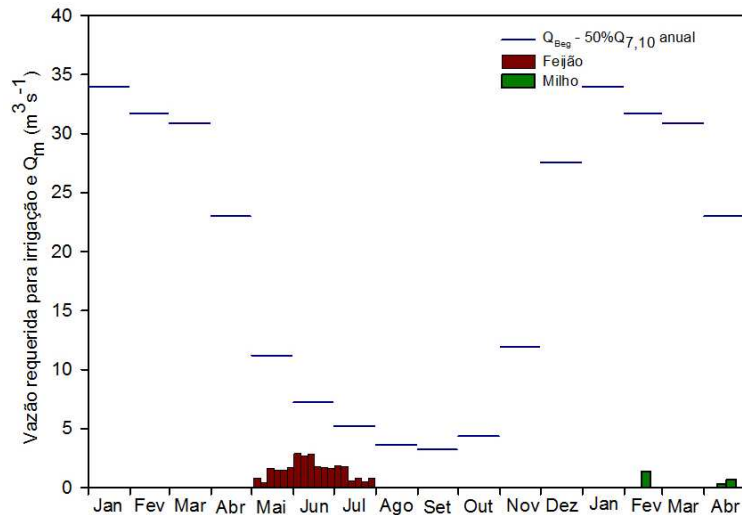


Figura 5B - Vazões requeridas pela irrigação para suprir a A_{ai} para a semeadura do feijão em 1/mar e do milho em 1/dez (cenário 7) e vazões médias mensais para a seção de controle correspondente à Barra da égua.

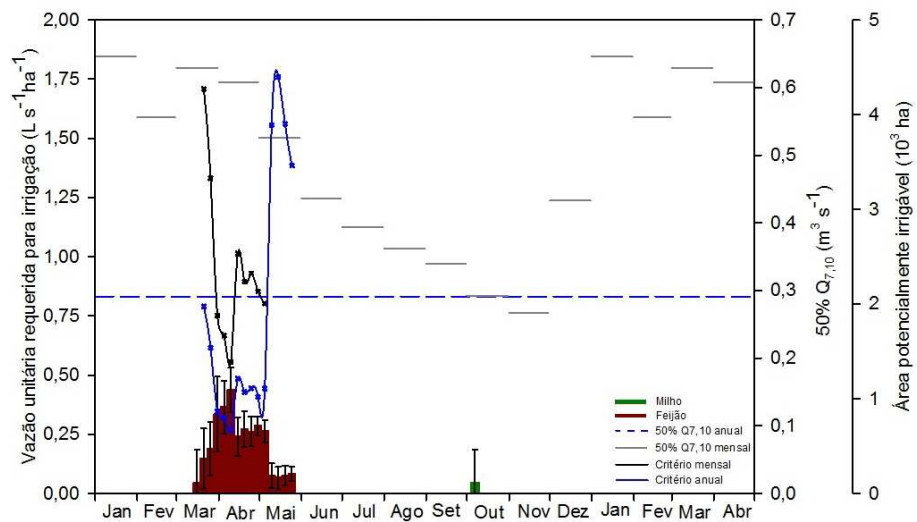


Figura 6B - Vazão unitária requerida pela irrigação para as semeaduras do feijão em 1/mar e do milho em 1/out (cenário 5), disponibilidade hídrica para concessão de outorga em base anual e mensal e áreas potencialmente irrigáveis com base nestas disponibilidades hídricas para a seção correspondente à Vereda Grande.

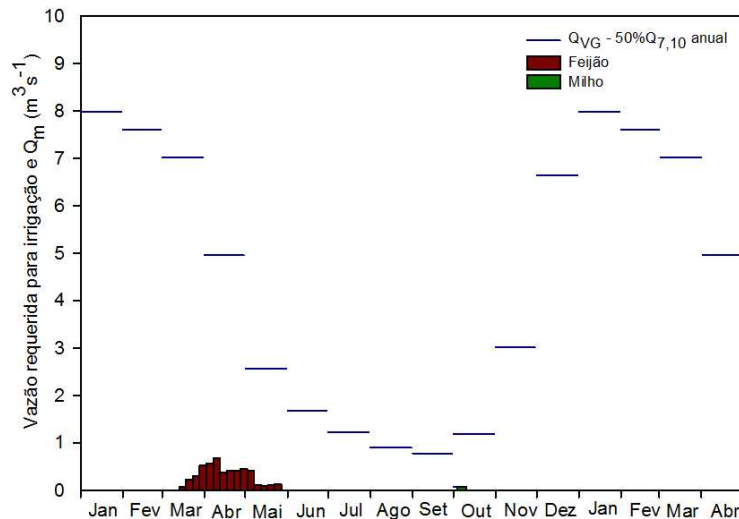


Figura 7B - Vazões requeridas pela irrigação para suprir a A_{ai} para a semeadura do feijão em 1/mar e do milho em 1/out (cenário 5) e vazões médias mensais para a seção de controle correspondente à Vereda Grande.

