

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS**

**CRITÉRIOS PARA CONCESSÃO DE OUTORGA E  
EFICIÊNCIA DO USO DOS RECURSOS HÍDRICOS  
PELA IRRIGAÇÃO**

FABIANE KAZUE ARAI

DOURADOS  
MATO GROSSO DO SUL  
2014

# **CRITÉRIOS PARA CONCESSÃO DE OUTORGA E EFICIÊNCIA DO USO DOS RECURSOS HÍDRICOS PELA IRRIGAÇÃO**

FABIANE KAZUE ARAI  
Engenheira Agrônoma

ORIENTADOR: PROF. DR. SILVIO BUENO PEREIRA

Tese apresentada à Universidade Federal da Grande Dourados, como parte das exigências do Programa de Pós - Graduação em Agronomia – Produção Vegetal, para obtenção do título de Doutor.

DOURADOS  
MATO GROSSO DO SUL  
2014

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).**

A659c	Arai, Fabiane Kazue Critérios para concessão de outorga e eficiência do uso dos recursos hídricos pela irrigação. / Fabiane Kazue Arai – Dourados, MS: UFGD, 2014. 118f. il.  Orientador: Prof. Dr. Silvio Bueno Pereira.  Tese (Doutorado em Agronomia) FCA - (Faculdade de Ciências Agrárias) – Universidade Federal da Grande Dourados.  1. Período sazonal. 2. Avaliação do pivô central. 3. Outorga. 4. CUC. 5. CUD. I. Título.  CDD – 631.587
-------	---

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central – UFGD.**

**© Todos direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte**


**CRITÉRIOS PARA CONCESSÃO DE OUTORGA E EFICIÊNCIA DO USO  
DOS RECURSOS HÍDRICOS PELA IRRIGAÇÃO**


por

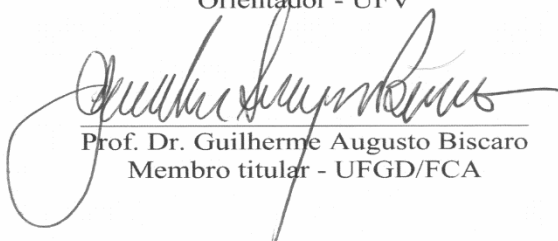
Fabiane Kazue Arai

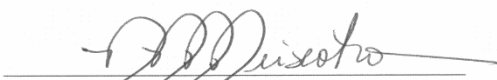
Tese apresentada como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de  
DOUTOR EM AGRONOMIA

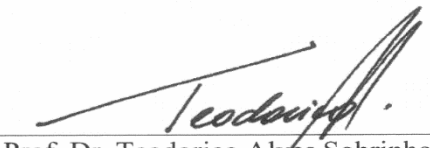
Aprovada em: 27/ 02/ 2014

  
Prof. Dr. Silvio Bueno Pereira  
Orientador - UFV

  
Dr. Diovany Doffinger Ramos  
Co-orientador - UFGD/FCA

  
Prof. Dr. Guilherme Augusto Biscaro  
Membro titular - UFGD/FCA

  
Prof. Dr. Paula Pinheiro Padovese  
Peixoto  
Membro titular - UFGD/FCA

  
Prof. Dr. Teodorico Alves Sobrinho  
Membro titular - UFMS/DHT

**A DEUS**

Aos meus pais,  
Izumi e Luzia Arai

A minha irmã,  
Renata Mayumi Arai

Ao Luis Paulo Cusinato Leitão

Dedico

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida, saúde e força para concluir mais essa etapa da minha vida.

Aos meus pais, Izumi Arai e Luzia Arai, pessoas brilhantes que sempre me apoiaram, me incentivaram e me ajudaram em todos os momentos. Deixo aqui o meu agradecimento não só por ter concluído uma pesquisa de doutorado, mas por tudo que fizeram por mim.

A minha irmã, Renata Mayumi Arai, pela companhia, amizade e condições afetivas proporcionadas.

Ao meu namorado, Luis Paulo Cusinato Leitão, pela paciência, companheirismo, carinho e incentivo em todos os momentos.

Ao Prof. Dr. Silvio Bueno Pereira, pela compreensão, paciência, incentivo, orientação e sugestões pertinentes na elaboração desta tese.

Aos membros da banca, Prof. Dr. Guilherme Augusto Biscaro, Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Paula Pinheiro Padovese Peixoto, Prof. Dr. Teodorico Alves Sobrinho e Dr. Diovany Doffinger Ramos, pelas correções e sugestões;

Ao colega Leonardo de Souza Damália que colaborou no desenvolvimento do trabalho e manejo de programas, e ao Eldon Costa dos Santos, pela ajuda nos trabalhos à campo.

A Universidade Federal da Grande Dourados e ao Programa de Pós-Graduação pela oportunidade concedida e incentivo a formação de novos profissionais;

A Agência Nacional de Águas, Universidade Federal da Grande Dourados e Embrapa Agropecuária Oeste pela disponibilização dos dados;

Aos novos amigos conquistados ao longo do curso, pela convivência, incentivo e amizade nos momentos difíceis;

E a todos, que de maneira direta ou indireta, participaram na realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

LISTA DE QUADROS .....	ix
LISTA DE FIGURAS.....	xi
RESUMO.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	5
2.1. Conflitos pelo uso da água .....	5
2.2. Gestão dos recursos hídricos .....	7
2.3. Outorga do Uso da Água .....	9
2.4. Vazão mínima.....	13
2.5. Importância da consideração das variações temporais e espaciais das vazões na hidrografia .....	15
2.6. Agricultura irrigada .....	18
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	21
3.1. Caracterização da bacia hidrográfica de estudo .....	21
3.2. Seleção e análise de dados.....	24
3.3. Períodos sazonais analisados .....	26
3.4. Obtenção das vazões mínimas de referência .....	28
3.5. Comparação entre as vazões mínimas de referência de base sazonal e anual ..	30
3.6. Regionalização das vazões mensais e anuais .....	32
3.7. Vazão demandada pela irrigação e análise da eficiência do uso dos recursos hídricos .....	33
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	42
4.1. Variação entre as vazões máximas permissíveis para outorga.....	42

4.2. Variação entre as vazões máximas permissíveis para outorga considerando-se os períodos trimestral e anual .....	56
4.3. Variação entre as vazões máximas permissíveis para outorga considerando-se os períodos quadrimestral e anual .....	58
4.4. Impacto da vazão de retirada pela irrigação na bacia do rio Dourados .....	69
4.5. Quantificação e análise da eficiência do uso da água pela irrigação na bacia do rio Dourados .....	73
4.6. Avaliação do manejo da irrigação .....	77
4.7. Desempenho dos sistemas de irrigação avaliados na bacia do rio Dourados..	83
5. CONCLUSÕES .....	88
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	89
APÊNDICES .....	97



## LISTA DE QUADROS

QUADRO 1. Área total dos municípios e de cada município na bacia hidrográfica do Ivinhema e sua inserção na bacia .....	21
QUADRO 2. Área das classes de solos e suas porcentagens na Bacia Hidrográfica do Ivinhema .....	23
QUADRO 3. Caracterização das estações fluviométricas selecionadas.....	25
QUADRO 4. Classificação do coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) e do coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD).....	37
QUADRO 5. Diferença relativa percentual (Drc%) do volume total anual de água permissível para outorga, entre o critério 50% $Q_{7,10}$ /70% $Q_{95}$ , em bases anual e mensal, nas 9 estações fluviométricas analisadas .....	49
QUADRO 6. Diferença relativa percentual (Drb%) do volume total anual permissível para outorga entre os critérios mensal e anual, considerando os padrões 50% $Q_{7,10}$ e 70% $Q_{95}$ , nas 9 estações fluviométricas analisadas no estudo .....	50
QUADRO 7. Equações utilizadas para a regionalização das $Q_{7,10}$ e $Q_{95}$ , mensais e anuais, para o rio Ivinhema.....	53
QUADRO 8. Equações utilizadas para a regionalização das $Q_{7,10}$ e $Q_{95}$ , mensais e anuais, para o rio Dourados .....	54
QUADRO 9. Equações utilizadas para a regionalização das $Q_{7,10}$ e $Q_{95}$ , mensais e anuais, para o rio Vacaria .....	55
QUADRO 10. Vazões específicas médias de referência para outorga na bacia do rio Ivinhema, adotando-se o período trimestral ( $L s^{-1} km^{-2}$ ), considerando todas as estações.....	57
QUADRO 11. Flexibilidade média trimestral (%) nas vazões mínimas de referência, adotando-se o período trimestral em comparação com as vazões de referência de estudo de outorga anual .....	57
QUADRO 12. Média das vazões específicas médias, mínimas e máximas de todas as estações .....	59
QUADRO 13. Divisão do regime hidrológico em tendências de disponibilidade hídrica .....	59

QUADRO 14. Divisão do regime hidrológico em semestres de mesma tendência ..	60
QUADRO 15. Vazão específica ( $L s^{-1} km^{-2}$ ) anual e nos quadrimestres e semestres, e suas diferenças percentuais médias da $Q_7$ sazonal em comparação com a $Q_7$ anual.....	62
QUADRO 16. Diferença percentual média das vazões quadrimestrais em relação a vazão anual correspondente, referente a todas as estações .....	66
QUADRO 17. Diferença percentual média das vazões semestrais em relação a vazão anual correspondente, referente a todas as estações .....	66
QUADRO 18. Vazão de retirada pela irrigação ( $Q_r$ ), vazões mínimas de referência para a permissão de outorga ( $Q_{7,10}$ e $Q_{95}$ ) e variação percentual das vazões de outorga relativo ao período sazonal mensal em relação à vazão de retirada mensal na bacia do rio Dourados.....	71
QUADRO 19. Vazão de retirada pela irrigação ( $Q_r$ ), vazões mínimas de referência para a permissão de outorga ( $Q_{7,10}$ e $Q_{95}$ ) e variação percentual das vazões de outorga relativo ao período sazonal trimestral em relação à vazão de retirada máxima para o trimestre correspondente na bacia do rio Dourados .....	71
QUADRO 20. Vazão de retirada pela irrigação ( $Q_r$ ), vazões mínimas de referência para a permissão de outorga ( $Q_{7,10}$ e $Q_{95}$ ) e variação percentual das vazões de outorga relativo ao período sazonal trimestral em relação à vazão de retirada máxima para o quadrimestre correspondente na bacia do rio Dourados .....	72
QUADRO 21. Pivôs localizados na bacia do rio Dourados .....	75
QUADRO 22. Área irrigada pelo sistema de irrigação por aspersão tipo pivô central na bacia do rio Dourados.....	77
QUADRO 23. Densidade do solo ( $D_s$ ), cultura no momento da avaliação, e profundidade efetiva do sistema radicular ( $z$ ), considerada em função da cultura e do estágio fenológico na área dos pivôs avaliados na bacia do Rio Dourados.....	82
QUADRO 24. Resultados dos atributos de desempenho de sistemas de irrigação tipo pivô central localizados na Bacia do Rio Dourados.....	85

**LISTA DE FIGURAS**

- FIGURA 1. Critérios de vazões mínimas de referência e percentual máximo outorgável, usados para fins de outorga, utilizados pelos órgãos gestores de recursos hídricos no país. .... 12
- FIGURA 2. Bacia hidrográfica do Ivinhema e os limites municipais em que se encontra. .... 22
- FIGURA 3. Bacia hidrográfica do Ivinhema e estações fluviométricas utilizadas. ... 25
- FIGURA 4. Disposição dos coletores ao longo da linha lateral de um pivô central, ângulo 3°..... 36
- FIGURA 5. Vazões mínimas de referência ( $Q_{7,10}$  e  $Q_{95}$ ) mensais e anuais e projeção do uso de diferentes critérios de vazões máximas permissíveis para a concessão de outorga na estação Brilhante, no período de 1973 a 2007. .... 42
- FIGURA 6. Vazões mínimas de referência ( $Q_{7,10}$  e  $Q_{95}$ ) mensais e anuais e projeção do uso de diferentes critérios de vazões máximas permissíveis para a concessão de outorga na estação Porto Rio Brilhante, no período de 1973 a 2007. .... 43
- FIGURA 7. Vazões mínimas de referência ( $Q_{7,10}$  e  $Q_{95}$ ) mensais e anuais e projeção do uso de diferentes critérios de vazões máximas permissíveis para a concessão de outorga na estação Dourados, no período de 1973 a 2007. .... 43
- FIGURA 8. Vazões mínimas de referência ( $Q_{7,10}$  e  $Q_{95}$ ) mensais e anuais e projeção do uso de diferentes critérios de vazões máximas permissíveis para a concessão de outorga na estação Porto Wilma, no período de 1973 a 2007. .... 44
- FIGURA 9. Vazões mínimas de referência ( $Q_{7,10}$  e  $Q_{95}$ ) mensais e anuais e projeção do uso de diferentes critérios de vazões máximas permissíveis para a concessão de outorga na estação Retiro Guarujá, no período de 1973 a 2007. .... 44
- FIGURA 10. Vazões mínimas de referência ( $Q_{7,10}$  e  $Q_{95}$ ) mensais e anuais e projeção do uso de diferentes critérios de vazões máximas permissíveis para a concessão de outorga na estação Aroeira, no período de 1973 a 2007. .... 45

FIGURA 11. Vazões mínimas de referência ( $Q_{7,10}$ e $Q_{95}$ ) mensais e anuais e projeção do uso de diferentes critérios de vazões máximas permissíveis para a concessão de outorga na estação Fazenda São Joaquim, no período de 1973 a 2007.....	45
FIGURA 12. Vazões mínimas de referência ( $Q_{7,10}$ e $Q_{95}$ ) mensais e anuais e projeção do uso de diferentes critérios de vazões máximas permissíveis para a concessão de outorga na estação Fazenda Ipacarái, no período de 1973 a 2007.....	46
FIGURA 13. Vazões mínimas de referência ( $Q_{7,10}$ e $Q_{95}$ ) mensais e anuais e projeção do uso de diferentes critérios de vazões máximas permissíveis para a concessão de outorga na estação Ivinhema, no período de 1973 a 2007. ....	46
FIGURA 14. Amplitude de variação $Q_{7,10}$ mensal/anual. ....	51
FIGURA 15. Amplitude de variação $Q_{95}$ mensal/anual. ....	52
FIGURA 16. Análise da distribuição de vazões específicas médias ( $Q_{esp}$ ) ao longo do ano, na bacia do rio Ivinhema. ....	56
FIGURA 17. Divisão sazonal do regime hidrológico.....	60
FIGURA 18. Análise de frequência das ocorrências de $Q_7$ ao longo do ano e a porcentagem relacionada aos meses com destaque para o quadrimestre seco.....	63
FIGURA 19. Análise de frequência das ocorrências de $Q_7$ ao longo do ano e a porcentagem relacionada aos meses com destaque para o semestre seco. ....	64
FIGURA 20. Flexibilidade de concessão de outorga em relação ao anual, sendo: a) períodos quadrimestrais, e b) períodos semestrais.....	65
FIGURA 21. Diferenças percentuais nos períodos sazonais estudados em cada estação fluviométrica sendo: a) quadrimestre chuvoso; b) quadrimestre normal; c) quadrimestre seco; d) semestre chuvoso; e e) semestre seco. ....	67
FIGURA 22. Achatamento da curva de permanência quando da consideração apenas de dados para o período seco. ....	68
FIGURA 23. Vazão de retirada – $Q_r$ ( $m^3 s^{-1}$ ), evapotranspiração da cultura – $ET_c$ ( $mm d^{-1}$ ), precipitação pluvial – $P_{pt}$ ( $mm d^{-1}$ ) e precipitação efetiva – $P_e$ ( $mm d^{-1}$ ), relativo ao período de 2002 a 2011 na bacia do rio Dourados. ...	69

- FIGURA 24. Mapa com a localização dos pivôs encontrados na bacia do rio Dourados. .... 74
- FIGURA 25. Fotos de estrutura de pivô central sucateado, sendo: a) detalhe torre sem o jogo de rodas; b) local onde deveria estar a instalação do sistema de bombeamento; e o transformador para funcionamento do conjunto moto-bomba. .... 74
- FIGURA 26. Perfil da distribuição de água ao longo da linha lateral dos pivôs avaliados, destacando-se a lâmina média aplicada. .... 79
- FIGURA 27. Perfil da distribuição de água ao longo da linha lateral dos pivôs avaliados, destacando-se a lâmina média aplicada. .... 80
- FIGURA 28. Lâminas aplicada e necessária, perda por percolação e déficit atual de água no solo na área dos pivôs avaliados. .... 81
- FIGURA 29. Representação do déficit máximo permitido e da lâmina de água necessária para atingir a capacidade de campo, ou seja, déficit máximo verificado. .... 83
- FIGURA 30. Valores de CUC obtidos nos sistemas de irrigação pivô central. .... 86

## RESUMO

ARAI, F.K. **Crêterios para concessão de outorga com base na sazonalidade da oferta hídrica na bacia do Ivinhema e a quantifica o da eficiência do uso dos recursos hídricos pela irriga o.** Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD.

Ao considerar os aspectos qualitativos e quantitativos dos recursos hídricos, há que se observar que, numa situa o de abundância de água, ela pode ser tratada como um bem livre, sem valor econômico; entretanto, com o aumento da demanda pelo recurso, que passa, então, a ser escasso, podem ocorrer conflitos entre os usos e os usuários. Tendo em vista que a região em que se insere a bacia hidrográfica do rio Ivinhema ser de grande potencial para o desenvolvimento agrícola e, com o crescimento da agricultura irrigada e da produ o industrial, devido   implanta o de indústrias produtoras de álcool na região, a presente proposta visa fornecer subsídios técnico-científicos e promover maior desenvolvimento sócio-econômico e ambiental, considerando a sazonalidade hídrica no processo de concessão de outorga, visando melhor aproveitamento dos recursos hídricos, e a quantifica o e análise da eficiência do uso da água pela irriga o na bacia. Foram avaliados os períodos sazonais mensais, trimestrais, quadrimestrais e semestrais em compara o ao período anual para o cálculo das vazões de referência  $Q_{7,10}$  e  $Q_{95}$  a fim de quantificar as diferenças relativas da disponibilidade hídrica entre as vazões de referência adotadas para fins de outorga de uso de água no Brasil. Para a análise da eficiência da irriga o por pivô central foi utilizado a metodologia proposta por Merriam e Keller (1978) e posteriormente foram obtidos valores de CUC e CUD que classificaram a uniformidade de aplica o da  gua. A quantifica o da vazão demandada pela irriga o e a análise da eficiência do uso dos recursos hídricos pelo setor agrícola foram obtidos conforme metodologia proposta por Pruski et al. (2007) e Keller e Bliesner (1990), respectivamente. Com base nos resultados, constatou-se que: a) o melhor critério para concessão de outorga   a  $Q_{7,10}$  mensal pois, embora seja a mais restritiva, ela permite que sejam concedidas maiores vazões de outorga nos períodos em que há excedente hídrico, e menores valores nos meses de menor disponibilidade hídrica; b) em todas as propriedades avaliadas constatou-se que as lâminas de água aplicadas estão abaixo do recomendado, caracterizando irriga es deficitárias e manejo incorreto do sistema de irriga o.

**Palavras-chave:** período sazonal, avalia o do pivô central, outorga, CUC, CUD

## ABSTRACT

ARAI, F.K. **Criteria for awarding grants based on the seasonality of water supply in the Ivinhema's basin and quantification of the efficiency of use of water resources by irrigation.** Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD.

When considering the qualitative and quantitative aspects of water resources, it should be noted that in a situation of plenty of water, it can be treated as a free good, without economic value. However, with the increased demand for the resource, which then passes to be scarce, conflicts between uses and users may occur. Given that the region in which Ivinhema's basin operates be of great potential for agricultural development and, with the growth of irrigated agriculture and industrial production, due to the implementation of alcohol producing industries in the region, this proposal aims to provide technical and scientific support to promote greater socio-economic and environmental development, considering the seasonality water in the granting concession process, aiming the better use of water resources, and quantification and analysis the efficiency of water use for irrigation in the basin. Monthly, quarterly, four seasonal and semiannual seasonal periods were compared to annual period, for calculating the flow reference  $Q_{7,10}$  and  $Q_{95}$  in order to quantify the relative differences in water availability between the reference flow rates used for purposes of granting use of water in Brazil. To analyze the efficiency of center pivot irrigation was used the methodology proposed by Merriam and Keller (1978) and later were obtained the CUC and CUD values, that rated the uniformity of water application. The quantification of flow demanded by irrigation and analysis of the efficiency of use of water resources in the agricultural sector were obtained according to the methodology proposed by Pruski et al. (2007), and Keller and Bliesner (1990), respectively. Based on the results, it was found that: a) the best criteria for awarding grants is the monthly  $Q_{7,10}$ , although more restrictive, it allows higher flow rates of grant in periods when there is excess of water, and lower values in the months of lower water availability; b) in all assessed properties was found that the blades of water are applied below recommended, featuring deficit irrigation and mismanagement of irrigation system.

**Keywords:** seasonal period, evaluation of center pivot, grant, CUC, CUD

## 1. INTRODUÇÃO

O crescimento demográfico, a expansão urbana e a intensificação das atividades industriais e agrícolas exercem influência sobre a disponibilidade e qualidade da água. À medida que aumenta o consumo da água, ela vai se tornando, cada vez mais, um bem com valor econômico. O status econômico da água tem sido reforçado em todas as partes do mundo por meio de leis que regulamentam seu uso, visando à manutenção de sua qualidade e de sua disponibilidade. Além disso, a água é recurso escasso à medida que ela não pode satisfazer a todos os usos alternativos simultaneamente, desse modo, a água possui valor, devendo ser reconhecida como bem econômico.

A crescente demanda de água para satisfazer seus múltiplos usos tem contribuído para o aumento de seu consumo e, conseqüentemente, dos conflitos entre usuários em diversas bacias hidrográficas do Brasil. Neste sentido, é crescente a discussão sobre a melhor forma de gerenciar e normatizar o uso da água para atender aos seus mais diferentes fins, de modo a garantir a sustentabilidade do recurso às gerações futuras (MARQUES, 2006).

A quantificação das vazões representa uma das atividades de maior importância para tomadas de decisão adequadas no que diz respeito ao planejamento, aproveitamento e controle de recursos hídricos. Visa identificar áreas em que esse recurso encontra-se ou pode vir a se tornar escasso, prever uma quantificação dinâmica e uma precisa definição do quanto, quando, onde e como utilizar os recursos hídricos (ARAI, 2010).

No entanto, a escassez de estações fluviométricas, associada à inconsistência temporal e espacial das séries históricas disponíveis, tem resultado em grande limitação para se representar o comportamento hídrico. Porém, assim como nas demais regiões do país, tanto em relação ao número de estações quanto às falhas nos registros históricos, tem comprometido a gestão e o gerenciamento do uso da água, proporcionando muitas incertezas na tomada de decisão, principalmente no que se refere aos estudos realizados para enquadramento e outorga dos recursos hídricos (PEREIRA, 2012).



A política Nacional de Recursos Hídricos ressalta a importância de cinco instrumentos essenciais à boa gestão dos recursos hídricos: a outorga de direito de uso dos recursos hídricos, a cobrança pelo uso da água, o enquadramento dos corpos d'água em classes de uso, o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos e o Plano Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997).

A outorga é um instrumento indispensável para a gestão dos recursos hídricos, pois possibilita aos gestores, o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água, ao mesmo tempo que garante ao usuário o aproveitamento de água em local específico do manancial hídrico, no qual a vazão, o tipo e o tempo de uso devem ser previamente definidos. A outorga assegura, portanto, o direito de uso da água de forma específica e intransferível (PEREIRA, 2004).

No Brasil, dependendo da legislação estadual, os valores de vazão a serem utilizados para proceder à outorga podem variar. Atualmente, cada estado tem adotado critérios próprios para o estabelecimento das vazões de referência para outorga, sem, contudo, apresentar justificativas para a adoção dos valores (CRUZ, 2001; GUEDES, 2013). Dessa forma, os Estados estabeleceram diferentes critérios de vazões de referência e percentuais outorgáveis, quando a bacia hidrográfica é que deveria constituir a unidade de gestão.

É importante ressaltar que a disponibilidade hídrica oscila entre situações extremas, ocorrendo regiões de grande oferta hídrica e baixo consumo e situações precárias de disponibilidade hídrica, com alta demanda e baixa oferta hídrica. Segundo a Agência Nacional de Águas – ANA (ANA 2010), a relação demanda e disponibilidade das regiões hidrográficas da Amazônia, Paraguai e Tocantins-Araguaia encontra-se em nível excelente (0 e 5%), enquanto, outras regiões hidrográficas encontram-se em situações preocupantes (10 a 20%), e crítico (30 a 40%).

O procedimento para a concessão da outorga está baseado nas vazões mínimas de referência que corresponde às condições anuais de maior escassez hídrica. Este valor anual, no entanto, pode se tornar restritivo em bacias onde há maior demanda de água, principalmente nos períodos chuvosos, quando maior quantidade do recurso hídrico poderia ser outorgado. Portanto, o conhecimento da disponibilidade hídrica ao longo do ano deve constituir a informação básica para a tomada de decisão nos processos de outorga. Dessa forma, existe a necessidade de se evoluir nos critérios de outorga, com estudos aprofundados para suprir a falta de dados.

Alterações expressivas podem surgir nas condições de escoamento de um curso d'água em decorrência de captações realizadas ao longo de seu curso, como a construção de barragens ou mudanças expressivas nas condições de ocupação da bacia hidrográfica. Os principais usos da água no Estado do Mato Grosso do Sul são para abastecimento humano, irrigação, dessedentação de animais e industrial (PERH – MS, 2010).

No Estado de Mato Grosso do Sul, localizado na região Centro-Oeste do País, ainda se tem grandes disponibilidades hídricas, mas isso não é justificativa para que a população fique “tranquila” a este respeito, haja visto a crescente demanda de água para satisfazer os usos múltiplos.

A região da bacia do Dourados é de grande potencial para o desenvolvimento agrícola, favorecidos pelo relevo, o que propicia a prática de mecanização agrícola e o crescimento da agricultura irrigada pelo uso do sistema de irrigação por aspersão do tipo pivô central. No entanto, a irrigação ineficiente e inadequada resulta em desperdício de água e energia, recursos finitos que estão cada dia mais escassos, o que releva a necessidade de avaliação da eficiência com que é praticada a irrigação na bacia.

Embora a área irrigada na bacia ainda seja pequena, ela está concentrada em pólos regionais. Além disso, há evidências de que a agricultura irrigada na bacia é conduzida com baixa eficiência. Estas constatações conduziram à inclusão, no trabalho, da quantificação da eficiência do uso da água pelo setor agrícola na bacia, mais especificamente, estimar a eficiência de uso dos recursos hídricos pela irrigação na bacia do rio Dourados, sub-bacia do Ivinhema.

A bacia hidrográfica do Ivinhema abrange área de drenagem de aproximadamente 45.000 km<sup>2</sup>, sendo responsável pela sustentabilidade de 25 municípios situados na bacia. Corresponde a segunda maior bacia do Estado de Mato Grosso do Sul, atendendo cerca de 26% da população e representando, portanto, expressivo indutor do desenvolvimento dos diversos municípios, motivo pelo qual há necessidade de que o comportamento hidrológico, no que refere-se às vazões mínimas de referência para concessão de outorga de uso dos recursos hídricos, seja devidamente conhecido de modo que o aproveitamento de suas águas possa ser otimizado com o menor impacto ambiental possível.

Com o objetivo de buscar alternativas para aumentar a disponibilidade dos recursos hídricos na bacia do Ivinhema e promover maior desenvolvimento sócio-

econômico e ambiental, foi analisado, neste trabalho, a consideração da sazonalidade hídrica no processo de concessão de outorga, visando um melhor aproveitamento dos recursos hídricos na bacia. Desta maneira, obter vazões mínimas para atender cada escala temporal, não sendo a vazão do período mais seco fator limitante na outorga para períodos mais chuvosos.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Conflitos pelo uso da água

A água é um elemento de fundamental importância para a vida, sendo o desenvolvimento social, econômico e cultural de uma região dependente da disponibilidade de água em quantidade e qualidade adequadas para atender todas as demandas. Entretanto, a água não está disponível de forma equilibrada no continente, apresentando grande variação espacial e temporal. Estes fatos, associados ao crescente consumo de água para satisfazer seus múltiplos usos, tem feito com que a disponibilidade hídrica seja insuficiente para atender a todas as demandas e para manter as condições ambientais mínimas necessárias para o desenvolvimento sustentável, caracterizando situação de escassez hídrica, causando impactos ambientais negativos e contribuindo para a ocorrência de conflitos entre usuários (OLIVEIRA, 2011).

O Brasil está em situação privilegiada com relação à disponibilidade hídrica, no entanto, cerca de 70% da sua água doce encontra-se na região Amazônica, enquanto os outros 30% são distribuídos entre 95% da população, que habitam o restante do território nacional (SETTI et al., 2001). Essa situação favorece o surgimento de problemas de escassez hídrica, causados, fundamentalmente, pela combinação do crescimento populacional em centros urbanos e a degradação da qualidade das águas consequente dos desordenados processos de urbanização, industrialização e expansão agrícola (GETIRANA, 2005).

Nas últimas décadas as questões sobre conflitos decorrentes da alocação de recursos hídricos entre múltiplos usuários tem sido de crescente interesse. A competição entre os usuários da água tem se intensificado devido ao crescimento populacional, alteração na disponibilidade específica e temporal da água, variações das condições naturais e deterioração da qualidade da água (WANG e HUANG, 2011).

GLEICK (2000) salienta que a distribuição e o uso desiguais dos recursos hídricos, podem provocar disputas, aumentar a importância da água como objetivo estratégico, ou causar uma degradação da fonte de água.

Em suas dimensões continentais, encontram-se no Brasil casos distintos de problemas de escassez de água. Estes são gerados pela crescente demanda pelo recurso, entretanto, é nas regiões Nordeste e Sudeste onde estes problemas ocorrem de forma mais intensa. Muitos dos casos dos conflitos em torno da água estão relacionados ao setor agrícola, responsável pelo consumo de expressiva parcela do total da água usada pelo homem (GETIRANA, 2005).

Há inúmeros exemplos de regiões em que a inexistência de manejo adequado do recurso hídrico levou à ocorrência de conflitos pelo uso da água. No Brasil, conforme diagnóstico apontado no Plano Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 2006), tornaram-se aspectos comuns nas regiões hidrográficas a degradação da qualidade da água e as alterações no regime hídrico e na sua quantidade. A apropriação dos recursos hídricos atingiu estágio tal que há ocorrência de conflitos de uso não apenas em áreas naturalmente carentes de água pela severa escassez de chuvas – caso do semiárido nordestino e do Jequitinhonha – como também em regiões industrializadas do Sudeste e do Sul (MENDES, 2007).

Como consequência da grande expansão da agricultura irrigada na bacia do Paracatu, situada no Médio São Francisco, a partir da década de 70, sérios conflitos têm surgido, principalmente nas sub-bacias do Ribeirão Entre Ribeiros e do rio Preto (PRUSKI et al., 2007). Segundo DINO (2002), no caso do município de Paracatu houve necessidade, inclusive, de substituição do sistema de abastecimento de água, originalmente situado no córrego Espalha, para o córrego Santa Isabel, tendo em vista o impacto advindo dos projetos de irrigação implantados na área e que provocaram queda de vazão de 50,0 para 8,0 L s<sup>-1</sup>.

Os conflitos de disponibilidade hídrica mais incisivos são observados nas bacias do Alto Tietê na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (PCJ) no interior de São Paulo, do rio Jacuí no Rio Grande do Sul, em algumas sub-bacias do médio e baixo São Francisco, bacias do Atlântico Leste e do Atlântico Nordeste Oriental, dentre outras (ANA, 2005).

A solução de conflitos requer, de modo geral, a organização da gestão do sistema hídrico sob enfoque coletivo, inibindo soluções individuais que impliquem danos a outros usuários (GETIRANA, 2005).

## 2.2. Gestão dos recursos hídricos

O uso eficiente dos recursos hídricos é tema de importância estratégica no cenário mundial, e nesse contexto o Brasil catalisa esforços para a construção do suporte político-institucional e jurídico-legal à gestão dos recursos hídricos no país (ALMEIDA et al., 2011).

A importância na gestão da água está diretamente ligada com a questão da sustentabilidade ambiental, sendo uma função do desenvolvimento dos diversos componentes políticos, econômicos e sociais atuantes dentro da bacia hidrográfica (SÁNCHEZ-ROMÁN et al., 2009).

Segundo Ibiapina et al. (1999), para o gerenciamento adequado do potencial hídrico disponível no Brasil é fundamental conhecer o comportamento dos rios e seus regimes de variação de vazões, considerando as suas distribuições espaciais e temporais, de forma a auxiliar nas decisões político-administrativas associadas ao uso da água. É essencial, portanto, o desenvolvimento de ações voltadas ao melhor conhecimento da disponibilidade dos recursos hídricos e da melhor forma de utilização destes. Alguns dos conflitos já existentes poderiam ser minorados e, até mesmo, resolvidos a partir de um melhor conhecimento do processo de circulação da água na bacia hidrográfica (BOF, 2010).

Para que sejam desenvolvidas estratégias de gestão dos recursos hídricos, o uso de sistemas de suporte à tomada de decisão, que forneçam informações de disponibilidade hídrica da forma mais detalhada possível é indispensável. Para a elaboração de um sistema de suporte ao gerenciamento das águas superficiais é necessário definir quais serão os índices ou critérios a serem utilizados como referência para a concessão de direito de uso da água (BOF, 2010). Para que a implantação do instrumento da outorga possa ser realizada de maneira mais efetiva, é necessário o conhecimento do comportamento hidrológico das bacias hidrográficas, especialmente na determinação das vazões de referência ao processo decisório (FIOREZE e OLIVEIRA, 2010).

Problemas advindos dos conflitos pelo uso da água, como os já evidenciados na bacia do Ribeirão Entre Ribeiros e em diversas outras bacias brasileiras, remetem à necessidade de planejamento e aprimoramento da forma de gerenciar e normatizar o uso da água de modo a garantir a oferta deste recurso para a

atual e para as futuras gerações. Nesse sentido, um grande avanço foi a promulgação da Lei 9.433/97, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos, a qual possui como um de seus instrumentos de gestão a outorga de direito de uso da água (OLIVEIRA, 2011).

A Lei Federal nº 9.433/97, representa um avanço e alavanca uma série de medidas em busca da conservação da água. Todavia, a implementação da lei é um desafio, pois introduz mecanismos de democracia participativa num sistema administrativo baseado na democracia representativa e conduz a percepção da água como recurso finito dotado de valor econômico, o que caracteriza a necessidade de mudança de comportamento para os brasileiros (ALMEIDA et al., 2011).

Segundo previsto na Lei 9.433/97, o instrumento legal empregado para a distribuição da água entre os diferentes usos e usuários, prevenindo ou mesmo solucionando conflitos, é a outorga de direito de uso (Brasil, 2002). Desta maneira é possível, aos órgãos gestores dos recursos hídricos, controlarem os volumes captados, o período em que as captações ocorrem e qual a finalidade, contemplando os usos prioritários e as determinações dos planos de recursos hídricos e dos comitês de bacia hidrográfica. Portanto, o conhecimento da disponibilidade hídrica no âmbito de uma bacia hidrográfica é parte fundamental dos estudos hidrológicos. Pode-se compreender a bacia hidrográfica como sendo a unidade em que são modelados os processos físicos sob a perspectiva de gestão dos recursos hídricos e do planejamento urbano e regional (RIBEIRO et al., 2005).

A alocação de águas na bacia hidrográfica busca garantir o atendimento dos atuais e futuros usuários, observando-se sempre as necessidades ambientais para manutenção dos corpos hídricos. Ela fornece as diretrizes gerais da outorga e do uso racional do recurso hídrico por meio da indicação dos valores disponíveis para consumo na região. Ou seja, suas diretrizes compreendem os aspectos ligados à disponibilidade hídrica, tais como as vazões mínimas necessárias à preservação ambiental, as demandas consuntivas da bacia e as demandas previstas pelo crescimento regional (ANA, 2004).

Existem grandes dificuldades na determinação do limite de sustentabilidade de cada recurso, principalmente ao serem consideradas as inter-relações e as sinergias estabelecidas nas respectivas cadeias produtivas e as pressões antrópicas a que esses recursos estão sujeitos. Enquanto não se pode contar com todo o conhecimento necessário à exploração adequada dos recursos naturais, deve-se

reconhecer que a sustentabilidade do uso desses recursos passa pela utilização racional, pelo planejamento e pela participação dos usuários na definição de responsabilidades e na viabilização e perpetuação dos recursos hídricos para as gerações futuras (ANJOS, 2003).