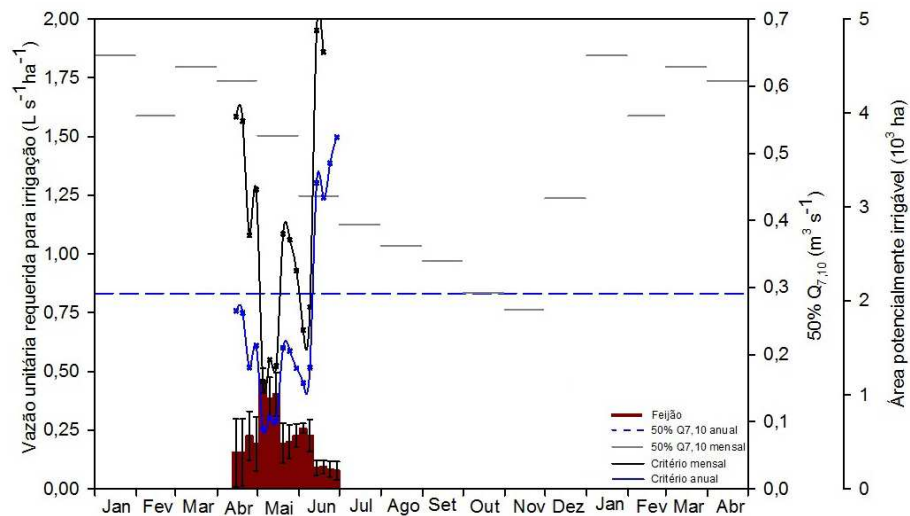


Figura 8B - Vazão unitária requerida pela irrigação para a semeadura do feijão em 1/abr (cenário 6), disponibilidade hídrica para concessão de outorga em base anual e mensal e áreas potencialmente irrigáveis com base nestas disponibilidades hídricas para a seção correspondente à Vereda Grande.

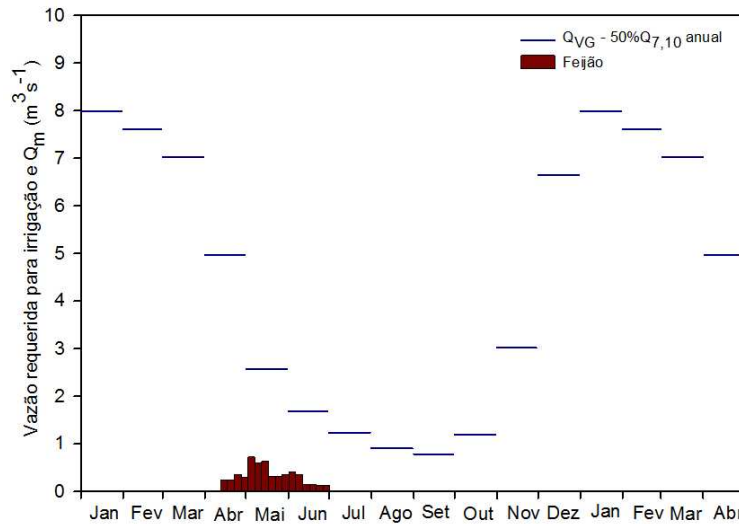


Figura 9B - Vazões requeridas pela irrigação para suprir a A_{ai} para a semeadura do feijão em 1/abr (cenário 6) e vazões médias mensais para a seção de controle correspondente à Vereda Grande.

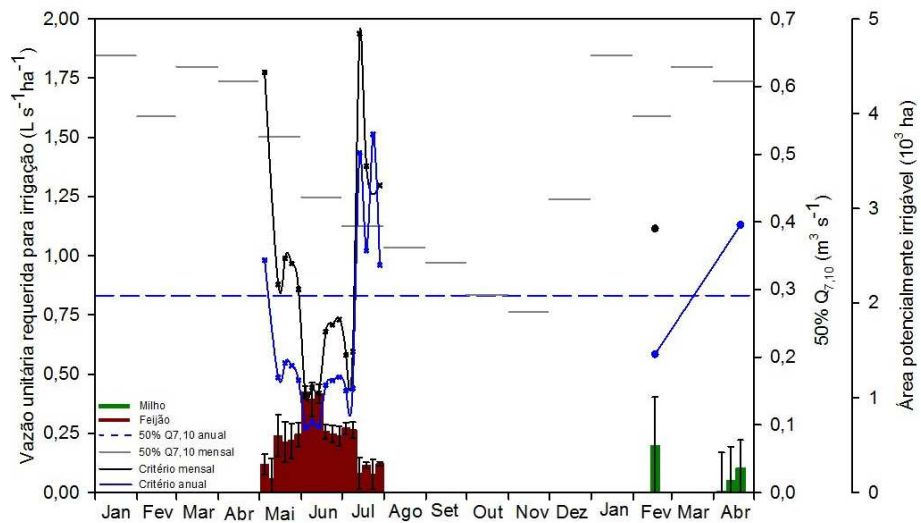


Figura 10B - Vazão unitária requerida pela irrigação para as semeaduras do feijão em 1/mai e do milho em 1/dez (cenário 7), disponibilidade hídrica para concessão de outorga em base anual e mensal e áreas potencialmente irrigáveis com base nestas disponibilidades hídricas para a seção correspondente à Vereda Grande.

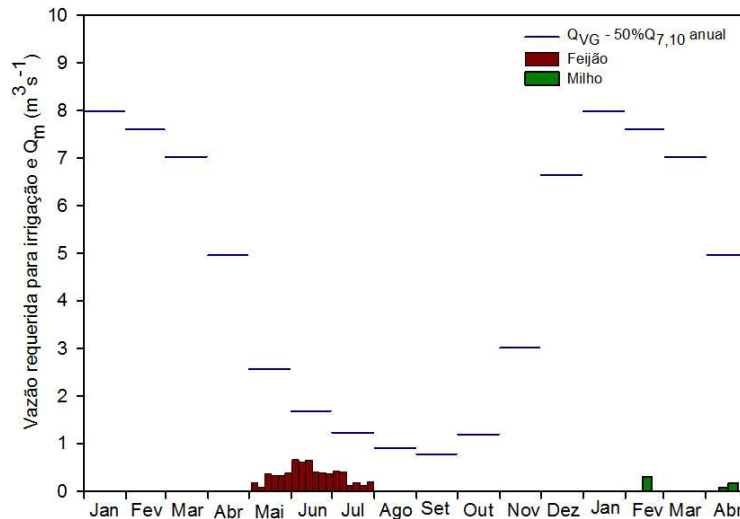


Figura 11B - Vazões requeridas pela irrigação para suprir a A_{ai} para a semeadura do feijão em 1/mar e do milho em 1/abr (cenário 7) e vazões médias mensais para a seção de controle correspondente à Vereda Grande.