Outra dificuldade a ser encarada na gestão dos recursos hídricos é a pouca disponibilidade de registros históricos de vazão nos pequenos cursos d'água (SILVA, 2003). A grande variabilidade espacial das características físicas e climáticas, aliadas à escassez de informações da rede hidrométrica para os estudos de planejamento e gerenciamento de recursos hídricos, coloca em evidência o emprego de metodologias específicas que otimizem as informações fluviométricas existentes, extrapolando-as por semelhanças das dinâmicas ambientais para os locais que possuem dados insuficientes ou inexistentes (BARBOSA et al., 2005; RIBEIRO et al., 2005).

### **2.3. Outorga do Uso da Água**

Durante muito tempo o planejamento e a gestão de recursos hídricos não tinham importância relevante, dada a ideia de abundância da água. No Brasil, até os anos 70, as questões relacionadas à administração dos problemas de recursos hídricos eram consideradas a partir das perspectivas dos setores usuários da água, ou segundo políticas específicas de combate aos efeitos das secas e das inundações. Ainda não se observavam preocupações relacionadas às necessidades de conservação e preservação, principalmente em razão da abundância relativa de água no país e da percepção de que se tratava de um recurso renovável e, portanto, infinito (PNRH, 2006).

A preocupação com aspectos quantitativos e qualitativos dos recursos hídricos no Brasil começou a surgir com o processo de industrialização do país e aumentou com o crescimento da demanda de água pelos diversos setores de usuários, tais como a produção de alimentos e de biocombustíveis, que tem um forte impacto na disponibilidade de água, sobretudo nos aspectos quantitativos, e o crescimento industrial e a produção de minérios, que causam impacto mais relevante nos aspectos qualitativos (OLIVEIRA, 2011).

Um dos instrumentos adotados pela Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) para dar suporte à gestão dos recursos hídricos é a outorga de direito de uso da água. Condicionado à disponibilidade hídrica, o direito de uso dos recursos



hídricos é conferido aos usuários por meio da outorga, sendo o elemento central do controle para o uso racional dos recursos hídricos (BRASIL, 1997).

A competência para a emissão dos atos de outorga obedece a dominialidade constitucionalmente estabelecida (artigos 20, III; 26, I c/c 32 § 1º CF/88); assim, a outorga das águas superficiais é de competência da União, dos Estados e do Distrito Federal; e a das águas subterrâneas, dos Estados e do Distrito Federal (OLIVEIRA, 2011).

A outorga de direito de uso constitui um dos principais instrumentos de gestão dos recursos hídricos, na medida em que todos os demais se articulam através dela. Ela deve atender às prioridades estabelecidas no Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), além de obedecer aos critérios de alocação de água constantes no plano. Na análise dos pedidos de outorga, deve-se sempre garantir que as captações e os lançamentos não levem os parâmetros de qualidade a comprometerem os usos preponderantes pretendidos pelo enquadramento dos corpos d'água (MENDES, 2007).

A outorga é uma ferramenta indispensável para gestão dos recursos hídricos, pois possibilita aos gestores, o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água, ao mesmo tempo em que garante ao usuário o aproveitamento de água em um local específico de um manancial hídrico, no qual a vazão, o tipo e o tempo de uso devem ser previamente definidos. A outorga assegura, portanto, o direito de uso da água de forma específica e intransferível (PEREIRA, 2004).

A outorga não dá ao usuário a propriedade da água ou a sua alienação, mas o simples direito de seu uso, portanto, poderá ser suspensa, parcial ou totalmente, em casos extremos de escassez ou de não cumprimento, pelo outorgado, dos termos de outorga previstos nas regulamentações, ou por necessidade premente de se atenderem aos usos prioritários e de interesse coletivo (PEREIRA, 2004).

A outorga de direito de uso de recursos hídricos é, atualmente, indispensável à obtenção de licenciamento de diversas atividades junto aos órgãos ambientais e obtenção de financiamento. É, ainda, um documento necessário para obtenção de certificação de qualidade, quando se trata de empreendimento industrial (BAENA et al., 2004).

O estabelecimento dos critérios de outorga de direito de uso das águas, além de estar vinculado à disponibilidade hídrica, é dependente dos sistemas jurídicos e econômicos locais (SILVA et al., 2006). Nos rios do domínio da União, a Agência Nacional de Águas (ANA) detém a competência legal para conceder a outorga de

direito de uso aos usuários. Nos rios de domínio dos Estados, os órgãos gestores de recursos hídricos estaduais são competentes para outorgar o uso de suas águas. Entretanto, muitos estados brasileiros não estabelecem a vazão máxima outorgável, sendo que, quando a mesma é definida, se baseia no uso de uma porcentagem da vazão mínima de referência (RODRIGUES et al., 2006).

A vazão mínima de referência para o processo outorga é o valor de vazão que representa o limite superior de utilização da água em um curso de água e, normalmente é baseado em vazões de estiagem ou em vazões com alta probabilidade de superação. Somente certo percentual dessas vazões deve ser utilizado, sendo o restante considerado como vazão necessária para a manutenção do meio biótico (vazão residual ou vazão ecológica) (OLIVEIRA, 2011).

Existe grande diferença nos critérios para outorga entre os estados federados em relação às águas superficiais. A vazão a ser outorgada varia com o regime do rio e em função da legislação estadual. Em rios perenes, a outorga é usualmente feita com base na vazão mínima de sete dias de duração e período de retorno de 10 anos ( $Q_{7,10}$ ) ou nas vazões mínimas associadas às permanências de 95% ( $Q_{95}$ ) e 90% ( $Q_{90}$ ), atribuindo-se valores percentuais a elas, ou seja, outorgando-se apenas parte desses valores de vazões mínimas (SILVA e RAMOS, 2001). Para rios intermitentes, o processo de outorga torna-se mais complexo, pois na época da seca o rio deixa de apresentar vazão (GARRIDO, 2003).

A União adota a vazão correspondente a 70% da  $Q_{95}$  como critério de outorga para águas superficiais, podendo ser essa vazão adaptada ao critério de cada Estado (GARRIDO, 2003), e variar em função das peculiaridades de cada região, não ultrapassando o limite de 20% para cada usuário individual. Já nos Estados, dentre os que adotam critérios para outorga, cada um tem usado valores particulares pragmáticos para o estabelecimento das vazões de referência para outorga sem, no entanto, apresentar justificativas da adoção desses valores, tal como evidenciados na Figura 1 (CRUZ, 2001; ANA 2007), quando a bacia hidrográfica é que deveria constituir a unidade de gestão.



FIGURA 1. Critérios de vazões mínimas de referência e percentual máximo outorgável, usados para fins de outorga, utilizados pelos órgãos gestores de recursos hídricos no país.

Neste contexto, Marques et al. (2009) descrevem que a adoção de vazões mínimas de referência que correspondem às condições anuais de maior escassez hídrica conduz a situações de vazões restritivas aos usos múltiplos, pois este valor restringe a quantidade de água passível de ser utilizada principalmente nos períodos chuvosos, quando maior quantidade do recurso poderia ser outorgada.

O Estado de Minas Gerais estabelece a vazão máxima outorgável, em condições ditas a fio d'água, em 50% da  $Q_{7,10}$  (IGAM, 2012). Quando do uso de práticas de regularização, a vazão residual não deve ser inferior a 50% da  $Q_{7,10}$ . O Estado de Minas Gerais, ao estabelecer tal critério, o mais restritivo entre aqueles utilizados nos diversos estados brasileiros, reduz o uso da água a uma situação crítica

que só ocorrerá durante sete dias uma vez a cada 10 anos, ou seja, nos outros nove anos e nos 358 dias restantes desse ano crítico, estar-se-á deixando passar para jusante vazões superiores a 50% de  $Q_{7,10}$ . O uso deste critério pode dificultar, em alguns momentos, o deferimento de processos em que ainda há grande disponibilidade hídrica na bacia (CASTRO et al., 2004).

De acordo com Marques (2006), devido ao fato da maioria dos estados brasileiros, não apenas impor um único critério a todo seu território, como também os limites máximos determinados para concessão de outorga ser inadequados à realidade das bacias, muitas vezes cerceando seu desenvolvimento, seria conseguida uma maior eficiência na aplicação do instrumento da outorga se o comportamento hidrológico da bacia fosse o ponto de partida técnico a partir do qual se fornecessem subsídios para a fixação das quantidades outorgáveis de água segundo critérios que contemplassem as especificidades sociais, econômicas e políticas da região.

#### **2.4. Vazão mínima**

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 o abastecimento de água das populações, indústrias, irrigação, navegação, geração de energia elétrica e lançamento de efluentes (RODRIGUEZ, 2004).

A quantificação das vazões representa uma das atividades de maior importância para tomadas de decisões adequadas no que diz respeito ao planejamento, aproveitamento e controle de recursos hídricos. Visa identificar áreas em que esse recurso encontra-se ou pode vir a se tornar escasso, prever uma quantificação dinâmica e uma precisa definição do quanto, quando, onde e como utilizar os recursos hídricos.

Para estimativa de disponibilidade hídrica em bacias hidrográficas, visando a sustentabilidade e o gerenciamento dos recursos hídricos, se faz necessário o conhecimento do comportamento dos rios, do regime de variação de vazões, dos regimes pluviométricos e de suas variações temporais e espaciais. Para isso, é imprescindível um trabalho permanente de coleta e interpretação de dados, com formação de séries históricas extensas, que envolvam eventos de cheias e secas (BAENA, 2002).

Na determinação das vazões mínimas de referência a serem utilizadas no processo de outorga de uso da água, uma das principais limitações encontradas diz respeito às inconsistências na base de dados fluviométricos. Pela análise do estudo realizado por Ramos e Pruski (2003), sobre o comportamento das vazões médias, máximas e mínimas em diversas estações fluviométricas situadas na bacia hidrográfica do rio São Francisco, foi possível evidenciar, a partir da comparação entre as vazões calculadas nas diversas estações fluviométricas, várias inconsistências, inclusive com grandes reduções na magnitude dessas variáveis nas estações com maior área de drenagem.

A vazão de referência é o estabelecimento de um valor de vazão que passa a representar o limite superior de utilização da água em um curso d'água e é, também, um dos principais entraves à implementação de um sistema de outorga (SILVA et al., 2006). Vazões de referência disponíveis durante maior parte do ano conferem maior segurança à alocação de água mas podem inibir os usos, enquanto a adoção de vazões de referência menos restritivas pode levar ao desabastecimento de usos outorgados em alguns períodos (SILVA e MONTEIRO, 2004).

As vazões de referência obtidas com base em análise estatística de séries históricas de vazão mais comumente adotadas pelos órgãos gestores de recursos hídricos no Brasil, são a  $Q_{90}$ , a  $Q_{95}$  e a  $Q_{7,10}$  (SANTOS et al., 2006). Segundo Reis et al. (2008) as vazões  $Q_{90}$  e  $Q_{95}$  caracterizam uma situação de permanência de um estado recessivo de vazões, enquanto a  $Q_{7,10}$  indica uma situação de estado mínimo. A  $Q_{7,10}$  corresponde à vazão mínima com sete dias de duração e tempo de retorno de dez anos, ou seja, a cada dez anos, em média, há o risco de ocorrer sete dias seguidos com esta vazão mínima. Reflete uma situação crítica de escassez e, por isto, é normalmente adotada como referência em projetos de captação para abastecimento público e sua adoção praticamente eliminaria o risco de suspensão dos usos outorgados na bacia.

Estas vazões de referência para o processo de outorga poderão tornar-se restritivas em bacias onde há maior demanda de água, ou poderão ser eventualmente insuficiente para a manutenção do meio biótico. Existe a necessidade de se evoluir nos critérios de emissão de outorga, com estudos mais aprofundados para suprir a falta de dados hidrológicos, como a espacialização ou a adoção de novas vazões de referência (MARQUES, 2006).

Catalunha (2004), buscando avaliar a sazonalidade nas vazões de referência, revelou que a utilização do período trimestral para a determinação das

vazões mínimas de referência apresenta-se mais adequada ao processo de outorga, quando comparada com as vazões obtidas para o período anual.

No estudo de Bof et al. (2009), realizado para a bacia do rio Paraopeba, situada em Minas Gerais, foi evidenciado que a utilização de critérios baseados em vazões mensais potencializa um melhor plano de utilização da água, à medida que permite um maior uso da água no período em que há disponibilidade e impõe uma restrição mais realista no período crítico de disponibilidade de água.

De acordo com Oliveira (2011), que realizou estudo para a bacia do Ribeirão Entre Ribeiros, a substituição da  $Q_{7,10}$  calculada em base anual pelas calculadas em base mensal resultou em um aumento da disponibilidade hídrica na bacia ao longo do ano, sendo maior que 50% nos meses de dezembro a junho. O uso do critério de 30% da  $Q_{7,10}$  mensal proporcionou, ao longo do ano, aumentos de até 209% no percentual de trechos em que o somatório das outorgas não superou a vazão máxima outorgável.

Vários autores sugerem considerar a sazonalidade no estabelecimento das vazões mínimas de referência e ressaltam que um dos principais benefícios seria a diminuição da pressão pela captação e uso da água nos períodos com maior disponibilidade hídrica (KELMAN, 1997; CRUZ, 2001; CATALUNHA, 2004; EUCLYDES et al., 2006; MARQUES et al., 2009; LISBOA et al., 2009; BOF et al., 2009; BOF, 2010; MARQUES, 2010; SILVA et al., 2011).

## **2.5. Importância da consideração das variações temporais e espaciais das vazões na hidrografia**

Para subsidiar o processo de outorga é fundamental o conhecimento da disponibilidade hídrica e suas variações espaciais e temporais ao longo da hidrografia. Em muitos locais o regime de chuvas faz com que a disponibilidade hídrica varie expressivamente ao longo do ano (OLIVEIRA, 2011) e, conforme Medeiros e Naghettini (2001), o fato de o valor a ser outorgado, mantido fixo durante todo o ano, ser calculado com base na análise dos períodos críticos de estiagem, além de causar incertezas no processo de outorga em regiões com grande variabilidade sazonal de vazões (BOF et al., 2009).

Estudos que venham comparar os critérios de outorga e apresentar alternativas de otimização do uso da água, considerando inclusive as variações sazonais, podem servir de subsídio para os órgãos gestores, pois é de interesse dos Estados e da União que a água seja utilizada de uma forma justa e racional, minimizando os riscos ambientais decorrentes do uso da água e aumentando os benefícios econômicos e sociais associados a esse uso (BOF, 2010).

O uso de vazões para a outorga estimadas considerando todo o período de análise para caracterizar a disponibilidade hídrica restringe o uso da água a um valor não evidenciado na maior parte do ano em regiões com grande variabilidade sazonal de vazões (BOF et al., 2009).

O uso de vazões mínimas mensais como índices de referência para a definição de critérios para a concessão de outorga, em substituição às vazões mínimas calculadas em uma base anual, poderá representar um expressivo aumento da quantidade de água permissível para a outorga, sem que isto venha significar um aumento no risco de ocorrência de vazões excessivamente baixas, e que possam causar um comprometimento ambiental quando do seu uso (BOF et al., 2009).

Adotar a variabilidade hidrológica sazonal significa adotar diferentes volumes outorgáveis para diferentes períodos sazonais. Essas diferenças permitem que se outorgue valores maiores, quando se tem mais água disponível, e o usuário pode planejar o quanto vai gastar de água em cada mês, de modo a otimizar a água que se tenha disponível (CRUZ, 2001).

Euclides et al. (2006), realizaram estudo com a finalidade de buscar alternativas para gestão de recursos hídricos para a região hidrográfica do rio Grande em Minas Gerais, utilizando vazões diferenciadas para os períodos seco e chuvoso do ano, com o objetivo de possibilitar o aumento da área irrigada no período chuvoso. Os resultados da simulação, realizados na vazão mínima de sete dias de duração e período de retorno de 10 anos ( $Q_{7,10}$ ), mostraram que na região hidrográfica do Baixo Rio Grande utilizando-se o critério da outorga sazonal, foi possível aumentar a vazão outorgada em até 61,08% (de  $35,60 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  no período seco para  $57,69 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  no período chuvoso). Nas demais sub-bacias do rio Grande estudadas, utilizando o mesmo procedimento, foi possível um acréscimo na vazão de 52,40% (de  $217,90 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  no período seco para  $332,10 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  no período chuvoso).

No caso da bacia do Paraopeba, Bof et al. (2009) observaram que as vazões mínimas no período de dezembro a abril são expressivamente maiores do que as que

ocorrem no período de maio a novembro. Entre os meses de novembro e dezembro há um acréscimo expressivo nas vazões mínimas, que decorre do início do período chuvoso, momento em que o solo ainda se encontra muito seco, devido ao longo período de estiagem, e as chuvas ocorridas em novembro ocasionam o aumento da umidade do solo nas camadas mais superficiais, não impactando diretamente o nível da água do lençol freático e, conseqüentemente, não promovendo grandes mudanças nas vazões mínimas. Portanto, existe uma defasagem entre o início do período de chuvas e o início do aumento da contribuição advinda do escoamento subterrâneo.

Os dados temporais de vazão podem ser obtidos diretamente ou indiretamente através do monitoramento em estações fluviométricas e pluviométricas, respectivamente (OLIVEIRA, 2011). No entanto, segundo Minella (2004) há uma grande dificuldade de obtenção das variáveis hidrológicas no Brasil, por não existir um programa eficiente de coleta e armazenamento de dados, sendo escassos e descontínuos os dados existentes.

Para subsidiar o processo de outorga é fundamental o conhecimento das disponibilidades hídricas ao longo da hidrografia, mas este, quando disponível, fica restrito aos locais onde estão localizadas as estações fluviométricas (BOF, 2010).

Geralmente não existem medições de vazão em partes dos rios em que a estimativa das vazões mínimas são requeridas (ESLAMIAN e BIABANAK, 2008), então, para suprir a carência de informações hidrológicas em locais com pouca ou nenhuma disponibilidade de dados uma técnica utilizada é a regionalização de vazões, considerada uma ferramenta de suma importância no gerenciamento dos recursos hídricos e definida como um processo de transferência de informações hidrológicas de uma seção com dados obtidos de uma estação fluviométrica para outras seções sem a presença de estação fluviométrica e, por conseguinte, sem dados hidrológicos (FILL, 1987).

A regionalização permite ajustar um modelo de regressão entre os dados de vazão obtidos nas estações fluviométricas e as características físicas e climáticas da bacia, sendo o modelo gerado utilizado para prever a vazão em locais sem dados hidrológicos. A seleção de um número representativo de estações fluviométricas e de séries históricas não muito curtas e com poucas falhas é de grande importância para a obtenção de resultados mais fidedignos (OLIVEIRA, 2008).



## 2.6. Agricultura irrigada

O índice pluviométrico do Estado de Mato Grosso do Sul tem criado a falsa sensação de que a chuva é suficiente para a manutenção normal de atividades agrícolas e pecuárias, no entanto, dados coletados e estudos realizados pela Embrapa Agropecuária Oeste (CPAO), em Dourados, MS, comprovam a ocorrência de seca sistemática no inverno, o que caracteriza o próprio clima do Estado. De outro lado, embora considerado chuvoso, a sua má distribuição no verão compromete o pleno desenvolvimento do ciclo vegetativo, quando se consideram as características fenológicas das plantas cultivadas (KANAZAWA, 2013).

Arai et al. (2009), analisando o período chuvoso em relação a um período de sete dias sucessivos sem chuva, considerando a primeira e segunda quinzena dos meses, verificaram maior probabilidade de ocorrência de “veranicos” na segunda quinzena em relação à primeira, principalmente nos meses de dezembro (71,4%) e março (66,7%), demonstrando que as chuvas na segunda quinzena são mais espaçadas, necessitando assim da irrigação suplementar, mesmo em meses considerados chuvosos.

Rodriguez et al. (2006) observaram que no caso da irrigação a necessidade de água é sazonal, intercalando meses de elevado e baixo consumo, sendo que nem sempre esta necessidade condiz com o período de maior oferta hídrica. Sendo assim, o conhecimento das vazões consumidas pelos diversos usuários da água é de suma importância para subsidiar a tomada de decisão na gestão de recursos hídricos, uma vez que permite determinar a sua disponibilidade no tempo e no espaço, ou seja, identificar áreas em que este recurso encontra-se ou pode vir a se tornar escasso.

Mantovani et al. (2009), afirmam que a uniformidade de distribuição de água de um sistema de irrigação é um dos principais parâmetros para o diagnóstico da situação de funcionamento do sistema. Outros parâmetros, como a eficiência de aplicação de água pelo sistema de irrigação e a relação entre a lâmina de água aplicada e a lâmina real necessária ao desenvolvimento da cultura, também podem corroborar para o uso racional dos recursos hídricos na agricultura.

De acordo com Mukherji et al. (2009), 80% dos produtos necessários para satisfazer as necessidades da população mundial, nos próximos 25 anos, serão providos pelos cultivos irrigados. Por outro lado, a agricultura irrigada é a atividade humana que demanda a maior quantidade de água. Em termos mundiais, estima-se

cerca de 70% do uso da água, sendo que nos países em desenvolvimento este valor pode chegar até 95%, causando conflitos em relação aos demais usos da água (Food and Agriculture Organization - FAO, 2007). No Brasil o setor de irrigação é o que possui a maior parcela de vazão retirada (cerca de 47% do total) e a maior vazão consumida (69%) (ANA, 2009).

Pouca importância se tem dado ao manejo adequado da irrigação na agricultura, a fim de suprir a demanda da cultura sem ocasionar déficit hídrico ou o excesso de água na irrigação. Com isso, no manejo da irrigação, o importante é determinar quando e quanto de água aplicar (TAGLIAFERRE, 2006), priorizando também o uso racional dos recursos hídricos (RODRIGUES et al., 2013).

Embora as fontes hídricas sejam abundantes, frequentemente elas são mal distribuídas na superfície do planeta. Em algumas áreas, as retiradas são tão elevadas, em comparação com a oferta, que a disponibilidade superficial de água está sendo reduzida e os recursos subterrâneos rapidamente esgotados (FREITAS e SANTOS, 1999), sendo, portanto, de fundamental importância o uso eficiente dos recursos hídricos, principalmente, pela agricultura irrigada, seu principal consumidor.

Segundo Ramos e Pruski (2003), citando Costa (1991), embora a irrigação seja uma técnica que visa ao aumento da produtividade das culturas, em especial em regiões áridas e semi-áridas, apresenta grande impacto nas disponibilidades hídricas dos mananciais de água, uma vez que grandes demandas de água são alocadas para os sistemas de irrigação, sobretudo em regiões onde se verificam altas concentrações de áreas irrigadas, principalmente em épocas de escassez de precipitações pluviais; além da alta demanda hídrica, a maioria dos projetos envolvendo recursos hídricos, em todo o mundo, não tem alcançado os níveis desejados de produtividade devido, basicamente, às dificuldades operacionais encontradas no campo, não levadas em consideração durante o planejamento.

A realidade da agricultura irrigada brasileira, no entanto, tem demonstrado que não é raro encontrar projetos de irrigação, públicos ou privados, sem o apropriado planejamento e que, depois de implantados, são conduzidos sem a preocupação com o manejo e operações adequadas, resultando em baixa eficiência e comprometendo a expectativa de aumento da produtividade (FERREIRA, 1993). Além disso, com a demanda crescente de água pelos vários setores da sociedade, associada aos movimentos ecológicos conscientizando a população sobre a importância da conservação do meio ambiente mais saudável e menos poluído, sem dúvida haverá

pressão para que a irrigação seja conduzida com maior eficiência e com o mínimo impacto sobre o meio ambiente, notadamente no que diz respeito à disponibilidade e qualidade de água para as múltiplas atividades (BERNARDO et al., 2006).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Caracterização da bacia hidrográfica de estudo

A bacia hidrográfica do Ivinhema localiza-se no centro-sul do Estado de Mato Grosso do Sul e ocupa área de aproximadamente 46.500 km<sup>2</sup>. Tem forma de polígono irregular compreendido entre os paralelos 20°51' e 23°14' de latitude sul e os meridianos 52°21' e 55°57' de longitude oeste de Greenwich. Faz divisa ao norte com a bacia hidrográfica do rio Pardo, ao sul com a bacia do rio Amambai, a oeste com a serra do Maracaju e a República do Paraguai e a leste com o rio Paraná (ARAI et al., 2012). O rio principal da bacia do Ivinhema, o rio Ivinhema, apresenta como principais afluentes o rio Dourados, pela margem direita, e o rio Vacaria, pela margem esquerda. Vinte e cinco municípios integram a bacia, sendo 15 integralmente dentro da sua área de drenagem e 10 parcialmente (Quadro 1 e Figura 2).

QUADRO 1. Área total dos municípios e de cada município na bacia hidrográfica do Ivinhema e sua inserção na bacia

Município	Área do Município (km <sup>2</sup> )		Inserção do município na bacia (%)
	Total	Ocorrência na bacia	
Anaurilândia	3.402,40	3.402,40	100,0
Angélica	1.276,50	1.276,50	100,0
Antônio João	1.146,70	475,34	41,5
Bataiporã	1.883,10	1.833,10	100,0
Caarapó	2.094,90	1.307,82	62,4
Deodápolis	833,30	833,30	100,0
Douradina	281,40	281,40	100,0
Dourados	4.096,90	4.096,90	100,0
Fátima do Sul	316,00	316,00	100,0
Glória de Dourados	493,00	493,00	100,0
Itaporã	1.325,40	1.325,40	100,0
Ivinhema	2.014,90	2.014,90	100,0
Jateí	1.932,80	1.932,80	100,0
Juti	1.616,80	634,05	39,2
Laguna Caarapã	1.721,10	589,03	34,2
Maracaju	5.312,90	3.961,13	74,6
Naviraí	3.172,90	2.053,25	64,7
Nova Alvorada do Sul	4.029,90	2.372,94	58,9
Nova Andradina	4.788,20	3.750,24	78,3
Novo Horizonte do Sul	851,20	851,20	100,0
Ponta Porã	5.359,30	3.945,44	73,6
Rio Brilhante	3.998,10	3.998,10	100,0
Sidrolândia	5.300,90	3.375,74	63,7
Taquarussu	1.056,10	1.056,10	100,0

“...continua...”

“...continua...”

Vicentina	311,00	311,00	100,0
<b>Total</b>	<b>58.565,70</b>	<b>46.487,08</b>	<b>-</b>

Fonte: ARAI (2010).

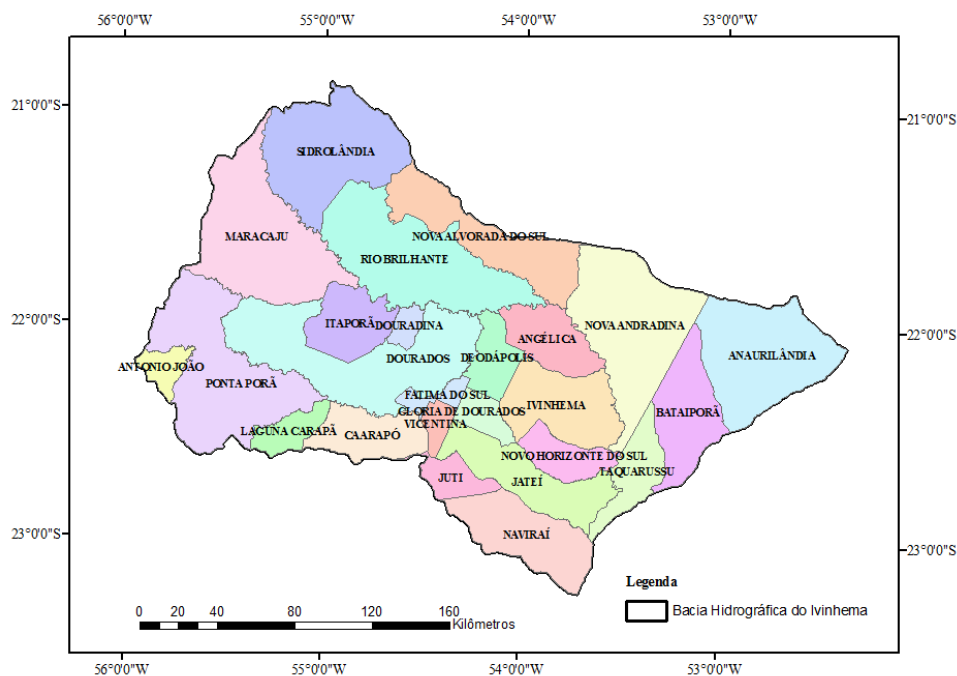


FIGURA 2. Bacia hidrográfica do Ivinhema e os limites municipais em que se encontra.

Fonte: ARAI (2010).

A drenagem do rio corta rochas das regiões dos planaltos areníticos basálticos interiores. As altitudes alcançam 700 metros (DANIEL et al., 2002), configurando-se um divisor de águas entre as duas grandes bacias do estado. As nascentes do rio Vacaria e a maior extensão dos rios da bacia banham o Planalto de Dourados (ANEEL, 2001).

A predominância dos solos é da classe dos Latossolos (Quadro 2), distribuída por aproximadamente 4 milhões de hectares ou 84,7% da bacia do Ivinhema. Estes solos são caracterizados como pertencentes à classe dos Latossolos Vermelhos (LV), com prevalência do LV7<sup>1</sup> na parte superior e do LV43<sup>2</sup> na parte baixa (FARIA e FRATA, 2008).

<sup>1</sup> LV7 – LV Distroférico + LV Eutroférico + LV Distrófico.

<sup>2</sup> LV43 – LV Distrófico + Argissolo Vermelho (PV) Distrófico + Argissolo Vermelho Amarelo (PVA) Distrófico.

QUADRO 2. Área das classes de solos e suas porcentagens na Bacia Hidrográfica do Ivinhema

Solos	Área (mil hectares)	%
Latossolo Vermelho	2.146,68	46,2
Latossolo Vermelho Distrófico	1.788,39	38,5
Argissolo Vermelho	220,28	4,7
Associação Complexa	176,67	3,8
Planossolo	150,88	3,2
Argissolo Vermelho-Amarelo	93,13	2,0
Gleissolos	41,33	0,9
Neossolo Quartzarênico	12,44	0,3
Neossolo	15,91	0,3
Solos Orgânicos	3,00	0,1

Fonte: Adaptado de OLIVEIRA et al.(2000), para a nova classificação de solos EMBRAPA (2006).

De acordo com a classificação de Köppen, a bacia pode ser dividida em duas áreas climáticas. A primeira situada na região norte-nordeste da bacia, com o clima Aw (tropical úmido com inverno seco e verão chuvoso, com temperatura média do mês mais frio superior a 18°C). Na outra região, o clima é o Cwa (temperado chuvoso com inverno seco, verão chuvoso, temperatura média do mês mais frio inferior a 18°C e a do mês mais quente superior a 22°C) (IMAP MS, 2006).

A temperatura média anual varia de 20 a 22°C, com as médias dos meses mais frio e mais quente oscilando, respectivamente, de 15°C a 19°C e de 23°C a 26°C. Durante o ano, a temperatura média do ar é alta nos meses de janeiro a março, com início de queda em abril, atingindo os menores valores de maio a agosto (IMAP MS, 2006). A precipitação média anual varia de 1.000 a 1.700 mm, sendo novembro a janeiro o trimestre mais chuvoso (ARAI et al., 2012).

A bacia do Ivinhema é de grande potencial para o desenvolvimento agrícola e, com o crescimento da agricultura irrigada o conhecimento das características hidrológicas dessa bacia torna-se de grande importância para que o aproveitamento de suas águas possa ser otimizado, com menor impacto ambiental. O principal polo regional da bacia do rio Ivinhema é a cidade de Dourados, que vem se consolidando como importante centro de desenvolvimento econômico, em decorrência da expansão de sua fronteira agrícola (MATO GROSSO DO SUL, 2000).

Em virtude da bacia do Ivinhema representar importante indutor do desenvolvimento agrícola da região, o conhecimento do seu comportamento hidrológico é de suma importância para subsidiar a tomada de decisões na gestão de recursos hídricos, uma vez que permitirá conhecer a disponibilidade desse recurso, consistindo, portanto, em um importante subsídio à gestão de recursos hídricos.

Os principais produtos agrícolas cultivados na bacia hidrográfica do Ivinhema são algodão herbáceo, arroz, cana-de-açúcar, feijão, mandioca, milho, soja e trigo. As culturas de grande destaque são a soja e o milho, concentrando-se nos municípios de Dourados, Itaporã, Ponta Porã e Maracaju (OLIVEIRA et al., 2000).

A atividade agropastoril é o maior destaque na economia, com criação de bovinos, ovinos, suínos, caprinos e aves. As águas da bacia são utilizadas para irrigação, abastecimento humano, dessedentação de animais e diluição de efluentes sanitários e industriais (ANEEL, 2001).

### **3.2. Seleção e análise de dados**

A fim de estimar as vazões mínimas de referência ( $Q_{7,10}$  e  $Q_{95}$ ) foram analisados os dados consistidos de nove estações fluviométricas (Figura 3) pertencentes à rede hidrometeorológica da Agência Nacional de Águas (ANA), disponibilizados no Sistema de Informações Hidrológicas (Hidroweb). Foram utilizados todos os dados cujos anos apresentavam mais de 95% dos dados, abrangendo o período de 1973 a 2007. No Apêndice A está apresentado o diagrama de barras correspondente às nove estações.

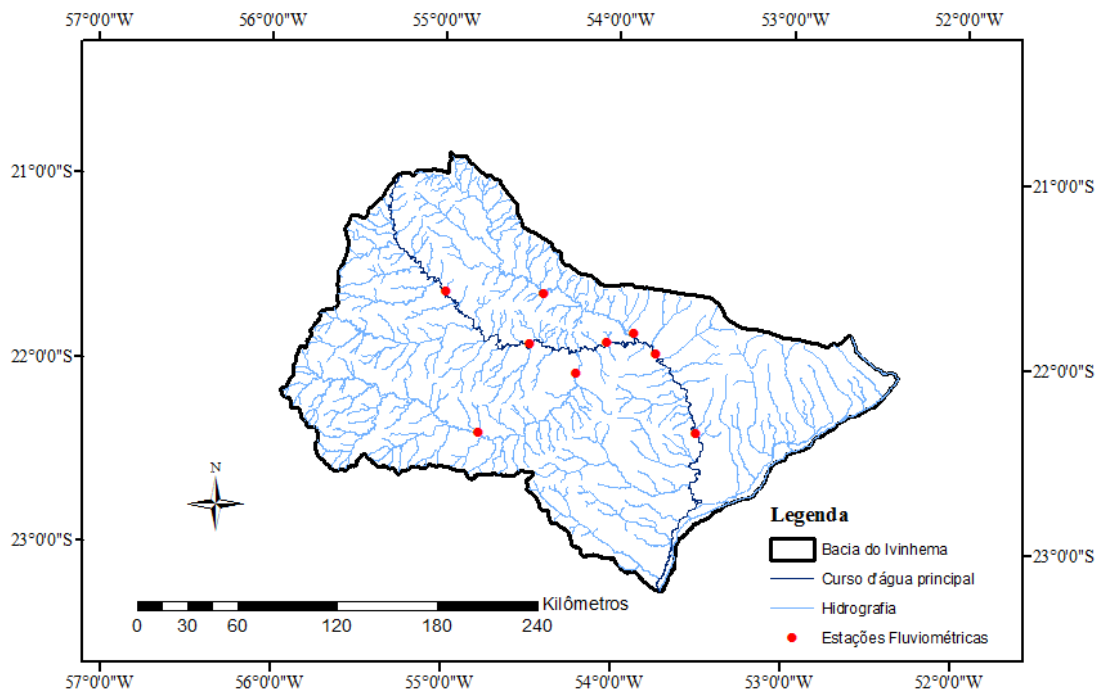


FIGURA 3. Bacia hidrográfica do Ivinhema e estações fluviométricas utilizadas.

No Quadro 3, estão apresentadas as estações fluviométricas, com seus respectivos códigos de identificação da ANA, o rio em que estão localizadas, as coordenadas geográficas e a área de drenagem. As áreas de drenagem foram obtidas por meio do modelo digital de elevação gerado no SIG, não constando, portanto, do inventário fluviométrico da ANA.