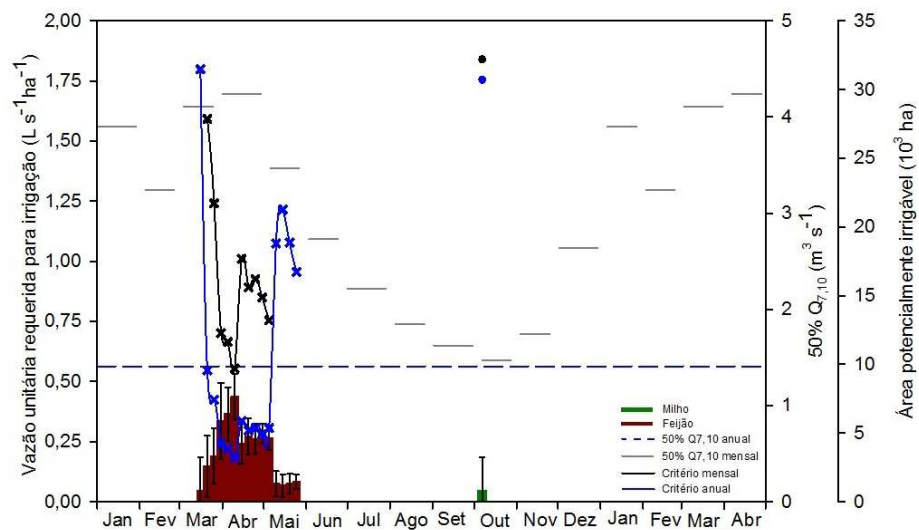


Figura 12B - Vazão unitária requerida pela irrigação para as semeaduras do feijão em 1/mar e do milho em 1/out (cenário 5), disponibilidade hídrica para concessão de outorga em base anual e mensal e áreas potencialmente irrigáveis com base nestas disponibilidades hídricas para a seção correspondente à São Pedro.

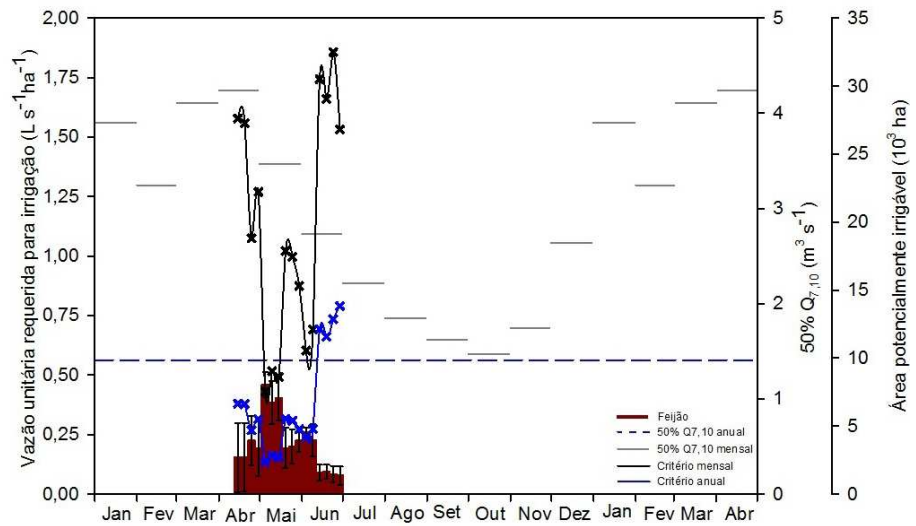


Figura 13B - Vazão unitária requerida pela irrigação para a semeadura do feijão em 1/abr (cenário 6), disponibilidade hídrica para concessão de outorga em base anual e mensal e áreas potencialmente irrigáveis com base nestas disponibilidades hídricas para a seção correspondente à São Pedro.

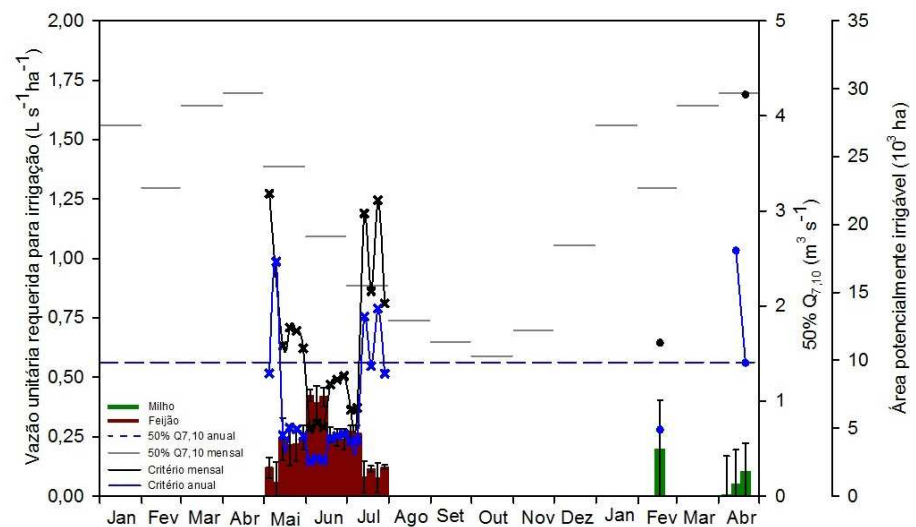


Figura 14B - Vazão unitária requerida pela irrigação para as semeaduras do feijão em 1/mai e do milho em 1/dez (cenário 7), disponibilidade hídrica para concessão de outorga em base anual e mensal e áreas potencialmente irrigáveis com base nestas disponibilidades hídricas para a seção correspondente à São Pedro.