QUADRO 3. Caracterização das estações fluviométricas selecionadas

Código	Estação	Rio	Latitude	Longitude	Área de Drenagem (km <sup>2</sup> )
64601000	Brilhante	Brilhante	21°37'57" S	54°59'13" W	3.759
64605000	Porto Rio Brilhante	Brilhante	21°55'00" S	54°30'00" W	9.180
64609000	Dourados	Dourados	22°23'50" S	54°47'31" W	5.817
64610000	Porto Wilma	Dourados	22°04'08" S	54°13'43" W	9.059
64611000	Retiro Guarujá	Brilhante	21°54'03" S	54°03'14" W	20.714
64613000	Aroeira	Vacaria	21°38'29" S	54°25'19" W	4.468
64613800	Fazenda São Joaquim	Vacaria	21°50'48" S	53°53'39" W	6.290
64614000	Fazenda Ipacaráí	Ivinhema	21°57'23" S	53°46'03" W	27.397
64617000	Ivinhema	Ivinhema	22°22'57" S	53°31'43" W	31.910



### 3.3. Períodos sazonais analisados

Visando a flexibilidade anual dos critérios de outorga em consonância com a variabilidade natural do regime hidrológico, a definição das escalas temporais utilizadas no estudo baseou-se no uso das vazões sazonais, sendo quantificadas em bases mensal, trimestral, quadrimestral e semestral, em substituição à base anual, devido ao potencial para o incremento do uso dos recursos hídricos a fio d'água, sem que isso incorra em aumento do risco de desabastecimento.

A escala temporal mensal foi adotada em função da busca de um uso mais racional dos recursos hídricos para concessão de outorga, à medida que oferta maior quantidade de água nos meses em que há excedente hídrico, e menor quantidade de água nos meses em que há déficit hídrico, sem que isso incorra em prejuízo ambiental para a bacia. A utilização de critérios baseados no uso de vazões mínimas mensais requer o conhecimento das disponibilidades hídricas dos cursos d'água e suas variações sazonais.

Na subdivisão do ano hidrológico em trimestres, utilizou-se a análise do comportamento das vazões médias ao longo do ano, onde o primeiro trimestre corresponde ao menor somatório das vazões médias ao longo do ano. A subdivisão em quadrimestres e semestres foi baseada na validação de um conjunto de critérios que busca agrupar os meses em quadrimestres (seco, normal e chuvoso) e semestre (seco e chuvoso) e que possuem o regime hidrológico homogêneo. O trabalho foi baseado na metodologia proposta por Marques (2010), que faz referência à Teoria de Down (1884) para avaliação das movimentações do mercado financeiro. Os critérios norteadores da metodologia baseiam-se em seis princípios, conforme escrito na sequência:

- i. 1º Princípio: As médias descontam tudo: embora existam variações diárias na magnitude das vazões ao longo do ano e, ainda, variações interanuais, todos os registros do monitoramento são incorporados nas médias. Portanto, a distribuição anual das vazões médias mensais não basta para definir os intervalos com regime crítico homogêneo, pois as vazões críticas, mínima de referência para outorga, são amortecidas pela média.

- ii. 2º Princípio: O regime hidrológico tem três tendências: foram estabelecidas três tendências na situação da disponibilidade hídrica ao longo do ano: mínima, média e máxima (seco, normal e chuvoso). Na tendência mínima ou período seco, devido à estiagem, as vazões observadas estão próximas da vazão mínima anual. Na tendência média ou período normal, as vazões aproximam-se das vazões médias anuais e a ocorrência de eventos mínimos são menos frequentes. A tendência de máxima é consequência do período chuvoso, que implica em pouco ou nenhum evento de vazão mínima registrada. Na análise semestral foram estabelecidas duas tendências, mínima e máxima (seco e chuvoso). Para tal, foram agrupados seis meses consecutivos, em um período de 12 meses de análise, com menores valores de vazões mínimas para constituir o semestre seco e os demais seis meses, o semestre chuvoso.
- iii. 3º Princípio: As tendências ocorrem em três fases: segundo a teoria proposta para classificação do regime hidrológico crítico, as tendências podem apresentar fases distintas: a) movimento: na primeira fase de cada período as vazões mínimas observadas movimentam-se no sentido da tendência: mínima ou máxima; b) estabilização: nesta fase não ocorrem grandes variações nas mínimas observadas. Na tendência média não ocorre esta fase, visto que a recessão das chuvas implica na redução contínua das vazões de base; c) reversão: durante esta fase, o movimento se inverte e as vazões retornam contra a tendência. A tendência média não apresenta reversão.
- iv. 4º Princípio: As médias devem confirmar a tendência: O princípio estabelece que a média das vazões mínimas (médias das  $Q_7$  em cada período analisado) observadas em cada período deve confirmar as tendências de máxima, média ou mínima. Em síntese, a tendência de máxima, quadrimestre chuvoso ou semestre chuvoso deve apresentar a vazão mínima mais elevada e a tendência de mínima, quadrimestre seco ou semestre seco, a menor disponibilidade hídrica. A tendência de média ou período normal deve se confirmar pela vazão mínima próxima da média anual.

- v. 5º Princípio: Os riscos comprovam as tendências: Este princípio objetiva avaliar a frequência, enquanto o princípio anterior avalia a magnitude e a duração das vazões mínimas ( $Q_7$ ). Estabelece que a frequência de ocorrência da  $Q_7$  no período regido por cada tendência confirma o agrupamento de meses com riscos homogêneos de ocorrência de situações críticas em disponibilidade hídrica.
  
- vi. 6º Princípio: As tendências são confirmadas pela flexibilidade das vazões mínimas: Este princípio concilia a identificação dos períodos sazonais com a finalidade de flexibilizar os critérios utilizados no processo de outorga, estabelecendo que as vazões mínimas ( $Q_{7,10}$  e  $Q_{95\%}$ ) precisam confirmar a sazonalidade das tendências. Atendendo este princípio, existe a garantia da flexibilidade ao adotar vazões mínimas de referência específicas para cada escala temporal ou período estabelecido.

### **3.4. Obtenção das vazões mínimas de referência**

As vazões mínimas de referências usadas neste trabalho foram as vazões mínimas de sete dias de duração e período de retorno de 10 anos ( $Q_{7,10}$ ) e a vazão mínima associada a 95% de permanência no tempo ( $Q_{95}$ ), por serem estas as vazões normalmente utilizadas em estudo de outorga dos recursos hídricos.

Para o cálculo destas vazões, em seções da hidrografia onde são operadas as estações fluviométricas, foi utilizado o programa computacional SisCAH 1.0 – Sistema Computacional para Análises Hidrológicas (SOUSA, 2009), o qual foi desenvolvido pela rede de pesquisa do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) (BOF, 2010). Este programa possui módulos computacionais que permite realizar diversas análises do comportamento hidrológico em seções específicas da hidrografia.

### 3.4.1. Obtenção da $Q_{7,10}$

Após a seleção e análise de dados básicos, as séries anuais, semestrais, quadrimestrais, trimestrais e mensais de vazões mínimas com sete dias de duração ( $Q_7$ ), para cada estação, foram submetidas à análise estatística, para identificação do modelo probabilístico que melhor se ajustava aos dados. Os modelos de distribuição de eventos mínimos utilizados foram: Log-Normal a dois e três parâmetros, Pearson III, Log-Pearson III e Weibull (HAHN et al., 1977; STEDINGER et al., 1992).

A seleção da distribuição de probabilidade ajustável a cada série histórica foi efetuada, utilizando-se o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov, a 20% de probabilidade, e o ajuste dos parâmetros de cada distribuição foi realizado pelo método dos momentos, que consiste em igualar os momentos populacionais da série aos momentos amostrais de uma série de eventos aleatórios, quais sejam, a média, o desvio padrão e os coeficientes de assimetria e de curtose.

Após a seleção da distribuição probabilística com melhor ajuste aos dados de vazões mínimas, foram obtidos os valores das vazões mínimas com sete dias de duração associadas ao período de retorno de 10 anos ( $Q_{7,10}$ ), considerando-se o período anual e os períodos sazonais mensal, trimestral, quadrimestral e semestral.

No cálculo da  $Q_{7,10}$  dos períodos sazonais utilizados, os eventos de  $Q_7$  foram obtidos por uma restrição do conjunto de dados apenas para o período sazonal em questão, ou seja, geraram-se séries anuais de eventos de  $Q_7$  observados especificamente para cada período sazonal analisado, e com estes eventos aplicou-se a análise das distribuições de densidade de probabilidade, resultando na  $Q_{7,10}$  do período analisado.

### 3.4.2. Obtenção da $Q_{95}$

A vazão mínima de referência  $Q_{95}$  foi obtida da curva de permanência de cada estação fluviométrica, com base em dados diários, retratando a parcela de tempo que determinada vazão é igualada ou superada durante o período analisado. Para tanto se organizou as séries de dados em ordem decrescente e determinou-se a frequência associada a cada valor de vazão, de acordo com a equação 1:

$$f_i = \frac{N_{qi}}{NT} 100 \quad (1)$$

Em que:

$N_{qi}$  = número de eventos maiores ou iguais à vazão de ordem  $i$ ;

$NT$  = número total de dados da amostra.

A curva de permanência descreve a relação entre a vazão de um curso d'água e a probabilidade de ocorrerem vazões maiores ou iguais ao valor da ordenada apresentada na curva (PRUSKI et al., 2006).

Utilizando-se o SisCAH 1.0, obteve-se a  $Q_{95}$  em todas as escalas temporais (mensal, trimestral, quadrimestral, semestral e anual) para cada série histórica analisada, conforme a metodologia descrita. Para a determinação das curvas de permanência nos períodos sazonais analisados, o procedimento usado foi o mesmo da estimativa anual, porém restringindo o conjunto de dados à escala temporal em que se obteve a variável  $Q_{95}$ , realizando-se este procedimento para todas as escalas temporais.

### 3.5. Comparação entre as vazões mínimas de referência de base sazonal e anual

Foram comparadas, a partir das estimativas das vazões mínimas de referência, as vazões dos períodos sazonais (mensal, trimestral, quadrimestral e semestral) com as do período anual. Nesta comparação foi verificada a diferença relativa da disponibilidade hídrica na vazão disponível para outorga, considerando a adoção das vazões mínimas de referência das escalas temporais adotadas com o período anual, conforme equação:

$$Dr = \frac{Q_{sazonal} - Q_{anual}}{Q_{anual}} 100 \quad (2)$$

Em que,

$Dr$  = diferença relativa da disponibilidade hídrica, %;

$Q_{sazonal}$  = vazão estimada em base sazonal,  $m^3 s^{-1}$ ;

$Q_{\text{anual}}$  = vazão estimada em base anual,  $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ .

Pelo fato da bacia hidrográfica do rio Ivinhema ainda não possuir uma legislação quanto à concessão de outorga para uso dos recursos hídricos, foi realizada a comparação entre as vazões máximas permissíveis para outorga adotada pela União, 70% da  $Q_{95}$  anual, e o critério de 50% da  $Q_{7,10}$  anual, adotada em diferentes Estados Brasileiros.

Para cada estação fluviométrica utilizada no estudo foram comparados os valores de  $Q_{7,10}$  e  $Q_{95}$  nas bases mensal, trimestral, quadrimestral, semestral e anual, juntamente com os critérios: 50% da  $Q_{7,10}$ , 50%  $Q_{95}$ , 70% da  $Q_{7,10}$  e 70% da  $Q_{95}$ , nas diferentes escalas temporais analisadas. Procedeu-se a análise do comportamento sazonal das estimativas e a magnitude da vazão outorgável conforme a escala temporal, comparando com as vazões anuais.

Para visualização dos resultados foram elaborados gráficos, em escala comparativa, da diferença percentual da disponibilidade hídrica resultante da substituição da base anual em função do período sazonal adotado.

Foi observado, também, a amplitude de variação da diferença relativa entre as vazões mensais e anual para cada uma das estações fluviométricas utilizadas no estudo.

Em todas as estações verificou-se a diferença relativa entre os critérios de vazão máxima permissível para outorga nas bases anual e mensal, tendo essa diferença sido calculada com base no volume, utilizando a equação:

$$Dr_{\text{critério}} = \frac{V_{70\%Q95} - V_{50\%Q7,10}}{V_{50\%Q7,10}} 100 \quad (3)$$

Em que,

$Dr_{\text{critério}}$  = diferença relativa entre os critérios, %;

$V_{70\%Q95}$  = volume máximo de água permissível para a outorga, segundo critério da ANA,  $\text{m}^3 \text{ano}^{-1}$ ;

$V_{50\%Q7,10}$  = volume máximo de água permissível para a outorga, em função da adoção do critério de 50% da  $Q_{7,10}$ ,  $\text{m}^3 \text{ano}^{-1}$ .

Para calcular o volume máximo de água permissível para a outorga, multiplicou-se o valor da vazão de outorga pelo número de segundos em um ano, obtendo o volume de água que escoou durante um ano, com base na vazão permissível para a outorga. No caso da utilização do critério de outorga mensal, multiplicou-se a média das vazões mensais de outorga pelo número de segundos em um ano, para o cálculo do volume.

Analisou-se, também, em cada estação fluviométrica a diferença de volume máximo permissível para a outorga quando da mudança da base anual para a base mensal. Neste caso, a diferença relativa de volume máximo permissível para a outorga foi expressa pela equação:

$$Dr_b = \frac{V_{\text{mensal}} - V_{\text{anual}}}{V_{\text{anual}}} 100 \quad (4)$$

Em que,  $Dr_b$  é a diferença relativa entre o critério mensal e o critério anual, %.

### 3.6. Regionalização das vazões mensais e anuais

O desenvolvimento do modelo para ajuste das vazões mínimas foi baseado no procedimento proposto por Pereira (2004), que propôs o ajuste de equações de regressão às séries de dados calculados para cada estação fluviométrica. A metodologia está fundamentada na premissa de que a vazão obtida pela equação de ajuste que considera as informações de todas as estações fluviométricas situadas no rio é mais representativa do que a vazão obtida pontualmente para a seção considerada. A metodologia proposta consistiu em ajustar modelos de regressão para a representação da  $Q_{7,10}$  e  $Q_{95}$  mensal e anual em função da área de drenagem no rio principal e, a partir desses modelos, obter as vazões na foz dos rios afluentes diretos do rio principal, sendo estes o rio Dourados e o rio Vacaria.

Uma vez conhecidas as vazões observadas nos postos fluviométricos do rio principal, que neste caso representa a união dos rios Brilhante e Ivinhema, foram ajustadas equações de regressão para a representação da  $Q_{7,10}$  e  $Q_{95}$  mensal e anual, ao longo do rio principal, como função da área de drenagem relativa a cada seção fluviométrica, por ser esta a característica física que mais interfere no processo de

formação das vazões médias e mínimas (RIBEIRO et al., 2005). Tais equações foram forçadas a passar pela origem, uma vez que, quando a área de drenagem é zero a vazão deve ser nula. Logo, com a equação obtida para o rio principal, pode-se obter a vazão em qualquer seção situada nesse rio necessitando-se, para tanto, apenas da área de drenagem da seção de interesse.

Posteriormente, procedeu-se a estimativa das vazões mínimas mensais e anuais na foz dos rios que lhes são afluentes diretos (rio Dourados e rio Vacaria), conforme descrito por Novaes et al. (2009). No mapa da bacia hidrográfica do Ivinhema foi identificada a bacia do rio Dourados e determinou-se a área de drenagem para o rio principal imediatamente a montante da confluência com o rio Dourados e a área de drenagem da bacia do rio Dourados, sendo, conseqüentemente a área de drenagem imediatamente a jusante da confluência desses rios obtidos pela soma dessas áreas de drenagem.

De posse das áreas de drenagem das seções a montante e a jusante da confluência com o rio principal e rio afluente, estimou-se a vazão na seção considerada, utilizando-se o modelo de regressão obtido para o rio principal, sendo a diferença entre essas duas vazões correspondente à vazão na foz do rio afluente direto. Conhecida a vazão na foz do rio afluente direto e as vazões nos postos fluviométricos situados nesse afluente, procedeu-se o ajuste da equação de regressão para representação da vazão em função da área de drenagem, de tal forma que a equação resultante produzisse uma vazão nula, quando a área de drenagem fosse zero.

### **3.7. Vazão demandada pela irrigação e análise da eficiência do uso dos recursos hídricos**

Para este estudo foi realizado a avaliação em 12 sistemas de irrigação do tipo pivô central localizados na bacia hidrográfica do rio Dourados, afluente direto do rio Ivinhema.

A vazão de retirada, para quantificação da vazão demandada pela irrigação, foi obtida conforme metodologia descrita por Pruski et al. (2007), sendo estimada com base na irrigação total necessária e na área irrigada da bacia para cada cultura em cada mês, conforme a equação:



$$Q_r = \sum \left[ \frac{E_{tc} - P_e}{E_a 86400} \right] A_i \quad (5)$$

Em que,

$Q_r$  = vazão de retirada pela irrigação,  $m^3 s^{-1}$ ;

$E_{Tc}$  = evapotranspiração da cultura,  $mm d^{-1}$ ;

$P_e$  = precipitação pluvial efetiva,  $mm d^{-1}$ ;

$E_a$  = eficiência de aplicação, adimensional;

$A_i$  = área irrigada na bacia, ha

A evapotranspiração de cada cultura foi estimada com base na evapotranspiração da cultura de referência, calculada pelo método de Penman-Monteith, nos coeficientes da cultura ( $k_c$ ) e no coeficiente que depende da umidade do solo ( $k_s$ ). Foi associado o método de irrigação de uso mais frequente na bacia, sendo o método de irrigação por aspersão, tipo pivô central, o mais utilizado. Considerando-se os resultados obtidos por Ramos e Pruski (2003) em estudos pertinentes à quantificação e análise da eficiência do uso da água pelo setor agrícola na bacia do São Francisco, adotaram-se os valores de 0,90 para  $k_s$  e de 0,80 para  $E_a$  nas irrigações por pivô central.

A precipitação pluvial efetiva foi obtida pelo método proposto pelo boletim 24 da FAO (DOOREMBOS e PRUITT, 1977).

As perdas por percolação e escoamento ocorridas na aplicação da água foram consideradas como retorno, não se levando em conta as perdas ocorridas na condução da água, portanto, a vazão de retorno foi obtida pela equação:

$$Q_{ri} = \sum \left[ \frac{E_{tc} - P_e}{E_a 86400} \right] A_i 10 (P_p - P_{esc}) \quad (6)$$

Em que,

$Q_{ri}$  = vazão de retorno referente à irrigação,  $m^3 s^{-1}$ ;

$P_p$  = perdas por percolação, adimensional;

$P_{esc}$  = perdas por escoamento, adimensional.

Considerou-se que não seria irrigada a cultura, caso a precipitação efetiva fosse maior que a evapotranspiração real da cultura, enquanto as perdas por percolação mais as perdas por escoamento, foram estimadas pela equação:

$$(P_p + P_{esc}) = 1 - P_{evp} - E_a \quad (7)$$

Em que,  $P_{evp}$  são perdas por evaporação e deriva, adimensional.

Para sistemas de irrigação por pivô central, adotou-se uma perda por evaporação e deriva igual a 10,9% (RAMOS e PRUSKI, 2003).

### **3.7.1. Levantamento da área irrigada na bacia do rio Dourados**

O primeiro levantamento da quantidade de pivôs centrais existentes na região da bacia do rio Dourados foi realizado por meio do programa Google Earth, com posterior visita aos produtores rurais com propriedades localizadas na bacia, para certificação do funcionamento do sistema de irrigação.

### **3.7.2. Avaliação do manejo da irrigação na bacia do rio Dourados**

A determinação da uniformidade de distribuição de água baseou-se na metodologia proposta por Merriam e Keller (1978), e constitui em coletar as precipitações por meio de pluviômetros espaçados em 3,0 m ao longo dos quatro raios do pivô central. Os coletores também foram instalados em duas fileiras radiais a partir do ponto central do pivô, formando um ângulo de 3°, espaçados de 3 m entre si (Figura 4). Foram utilizados coletores com diâmetro da “boca” de 8 cm e altura de 10,2 cm, fixadas em hastes cilíndricas de alumínio de 75 cm de altura. Após a irrigação mediuse a quantidade de água contida em cada coletor, que posteriormente foi convertido em lâmina d’água (mm).



FIGURA 4. Disposição dos coletores ao longo da linha lateral de um pivô central, ângulo 3°.

Fonte: Arai et al., 2013.

Para estimativa da uniformidade de distribuição foi utilizado o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), modificado por Heermann e Hein (1968), e o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD), conforme expressos nas equações 8 e 9, respectivamente.

$$CUC = 100 \left( \frac{\sum_{i=1}^n S_i |Y_i - Y_p|}{Y_p \sum_{i=1}^n S_i} \right) \quad (8)$$

$$CUD = 100 \left( \frac{Y_{p_{25}}}{Y_p} \right) \quad (9)$$

Em que,

CUC = coeficiente de uniformidade de Christiansen, %;

$S_i$  = distância do  $i$ -ésimo coletor ao ponto pivô, m;

- $Y_i$  = precipitação coletada no i-ésimo coletor, mm;  
 $Y_p$  = precipitação média ponderada coletada, mm;  
 CUD = coeficiente de uniformidade de distribuição, %;  
 $Y_{p25}$  = precipitação média ponderada das lâminas correspondente a 25% das menores lâminas, mm;

A precipitação média ponderada foi calculada pela expressão;

$$Y_p = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i S_i}{\sum_{i=1}^n S_i} \quad (10)$$

A classificação do CUC e CUD foi feita pela ABNT:NBR 14244 (ABNT, 1998), conforme o Quadro 4.

QUADRO 4. Classificação do coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) e do coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD)

CUC (%)	CUD (%)	Classificação
< 80	< 70	Ruim
80 a 84	70 a 74	Regular
85 a 89	75 a 81	Boa
> 90	> 82	Muito Boa

Para determinação da evaporação durante a realização dos testes, 10 coletores com volumes de água conhecidos foram instalados próximos a área dos ensaios; no término de cada teste media-se novamente o volume (ml), sendo a diferença correspondente a perda por evaporação. A vazão da instalação de recalque foi medida próximo à saída da bomba, por um medidor de vazão por efeito Doppler. No sentido radial de caminhamento da última torre, cronometrou-se o tempo de deslocamento da mesma para percorrer uma distância de 30 m, o que permitiu determinar sua velocidade de deslocamento.

Para as análises físico-hídricas foram selecionados três pontos de amostragem para cada pivô posicionados entre as linhas dos coletores e no terço inicial, médio e final de cada pivô avaliado. Amostras indeformadas de solo foram coletadas nas camadas de 0 - 20 cm e de 20 - 40 cm de profundidade. A partir dessas amostras foram determinados os seguintes atributos físico-hídricos do solo:

- Umidade atual do solo;
- Curva de retenção de água no solo, da qual foi obtida a umidade do solo na capacidade de campo e no ponto de murchamento permanente;

- Densidade do solo;

A determinação da densidade do solo ( $D_s$ ) foi efetuada pelo método do anel volumétrico de Kopeck de 50 cm<sup>3</sup>.

$$D_s \text{ (g.cm}^{-3}\text{)} = \left[ \frac{PS}{50} \right] \quad (11)$$

Em que, PS é o peso constante (g).

Os valores de umidade do solo ( $U$ ) nos diferentes valores de potencial matricial ( $\Psi_m$ ) necessários à elaboração da curva característica de retenção de água foram determinados em amostras indeformadas, por secamento (REICHARDT, 1985). As pressões de ar equivalentes a 0, 6, 10, 33, 100, 300 e 1.500 cm de água foram aplicadas utilizando-se o sistema de câmara de pressão de Richards (SCPR). A umidade do solo em cada tensão foi determinada pesando-se a amostra úmida após o equilíbrio (PU), colocando-a, após, numa estufa a 105°C até peso constante (PS).

$$U \text{ (% volume)} = \left[ \left( \frac{PU - PS}{PS - T} \right) * D_s \right] * 100 \quad (12)$$

Em que:

T = tara do cilindro, g;

$D_s$  = densidade do solo, g cm<sup>-3</sup>;

Os dados de retenção da água do solo foram ajustados a uma curva pela equação de Van Genuchten (1980), que é dada por:

$$\theta = (\theta_s - \theta_r)[1 + (\alpha h)^n]^{-m} + \theta_r \quad (13)$$

Em que:

- $\theta$ ,  $\theta_s$  e  $\theta_r$  = conteúdos de água do solo correspondentes à tensão  $h$ , à saturação e à umidade residual, respectivamente, % volume;
- $h$  = tensão matricial da água do solo, kpa;
- $n$ ,  $m$  ( $m = 1-1/n$ ) e  $\alpha$  = parâmetros empíricos adimensionais de ajuste;

O ajuste dos parâmetros ( $n$ ,  $m$  e  $\alpha$ ), foi obtido com o auxílio do programa Soil Water Retention Curve – SWRC (DOURADO NETO et al., 2001).

A avaliação do manejo da irrigação foi realizada comparando-se a lâmina de água necessária para elevar a umidade do solo à capacidade de campo com a lâmina de água aplicada pelo irrigante numa irrigação de rotina, procurando-se não intervir no processo de tomada de decisão do irrigante, relativo à irrigação. A lâmina necessária ( $L_n$ ) foi dada por:

$$L_n = \left[ \frac{\left( \frac{CC - U_i}{10} \right) * d * z}{Ei_{(80)}} \right] \quad (14)$$

Em que:

- $L_n$  = lâmina necessária, mm;
- $CC$  = capacidade de campo, considerada como a umidade do solo em 10 kpa, % volume;
- $U_i$  = conteúdo de água no solo, antes do início da irrigação, % volume;
- $d$  = densidade do solo,  $g\ cm^{-3}$ ;
- $z$  = Profundidade efetiva do sistema radicular, considerada em função da cultura e do estágio fenológico, cm;
- $Ei_{(80)}$  = eficiência de irrigação para 80% de área adequadamente irrigada;

A lâmina aplicada ( $La$ ) pelo irrigante foi considerada como sendo a média das lâminas coletadas nos pluviômetros durante as avaliações. Para o cálculo do déficit máximo permitido ( $Dmp$ ), em mm, foi considerado o fator de disponibilidade  $f = 0,5$ . O déficit máximo permitido foi dado por:

$$Dmp = \left[ \frac{\left( \frac{CC - U_i \text{ para } f_{(0,5)}}{10} \right) * d * z}{Ei_{(80)}} \right] \quad (15)$$

$$U_i \text{ para } f_{(0,5)} = \frac{(CC + PM)}{2} \quad (16)$$

Em que, PMP é o ponto de murcha permanente, considerado como a umidade do solo em 1.500 kpa (% volume).

A eficiência potencial de aplicação foi determinada pelo método direto, conforme a expressão:

$$Epa = \left( \frac{Yp}{Ya} \right) 100 \quad (17)$$

Em que:

$Epa$  = eficiência potencial de aplicação, %;

$Ya$  = lâmina aplicada, mm.

As perdas por evaporação e arraste foram obtidas por meio da equação:

$$Pea = 100 - Epa \quad (18)$$

Em que,  $Pea$  são as perdas por evaporação e arraste (mm).

A eficiência de distribuição para a área adequadamente irrigada ( $ED_{AD}$ ) foi estimada, adotando-se um índice de 80% para área adequadamente irrigada ( $pa$ ), pela seguinte expressão:

$$ED_{AD} = 100 + \left( 606 - 24,9 pa + 0,349 pa^2 - 0,00186 pa^3 \right) \left( 1 - \frac{CUC}{100} \right) \quad (19)$$

A eficiência de irrigação para área adequadamente irrigada ( $Ei_{AD}$ ) foi estimada segundo Keller e Bliesner (1990), por meio da expressão:

$$Ei_{AD} = ED_{AD} Epa Ec \quad (20)$$

Em que,  $Ec$  é a eficiência de condução (%).



## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Variação entre as vazões máximas permissíveis para outorga

Nas Figuras 5 a 13 são apresentadas as variações da  $Q_{7,10}$  e  $Q_{95}$  mensais ao longo do ano, a comparação com os valores anuais e a projeção do uso de diferentes critérios para a concessão de outorga (50%  $Q_{7,10}$ ; 50%  $Q_{95}$ ; 70%  $Q_{7,10}$  e 70%  $Q_{95}$  de base mensal e anual). Os resultados obtidos mostraram tendência de comportamento similar nas nove estações analisadas, cujos valores são mostrados no Apêndice A.

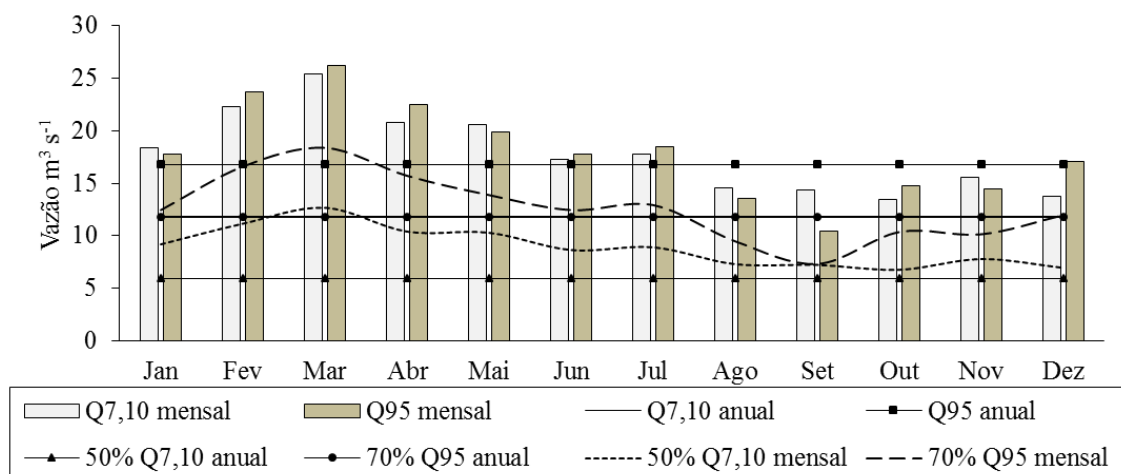


FIGURA 5. Vazões mínimas de referência ( $Q_{7,10}$  e  $Q_{95}$ ) mensais e anuais e projeção do uso de diferentes critérios de vazões máximas permissíveis para a concessão de outorga na estação Brilhante, no período de 1973 a 2007.

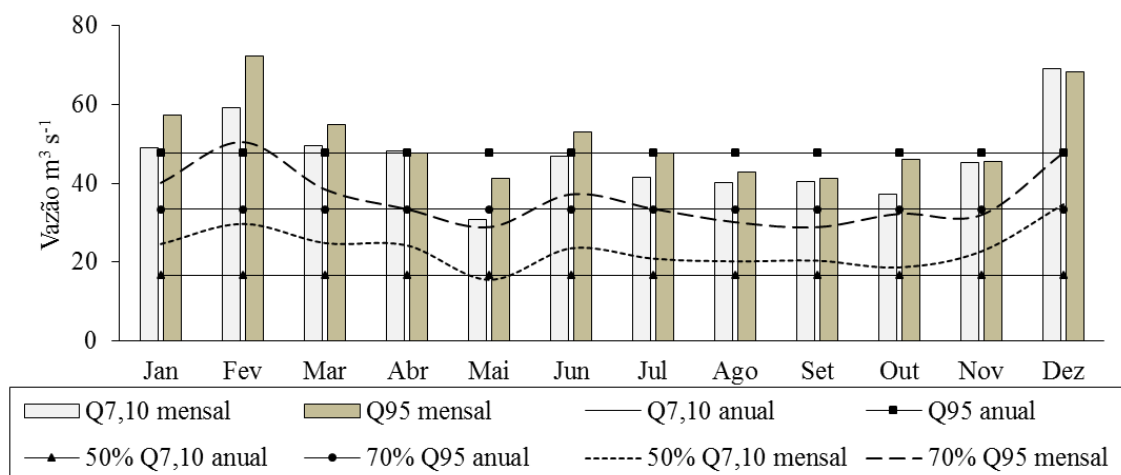


FIGURA 6. Vazões mínimas de referência ( $Q_{7,10}$  e  $Q_{95}$ ) mensais e anuais e projeção do uso de diferentes critérios de vazões máximas permissíveis para a concessão de outorga na estação Porto Rio Brilhante, no período de 1973 a 2007.

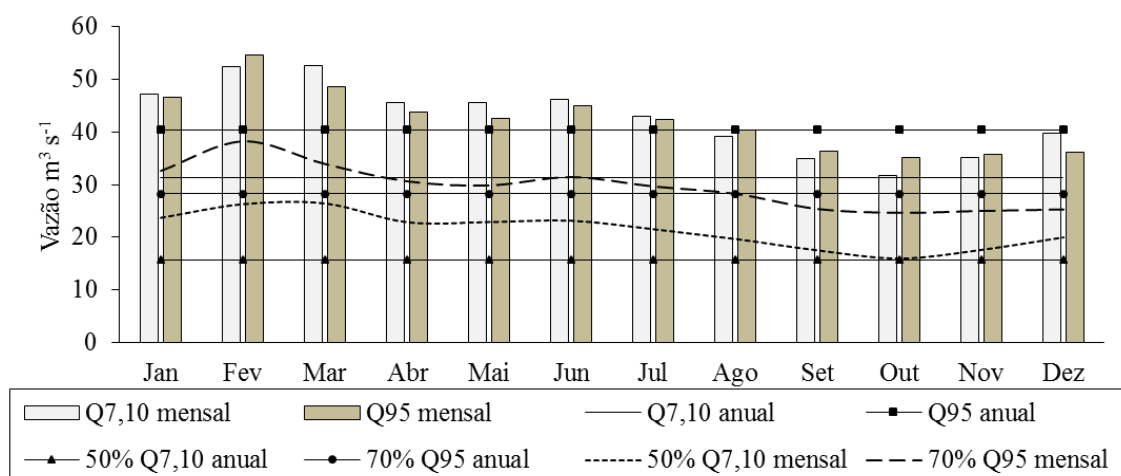


FIGURA 7. Vazões mínimas de referência ( $Q_{7,10}$  e  $Q_{95}$ ) mensais e anuais e projeção do uso de diferentes critérios de vazões máximas permissíveis para a concessão de outorga na estação Dourados, no período de 1973 a 2007.

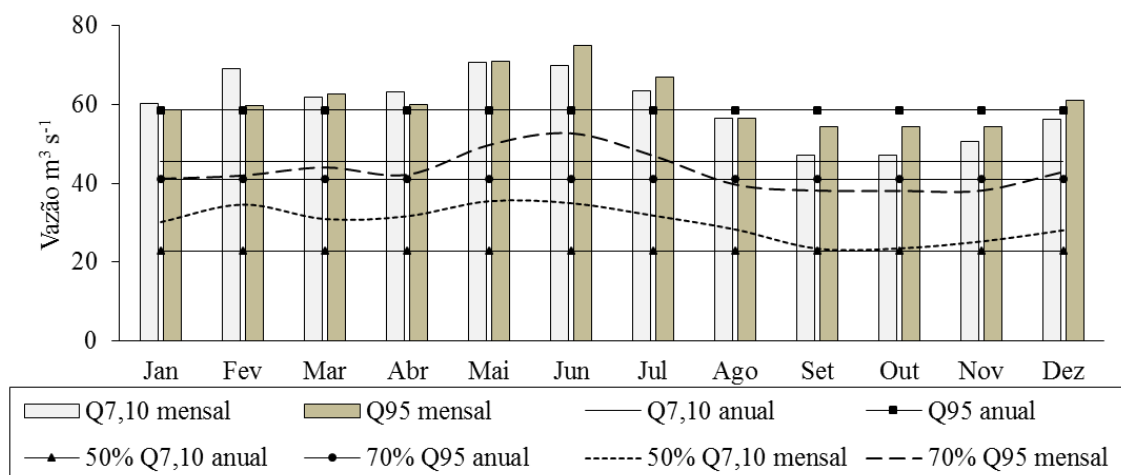


FIGURA 8. Vazões mínimas de referência ( $Q_{7,10}$  e  $Q_{95}$ ) mensais e anuais e projeção do uso de diferentes critérios de vazões máximas permissíveis para a concessão de outorga na estação Porto Wilma, no período de 1973 a 2007.