APÊNDICE C

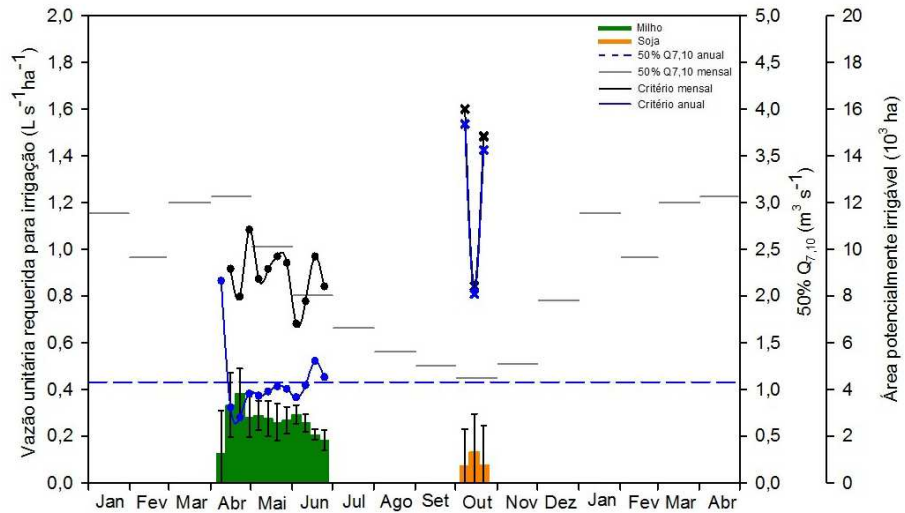


Figura 1C - Vazão unitária requerida pela irrigação para as semeaduras do milho em 1/fev e da soja em 1/out (cenário 8), disponibilidade hídrica para concessão de outorga em base anual e mensal e áreas potencialmente irrigáveis com base nestas disponibilidades hídricas para a seção correspondente à Barra da Égua.

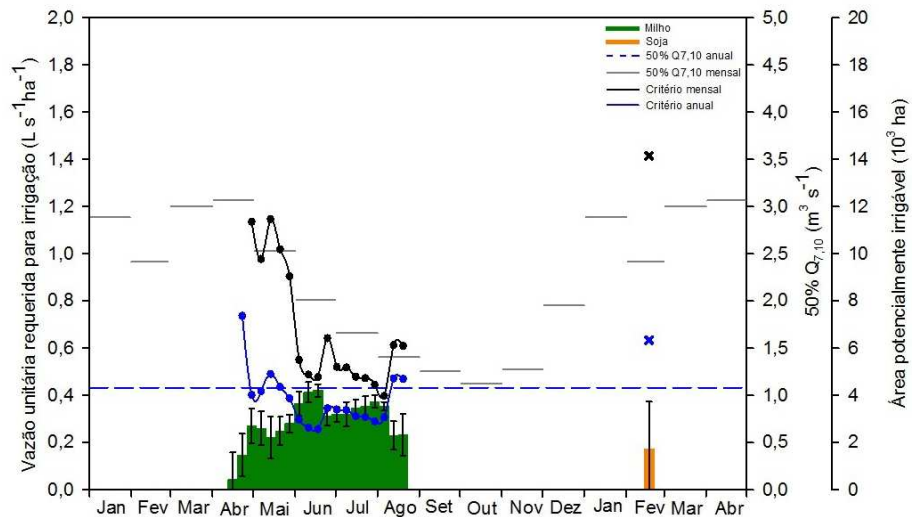


Figura 2C - Vazão unitária requerida pela irrigação para as semeadura do milho em 1/abr e da soja em 1/dez (cenário 10), disponibilidade hídrica para concessão de outorga em base anual e mensal e áreas potencialmente irrigáveis com base nestas disponibilidades hídricas para a seção correspondente à Barra da Égua.

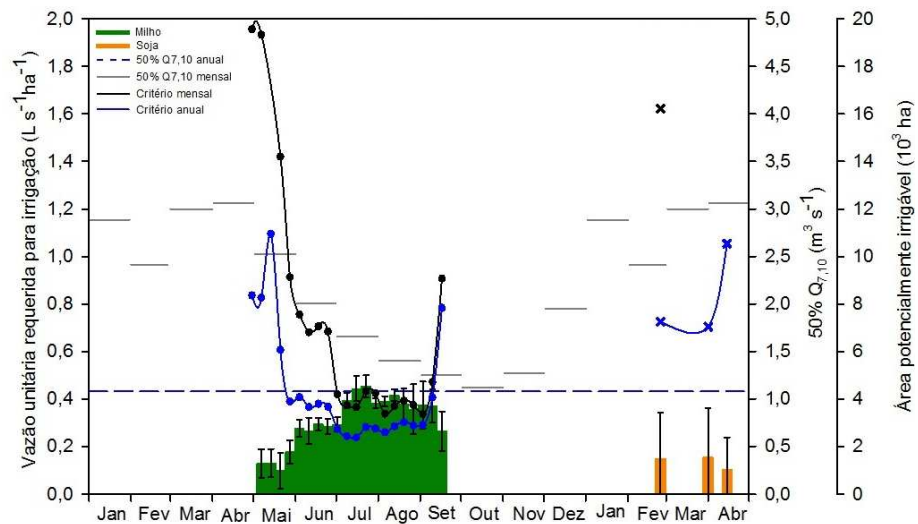


Figura 3C - Vazão unitária requerida pela irrigação para as semeaduras do milho em 1/março e da soja em 1/abril (cenário 11), disponibilidade hídrica para concessão de outorga em base anual e mensal e áreas potencialmente irrigáveis com base nestas disponibilidades hídricas para a seção correspondente à Barra da Égua.

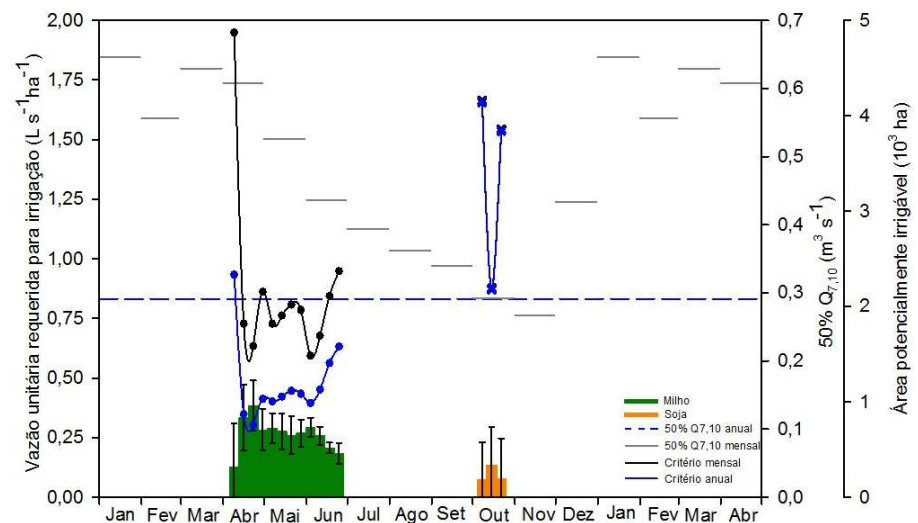


Figura 4C - Vazão unitária requerida pela irrigação para as semeaduras do milho em 1/fevereiro e da soja em 1/outubro (cenário 8), disponibilidade hídrica para concessão de outorga em base anual e mensal e áreas potencialmente irrigáveis com base nestas disponibilidades hídricas para a seção correspondente à Vereda Grande.