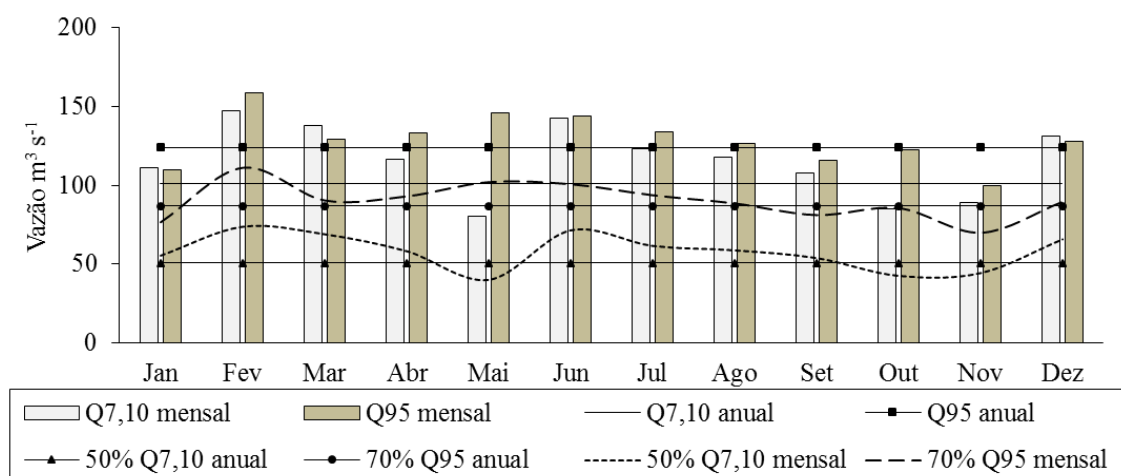


FIGURA 9. Vazões mínimas de referência ( $Q_{7,10}$  e  $Q_{95}$ ) mensais e anuais e projeção do uso de diferentes critérios de vazões máximas permissíveis para a concessão de outorga na estação Retiro Guarujá, no período de 1973 a 2007.

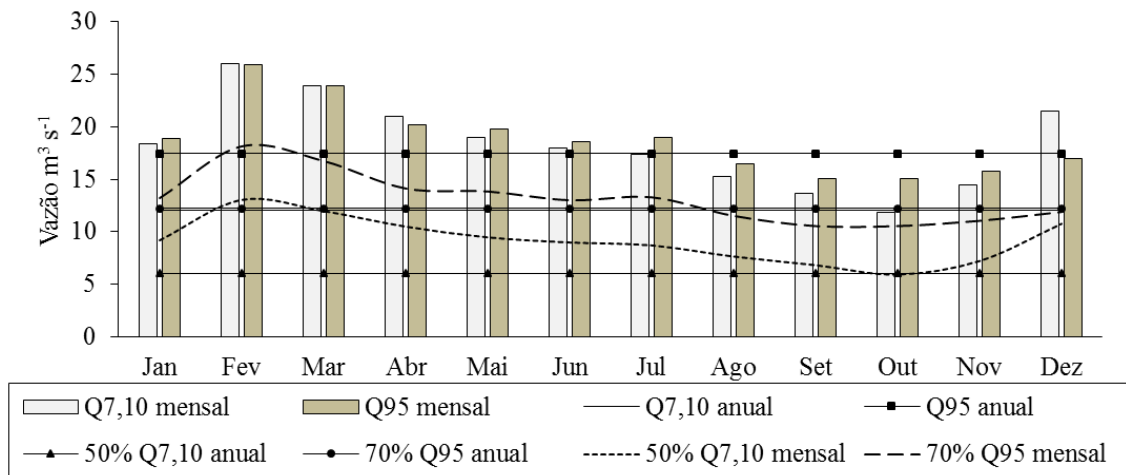


FIGURA 10. Vazões mínimas de referência (Q<sub>7,10</sub> e Q<sub>95</sub>) mensais e anuais e projeção do uso de diferentes critérios de vazões máximas permissíveis para a concessão de outorga na estação Aroeira, no período de 1973 a 2007.

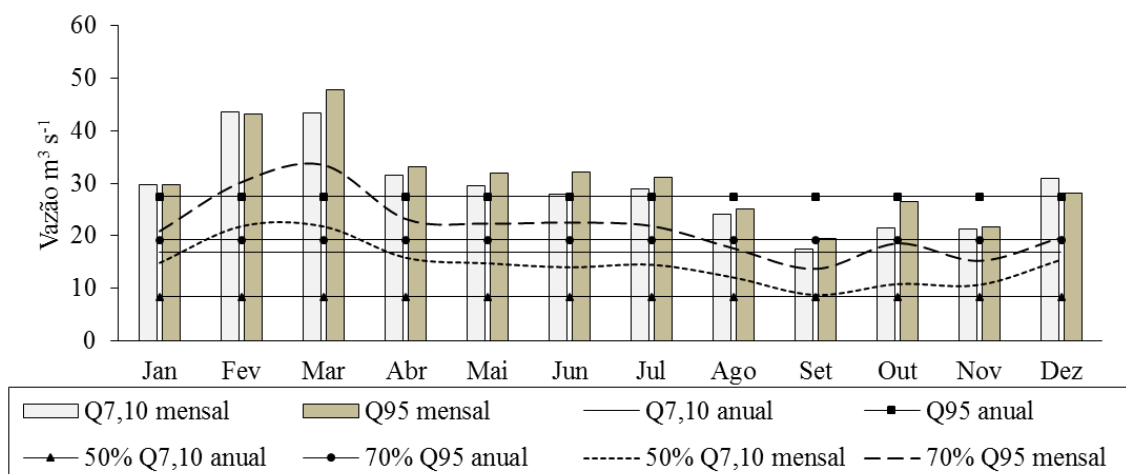


FIGURA 11. Vazões mínimas de referência (Q<sub>7,10</sub> e Q<sub>95</sub>) mensais e anuais e projeção do uso de diferentes critérios de vazões máximas permissíveis para a concessão de outorga na estação Fazenda São Joaquim, no período de 1973 a 2007.

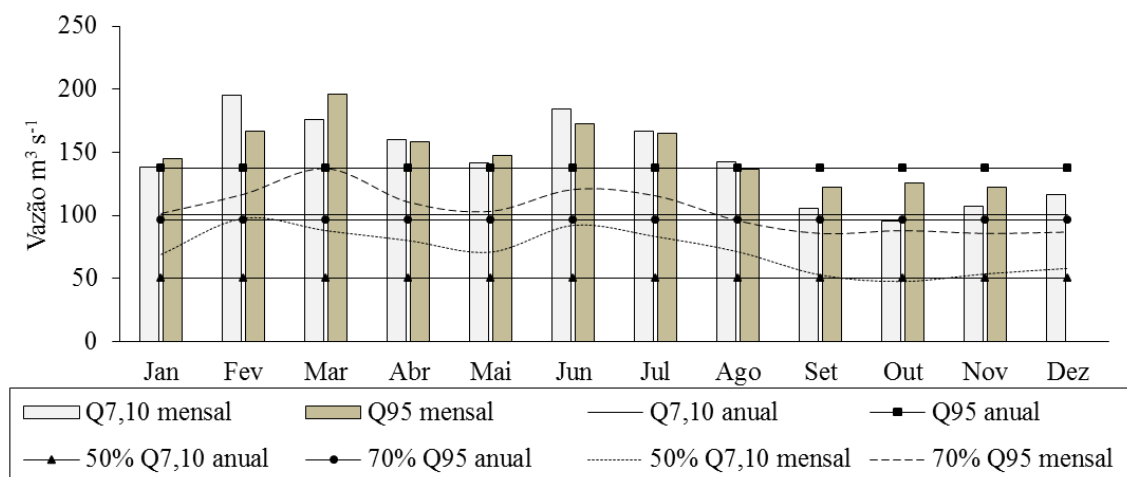


FIGURA 12. Vazões mínimas de referência ( $Q_{7,10}$  e  $Q_{95}$ ) mensais e anuais e projeção do uso de diferentes critérios de vazões máximas permissíveis para a concessão de outorga na estação Fazenda Ipacarái, no período de 1973 a 2007.

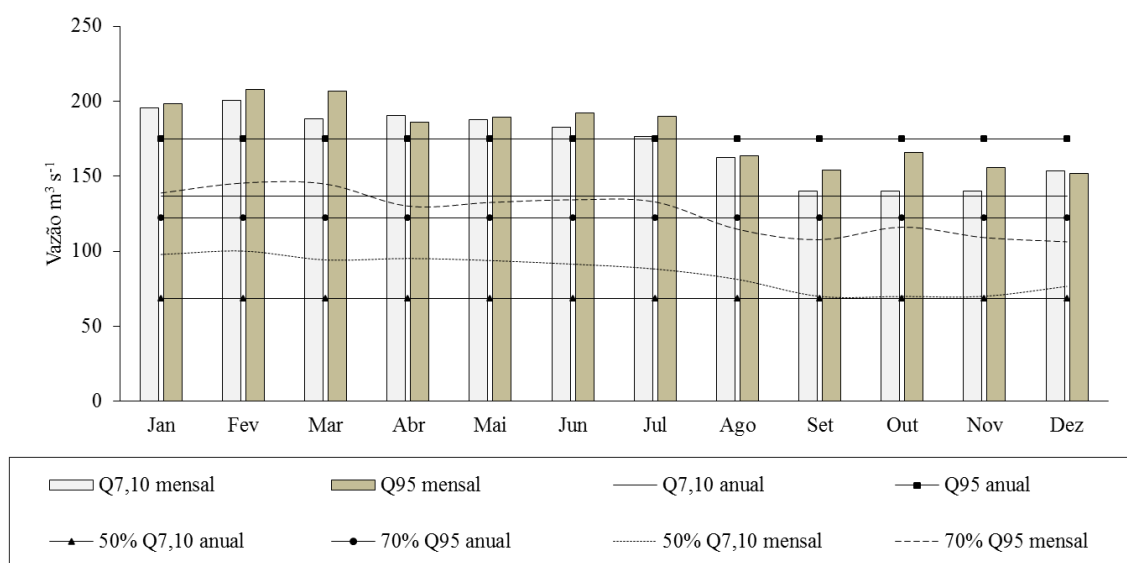


FIGURA 13. Vazões mínimas de referência ( $Q_{7,10}$  e  $Q_{95}$ ) mensais e anuais e projeção do uso de diferentes critérios de vazões máximas permissíveis para a concessão de outorga na estação Ivinhema, no período de 1973 a 2007.

Na discussão das Figuras 5 a 13 é importante ressaltar, primeiramente, que as vazões mínimas de referência para concessão de outorga apresentaram diferenças expressivas. A  $Q_{95}$  anual foi, em média, 35,0% superior em relação a  $Q_{7,10}$  anual. Considerando as projeções do uso de diferentes critérios de vazões máximas permissíveis para a concessão de outorga nas nove estações avaliadas, obtêm-se variação de até 75,9% maior quando da comparação dos critérios de 50% da  $Q_{7,10}$

mensal em relação a 50% da  $Q_{7,10}$  anual, e de 32,0% maior quando da comparação dos critérios de 70% da  $Q_{95}$  mensal em relação a 70% da  $Q_{95}$  anual.

O uso da  $Q_{7,10}$  anual tende a ser bastante restritivo durante todo o ano, uma vez que limita a vazão permissível para outorga a uma restrição evidenciada apenas em um período específico, além do fato de que a vazão máxima outorgável corresponde a apenas uma pequena parte da vazão existente no rio.

Para as nove estações estudadas, evidencia-se que o critério correspondente a concessão de outorga de 70%  $Q_{95}$  anual, em comparação com os critérios mensais, apresenta a característica de ser muito permissível nos meses em que há baixa disponibilidade hídrica (setembro, outubro e novembro), e bastante restritiva nos meses de maior disponibilidade hídrica (Figuras 5 a 13). Segundo Bof (2010), este fato pode levar a alto risco de ocorrência de condições que possam implicar até na completa seca do rio. Caso adotado o critério de concessão de outorga de 70%  $Q_{95}$  anual, a seca do rio ocorreria no mês de outubro, na estação Aroeira (Figura 10). No entanto, com a adoção desse mesmo critério em base mensal o risco de seca do rio diminui.

Analisando os meses de setembro, outubro e novembro, que correspondem aos meses mais críticos no que se refere a disponibilidade hídrica, verifica-se que 70% da  $Q_{95}$  anual aproxima-se dos valores de  $Q_{7,10}$  mensais, mas com a utilização do critério de 70% da  $Q_{95}$  mensal esse risco diminui. Na Figura 11, mês de setembro, 70%  $Q_{95}$  anual apresentou valor acima da  $Q_{7,10}$  mensal (10,3%), o que implica um alto risco que o rio seque.

Na estação Retiro Guarujá (Figura 9) pode-se observar que tanto o critério de 70% da  $Q_{95}$  anual, quanto 70% da  $Q_{95}$  mensal apresentam valores muito próximos em outubro e até mesmo acima, em maio, em relação à  $Q_{7,10}$  mensal, indicando que este pode não ser um critério satisfatório para concessão de outorga para a região, pois poderá causar problemas de disponibilidade hídrica.

De forma geral, a utilização do critério baseado nas vazões mensais potencializa um melhor plano de utilização da água, à medida que permite um maior uso da água no período em que há disponibilidade e impõe uma restrição mais realista no período crítico de disponibilidade de água. Bof (2010) ressalta o mesmo argumento apresentado neste trabalho, trabalhando com a bacia do Paracatu, em Minas Gerais.

Nas estações Aroeira e São Joaquim (Figuras 10 e 11), quando é considerado o critério de 70% da  $Q_{95}$  anual como vazão máxima permissível para

outorga, este passa a ser maior que a  $Q_{7,10}$  anual, o que implicaria a completa seca do rio por sete dias consecutivos pelo menos uma vez a cada 10 anos, uma vez que essa vazão é a menor e mais restritiva das vazões de referência, porém é a que apresenta maior garantia de ocorrência (FEPAM, 2003).

Bof et al. (2012) compararam as vazões máximas permissíveis para outorga considerando os critérios usados pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas – IGAM e pela Agência Nacional de Águas – ANA em base anual e mensal, na bacia do Paracatu, MG. Observaram que, na estação Fazenda Limoeiro, a  $Q_{95}$  anual é 47% superior à  $Q_{7,10}$  anual, fazendo com que, pelo critério de outorga de 70% da  $Q_{95}$  o valor permitido para outorga seja 3,4 vezes maior que o permitido pelo critério de 30% da  $Q_{7,10}$ .

Considerando o critério de concessão de outorga de 50% da  $Q_{7,10}$  anual, verifica-se que este critério limita excessivamente o uso dos recursos hídricos durante todo o ano, tanto nos períodos em que há grande disponibilidade, quanto naqueles em que há baixa disponibilidade hídrica. A alternativa da mudança para o critério de 50% da  $Q_{7,10}$  mensal, permite que sejam concedidas maiores vazões de outorga nos períodos em que há excedente hídrico, e menores valores nos meses em que há menor disponibilidade hídrica, tal como representado nas Figuras de 5 a 13.

A análise dos critérios de 70% da  $Q_{95}$  anual e 70% da  $Q_{95}$  mensal apresentam o mesmo comportamento da projeção de uso do critério de 50% da  $Q_{7,10}$  anual e mensal, com a diferença que as vazões permissíveis de serem outorgáveis são maiores, isso porque a  $Q_{95}$  é uma vazão com maior probabilidade de ocorrência do que a  $Q_{7,10}$ .

Fato importante que pode ser ressaltado neste estudo é que a utilização do critério baseado nas vazões mensais potencializa um melhor plano de utilização da água, à medida que permite o seu uso no período em que há disponibilidade hídrica e restringe no período de escassez hídrica, uma vez que a base mensal apresenta as características intrínsecas das vazões de cada mês.

Considerando ainda que o volume de água permissível para a outorga é representado pela área sob a curva (ou reta) relativa ao critério de outorga adotado, tem-se que, para a estação Ivinhema (Figura 13), pelo critério correspondente a 50% da  $Q_{7,10}$  anual, o volume de outorga permitido seria de 2.155,0  $\text{hm}^3$ , enquanto que para os critérios correspondentes a 70% da  $Q_{95}$  anual seria de 3.863,2  $\text{hm}^3$ , 50% da  $Q_{7,10}$  mensal podendo chegar a valores da ordem de 3.159,8  $\text{hm}^3$  (variação de 2.206,1 a

3.159,8 hm<sup>3</sup>) e, no critério de 70% da Q<sub>95</sub> mensal, valor máximo de 4.591,6 hm<sup>3</sup>; valores 1,8, 1,5 e 2,1 vezes superior ao volume máximo permitido pelo critério utilizado para concessão de outorga de 50% Q<sub>7,10</sub> anual (critério assumido em vários estados brasileiros).

No Quadro 5 é apresentada a diferença relativa percentual (Drc%) do volume total anual de água permissível para outorga, entre o critério 50% Q<sub>7,10</sub>/70% Q<sub>95</sub>, em bases anual e mensal, nas nove estações fluviométricas analisadas. Pode-se observar que o volume de água outorgado de 70% da Q<sub>95</sub> é expressivamente maior que critério de 50% da Q<sub>7,10</sub>, considerando a base anual, variando de 71,64 a 129,10%. Na base mensal a diferença entre os critérios são menores, variando de 38,3 a 56,0%, devido ao fato das diferenças entre os valores de Q<sub>7,10</sub> mensal e Q<sub>95</sub> mensal serem menores do que aquelas correspondentes aos valores anuais. Este fato mostra a maior proximidade entre os valores de Q<sub>7,10</sub> mensal e Q<sub>95</sub> mensal.

QUADRO 5. Diferença relativa percentual (Drc%) do volume total anual de água permissível para outorga, entre o critério 50% Q<sub>7,10</sub>/70% Q<sub>95</sub>, em bases anual e mensal, nas 9 estações fluviométricas analisadas

Código	Estações	Base anual		Base mensal	
		50% Q <sub>7,10</sub> /70% Q <sub>95</sub>	50% Q <sub>7,10</sub> /70% Q <sub>95</sub>	50% Q <sub>7,10</sub> /70% Q <sub>95</sub>	50% Q <sub>7,10</sub> /70% Q <sub>95</sub>
64601000	Brilhante	98,4		41,7	
64605000	Porto Rio Brilhante	100,0		55,2	
64609000	Dourados	80,0		38,3	
64610000	Porto Wilma	80,0		43,8	
64611000	Retiro Guarujá	71,6		56,0	
64613000	Aroeira	102,7		43,5	
64613800	Fazenda São Joaquim	129,1		48,1	
64614000	Fazenda Ipacarái	90,8		44,5	
64617000	Ivinhema	79,3		47,1	

Bof et al. (2012) obtiveram, para a bacia do Paracatu, resultados mais expressivos, uma vez que na base anual o volume de água permissível para outorga entre Agência Nacional de Águas – ANA (70% da Q<sub>95</sub>) e Instituto Mineiro de Gestão das Águas – IGAM (30% da Q<sub>7,10</sub>) apresentou diferença relativa que variou de 211,1 a 282,3%, e na base mensal essa diferença foi menor, variando de 110,5 a 152,8%. Vale ressaltar que atualmente o critério do outorga o IGAM passou para 50% da Q<sub>7,10</sub>, anual, tornando-se, portanto menos restritivo, fato que levaria essa diferença a variações menores.