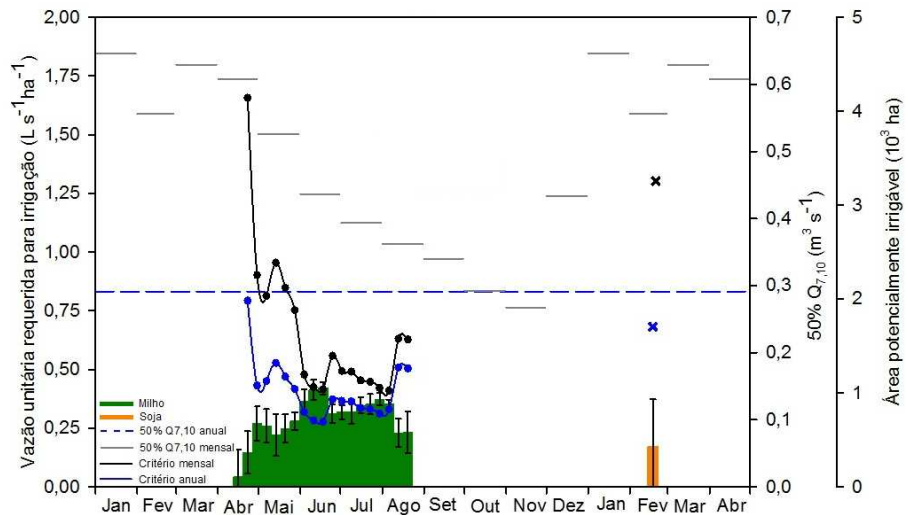


Figura 5C - Vazão unitária requerida pela irrigação para as sementeiras do milho em 1/abr e da soja em 1/dez (cenário 10), disponibilidade hídrica para concessão de outorga em base anual e mensal e áreas potencialmente irrigáveis com base nestas disponibilidades hídricas para a seção correspondente à Vereda Grande.

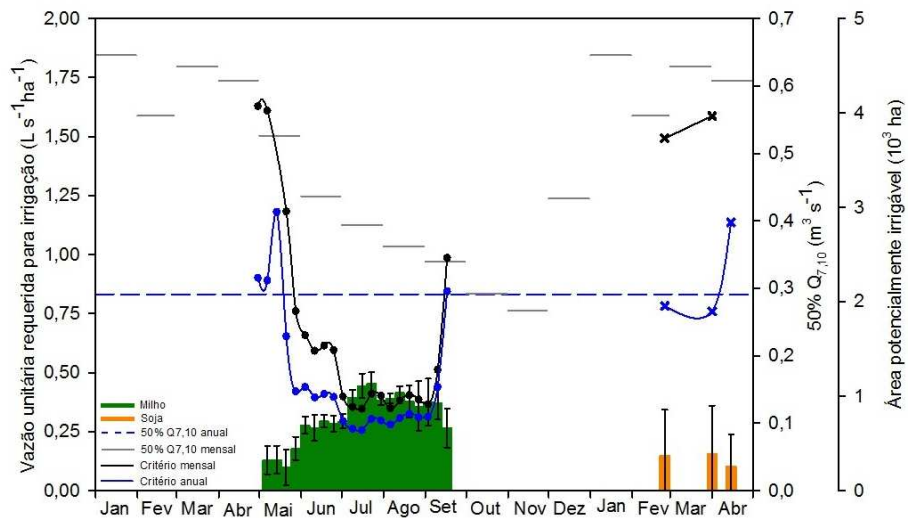


Figura 6C - Vazão unitária requerida pela irrigação para as sementeiras do milho em 1/mai e da soja em 1/jan (cenário 11), disponibilidade hídrica para concessão de outorga em base anual e mensal e áreas potencialmente irrigáveis com base nestas disponibilidades hídricas para a seção correspondente à Vereda Grande.

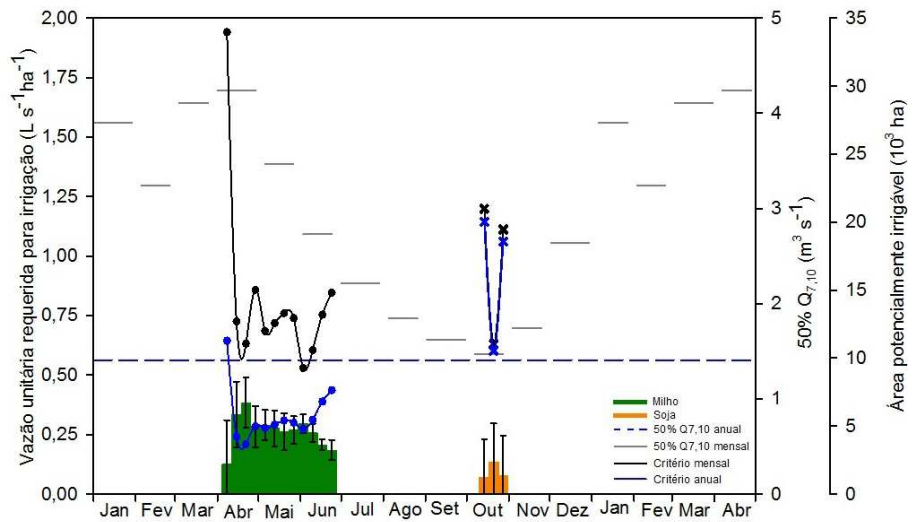


Figura 7C - Vazão unitária requerida pela irrigação para as semeaduras do milho em 1/fev e da soja em 1/out (cenário 8), disponibilidade hídrica para concessão de outorga em base anual e mensal e áreas potencialmente irrigáveis com base nestas disponibilidades hídricas para a seção correspondente à São Pedro.

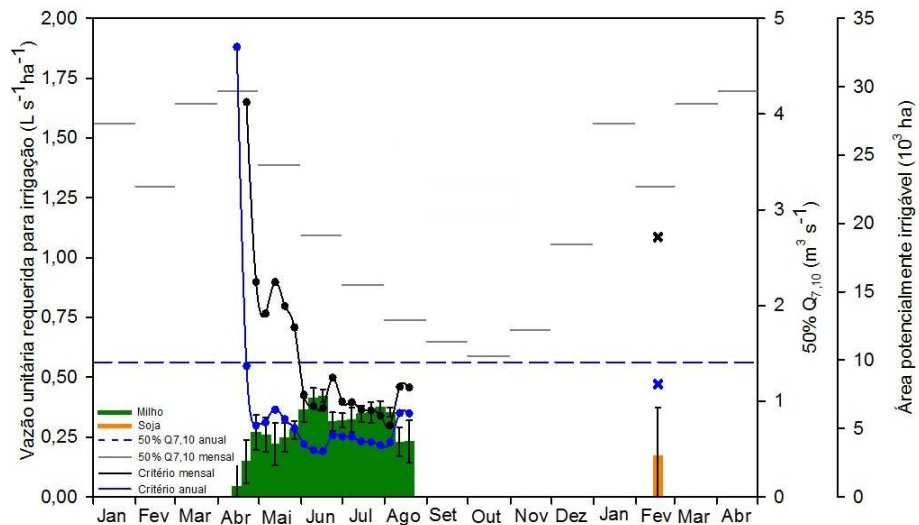


Figura 8C - Vazão unitária requerida pela irrigação para as semeadura do milho em 1/abr e da soja em 1/dez (cenário 10), disponibilidade hídrica para concessão de outorga em base anual e mensal e áreas potencialmente irrigáveis com base nestas disponibilidades hídricas para a seção correspondente à São Pedro.

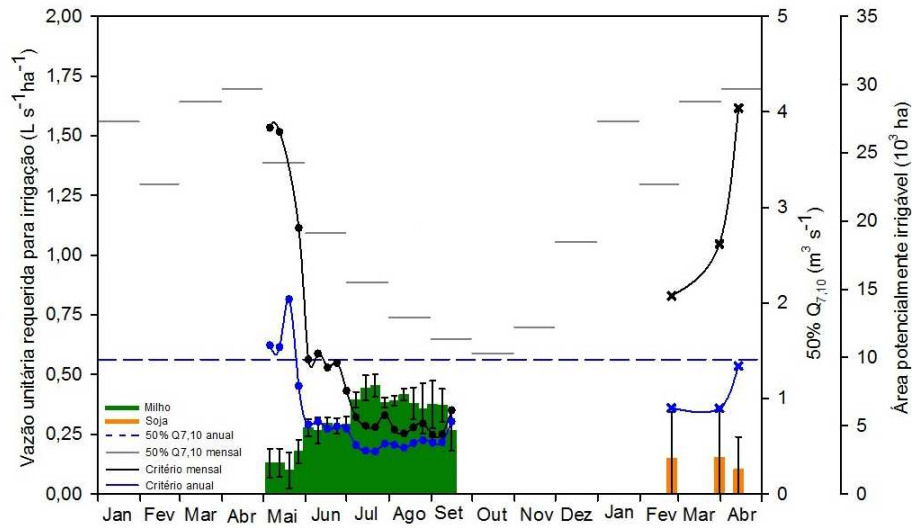


Figura 9C - Vazão unitária requerida pela irrigação para as semeaduras do milho em 1/mai e da soja em 1/jan (cenário 11), disponibilidade hídrica para concessão de outorga em base anual e mensal e áreas potencialmente irrigáveis com base nestas disponibilidades hídricas para a seção correspondente à São Pedro.