No Quadro 6 é apresentada a diferença relativa percentual (Drb%) para as nove estações fluviométricas analisadas, onde foram avaliadas a mudança de critérios de outorga permissível de base anual para mensal. De acordo com os dados, verificou-se que a mudança do critério de outorga anual para uma projeção mensal apresentou uma variação maior no critério mudança de 50% da  $Q_{7,10}$  anual para 50% da  $Q_{7,10}$  mensal, onde as vazões mensais podem ser aumentadas em até 73,6%. A análise do critério de outorga de 70% da  $Q_{95}$  anual para 70% da  $Q_{95}$  mensal resultou em uma variação que pode ser de até 12,3% no volume outorgado. Esses valores indicam que existe uma grande variação entre os valores de outorga anual e mensal, onde os valores anuais são mais restritos, pois são outorgados valores baseados no período de maior escassez hídrica no ano. Na análise mensal, ela vai representar as características intrínsecas das vazões de cada mês. A variação do Drb% com uso do critério de 70%  $Q_{95}$  anual para mensal foi menor, pois em alguns meses as vazões da  $Q_{95}$  mensal foram menores do que a  $Q_{95}$  anual.

QUADRO 6. Diferença relativa percentual (Drb%) do volume total anual permissível para outorga entre os critérios mensal e anual, considerando os padrões 50%  $Q_{7,10}$  e 70%  $Q_{95}$ , nas 9 estações fluviométricas analisadas no estudo

Código	Estações	50% $Q_{7,10}$	70% $Q_{95}$
64601000	Brilhante	50,5	7,5
64605000	Porto Rio Brilhante	38,9	7,7
64609000	Dourados	36,1	4,5
64610000	Porto Wilma	30,8	4,5
64611000	Retiro Guarujá	14,3	3,9
64613000	Aroeira	52,2	7,8
64613800	Fazenda São Joaquim	73,6	12,3
64614000	Fazenda Ipacarái	42,8	8,1
64617000	Ivinhema	25,4	2,9

No estudo realizado por Bof et al. (2012), os resultados foram mais relevantes, já que considerando o critério da ANA (70% da  $Q_{95}$  anual), quando da mudança para o critério de 70% da  $Q_{95}$  mensal, houve um aumento do volume máximo permissível para outorga que variou de 26,7% a 67,1%.

Nas Figuras 14 e 15 estão representados os gráficos da amplitude de variação da diferença relativa entre as vazões  $Q_{7,10}$  e  $Q_{95}$  mensal e anual, considerando as estações fluviométricas estudadas. As vazões  $Q_{7,10}$  mensais apresentaram valores superiores à  $Q_{7,10}$  anual em todos os meses e estações, caracterizando o potencial do aumento da vazão permissível para outorga, fato ainda mais acentuado no período de

dezembro a abril, em que os aumentos foram sempre superiores a 40%, com exceção da estação Retiro Guarujá em que apresentou valores de  $Q_{7,10}$  mensais menores do que a  $Q_{7,10}$  anual em alguns meses.

No caso da  $Q_{95}$  (Figura 15), no período de agosto a janeiro e maio, observam-se valores negativos de diferença relativa (valores de vazões em que a  $Q_{95}$  anual é maior que a  $Q_{95}$  mensal). Embora impliquem em uma redução da vazão máxima permissível para outorga nestes meses, traz como benefício, maior segurança ambiental, à medida que o uso de 70% da  $Q_{95}$  anual conduz a valores que se aproximam da própria  $Q_{7,10}$  mensal.

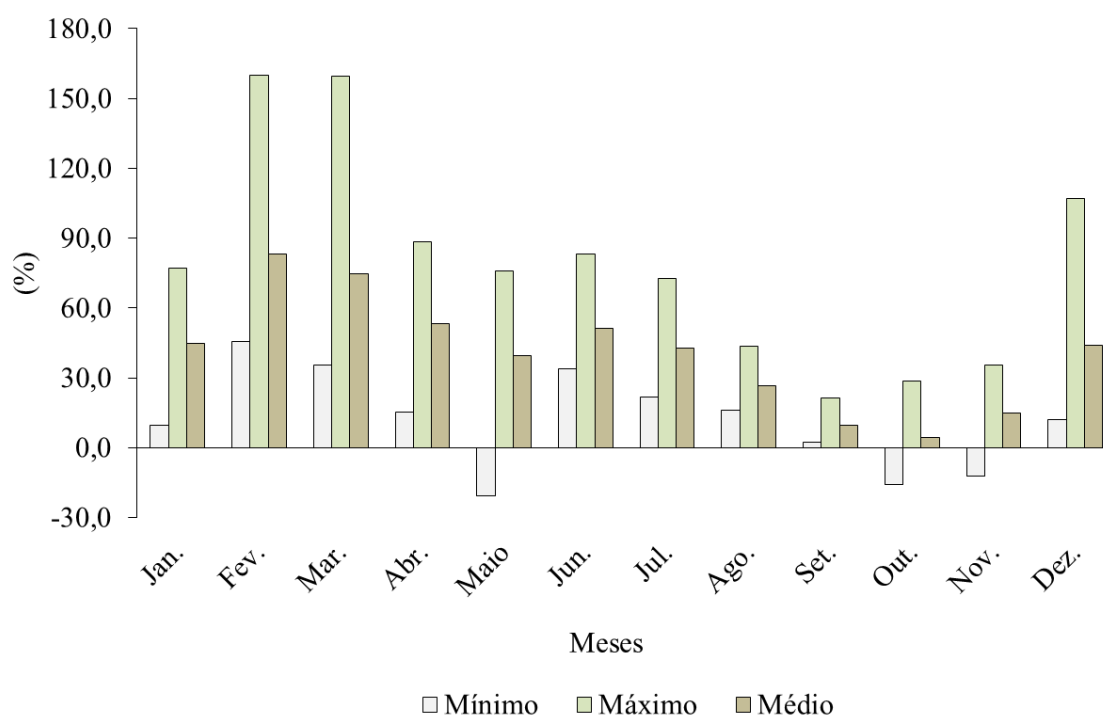


FIGURA 14. Amplitude de variação  $Q_{7,10}$  mensal/anual.

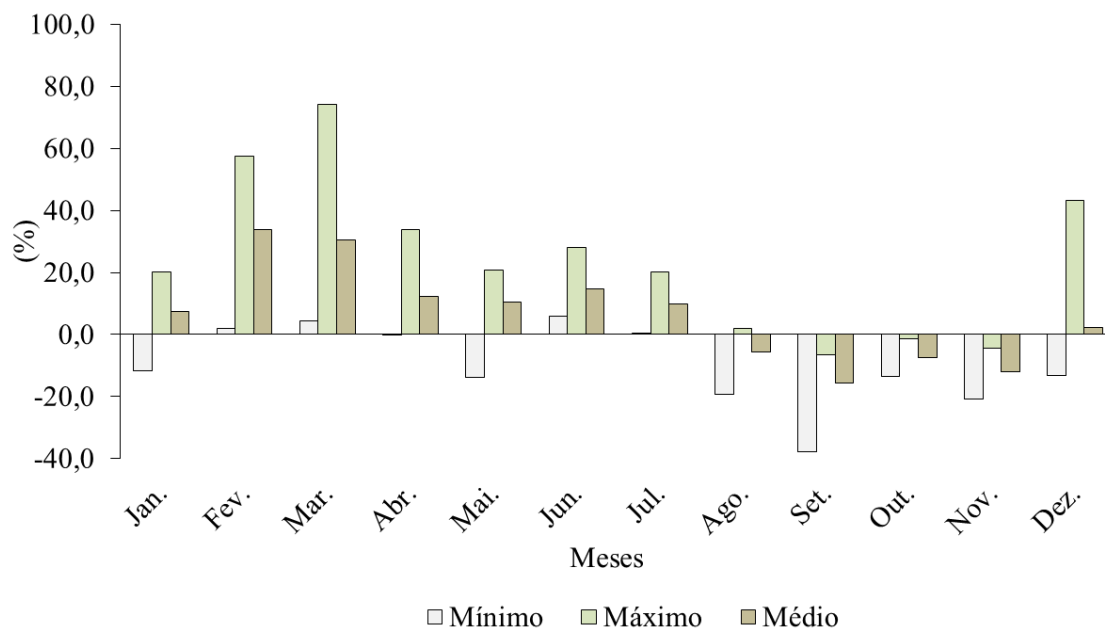


FIGURA 15. Amplitude de variação  $Q_{95}$  mensal/anual.

Além dos usos das vazões mínimas estimadas em base anual representar restrição única para todo o ano, há ainda o fato de que o período de maior demanda pelos recursos hídricos nem sempre coincide com o período de menor disponibilidade hídrica (BOF, 2010). Este fato implica em maiores quantidades de trabalhos de quantificação de disponibilidade hídrica, no entanto, a mudança do critério de outorga de base anual para base mensal resulta em alto potencial para aumento da vazão máxima outorgável.

Nos Quadros 7, 8 e 9, são apresentados os modelos de regressão propostos para a representação das vazões mínimas  $Q_{7,10}$  e  $Q_{95}$ , em base anual e mensal, para o rio principal e afluentes principais da bacia do Ivinhema. Observa-se, para o rio Ivinhema, rio Dourados e rio Vacaria bom ajuste com modelo do tipo potencial, com coeficiente de determinação superior a 0,94. Embora as equações obtidas apresentem ajuste do tipo potencial, elas possuem, em função dos valores dos expoentes, muito próximos à unidade, comportamento similar ao linear, caracterizando um aumento aproximadamente constante das vazões com o incremento da área de drenagem.

Arai (2010) obteve as equações de regionalização da  $Q_{7,10}$ ,  $Q_{95}$  e  $Q_{90}$  anual, em função da área de drenagem no rio principal da bacia hidrográfica do Ivinhema, e os resultados são semelhantes aos encontrados no trabalho.

QUADRO 7. Equações utilizadas para a regionalização das  $Q_{7,10}$  e  $Q_{95}$ , mensais e anuais, para o rio Ivinhema

Rio	Vazões mínimas	Meses	Modelos recomendados	Coefficiente de determinação ( $R^2$ )
Ivinhema	$Q_{7,10}$	Anual	$Q_{7,10} = 0,00104177 \text{ Ad}^{1,13736711}$	0,9873
		Jan	$Q_{7,10} = 0,00417061 \text{ Ad}^{1,02738240}$	0,9942
		Fev	$Q_{7,10} = 0,00446535 \text{ Ad}^{1,04570976}$	0,9908
		Mar	$Q_{7,10} = 0,00424254 \text{ Ad}^{1,04350790}$	0,9887
		Abr	$Q_{7,10} = 0,00219375 \text{ Ad}^{1,10181727}$	0,9978
		Mai	$Q_{7,10} = 0,00116994 \text{ Ad}^{1,14574319}$	0,9948
		Jun	$Q_{7,10} = 0,00128556 \text{ Ad}^{1,15026480}$	0,9971
		Jul	$Q_{7,10} = 0,00239883 \text{ Ad}^{1,08383897}$	0,9983
		Ago	$Q_{7,10} = 0,00082663 \text{ Ad}^{1,18058198}$	0,9958
		Set	$Q_{7,10} = 0,00112402 \text{ Ad}^{1,13254486}$	0,9844
		Out	$Q_{7,10} = 0,00234301 \text{ Ad}^{1,05187115}$	0,9809
		Nov	$Q_{7,10} = 0,00420069 \text{ Ad}^{0,99636053}$	0,9891
	Dez	$Q_{7,10} = 0,00907628 \text{ Ad}^{0,93437503}$	0,9457	
	$Q_{95}$	Anual	$Q_{95} = 0,00226997 \text{ Ad}^{1,08665960}$	0,9938
		Jan	$Q_{95} = 0,00441778 \text{ Ad}^{1,02842682}$	0,9905
		Fev	$Q_{95} = 0,00752124 \text{ Ad}^{0,99444565}$	0,9902
		Mar	$Q_{95} = 0,00652375 \text{ Ad}^{0,99668401}$	0,9945
		Abr	$Q_{95} = 0,00289729 \text{ Ad}^{1,07237509}$	0,9962
		Mai	$Q_{95} = 0,00338641 \text{ Ad}^{1,05627284}$	0,9812
		Jun	$Q_{95} = 0,00206634 \text{ Ad}^{1,11037504}$	0,9956
		Jul	$Q_{95} = 0,00151633 \text{ Ad}^{1,13792991}$	0,9972
		Ago	$Q_{95} = 0,00148415 \text{ Ad}^{1,12346670}$	0,9975
		Set	$Q_{95} = 0,00064238 \text{ Ad}^{1,19617384}$	0,9907
		Out	$Q_{95} = 0,00231615 \text{ Ad}^{1,07813111}$	0,9908
Nov		$Q_{95} = 0,00313996 \text{ Ad}^{1,04042093}$	0,9991	
Dez	$Q_{95} = 0,00437934 \text{ Ad}^{1,00558585}$	0,9984		

QUADRO 8. Equações utilizadas para a regionalização das  $Q_{7,10}$  e  $Q_{95}$ , mensais e anuais, para o rio Dourados

Rio	Vazões mínimas	Meses	Modelos recomendados	Coefficiente de determinação ( $R^2$ )
Dourados	$Q_{7,10}$	Anual	$Q_{7,10} = 0,00384340 \text{ Ad}^{1,03291937}$	0,9999
		Jan	$Q_{7,10} = 0,05282721 \text{ Ad}^{0,77411160}$	0,9999
		Fev	$Q_{7,10} = 0,00547553 \text{ Ad}^{1,04350253}$	0,9999
		Mar	$Q_{7,10} = 0,03139347 \text{ Ad}^{0,83491909}$	0,9999
		Abr	$Q_{7,10} = 0,00691087 \text{ Ad}^{1,00294508}$	0,9999
		Mai	$Q_{7,10} = 0,07861584 \text{ Ad}^{0,72943970}$	0,9998
		Jun	$Q_{7,10} = 0,00918226 \text{ Ad}^{0,97937795}$	0,9999
		Jul	$Q_{7,10} = 0,01336008 \text{ Ad}^{0,93131782}$	0,9999
		Ago	$Q_{7,10} = 0,00841844 \text{ Ad}^{0,97364883}$	0,9999
		Set	$Q_{7,10} = 0,03926697 \text{ Ad}^{0,77892211}$	0,9999
		Out	$Q_{7,10} = 0,03973064 \text{ Ad}^{0,77415403}$	0,9999
		Nov	$Q_{7,10} = 0,01649797 \text{ Ad}^{0,88533638}$	0,9999
	Dez	$Q_{7,10} = 0,04181234 \text{ Ad}^{0,78942550}$	0,9999	
	$Q_{95}$	Anual	$Q_{95} = 0,01081656 \text{ Ad}^{0,94588108}$	0,9999
		Jan	$Q_{95} = 0,04672523 \text{ Ad}^{0,78329819}$	0,9999
		Fev	$Q_{95} = 0,02928207 \text{ Ad}^{0,83561503}$	0,9999
		Mar	$Q_{95} = 0,06282971 \text{ Ad}^{0,75826096}$	0,9998
		Abr	$Q_{95} = 0,01623559 \text{ Ad}^{0,90268634}$	0,9999
		Mai	$Q_{95} = 0,00213503 \text{ Ad}^{1,14276395}$	0,9999
		Jun	$Q_{95} = 0,00226438 \text{ Ad}^{1,14163135}$	0,9999
		Jul	$Q_{95} = 0,00296473 \text{ Ad}^{1,10606902}$	0,9999
		Ago	$Q_{95} = 0,00606862 \text{ Ad}^{1,01556416}$	0,9999
		Set	$Q_{95} = 0,02786319 \text{ Ad}^{0,82823702}$	0,9999
		Out	$Q_{95} = 0,00622095 \text{ Ad}^{0,99680888}$	0,9999
Nov		$Q_{95} = 0,00385462 \text{ Ad}^{1,05135680}$	0,9999	
Dez	$Q_{95} = 0,01836989 \text{ Ad}^{0,87265264}$	0,9999		

QUADRO 9. Equações utilizadas para a regionalização das  $Q_{7,10}$  e  $Q_{95}$ , mensais e anuais, para o rio Vacaria

Rio	Vazões mínimas	Meses	Modelos recomendados	Coefficiente de determinação ( $R^2$ )
Vacaria	$Q_{7,10}$	Anual	$Q_{7,10} = 0,00532474 \text{ Ad}^{0,92099638}$	0,9999
		Jan	$Q_{7,10} = 0,00002176 \text{ Ad}^{1,63125201}$	0,9982
		Fev	$Q_{7,10} = 0,00021599 \text{ Ad}^{1,38293653}$	0,9991
		Mar	$Q_{7,10} = 0,00004387 \text{ Ad}^{1,56342198}$	0,9984
		Abr	$Q_{7,10} = 0,00025637 \text{ Ad}^{1,34062915}$	0,9992
		Mai	$Q_{7,10} = 0,00005023 \text{ Ad}^{1,52842479}$	0,9986
		Jun	$Q_{7,10} = 0,00003043 \text{ Ad}^{1,58019205}$	0,9984
		Jul	$Q_{7,10} = 0,00005597 \text{ Ad}^{1,50439074}$	0,9987
		Ago	$Q_{7,10} = 0,00009164 \text{ Ad}^{1,42986312}$	0,9989
		Set	$Q_{7,10} = 0,00232942 \text{ Ad}^{1,02998711}$	0,9999
		Out	$Q_{7,10} = 0,00000863 \text{ Ad}^{1,69190674}$	0,9981
		Nov	$Q_{7,10} = 0,00187694 \text{ Ad}^{1,07117430}$	0,9999
	Dez	$Q_{7,10} = 0,00483493 \text{ Ad}^{0,99434454}$	0,9999	
	$Q_{95}$	Anual	$Q_{95} = 0,00045223 \text{ Ad}^{1,25829852}$	0,9995
		Jan	$Q_{95} = 0,00001052 \text{ Ad}^{1,71431872}$	0,9980
		Fev	$Q_{95} = 0,00737245 \text{ Ad}^{0,96752640}$	0,9999
		Mar	$Q_{95} = 0,00002502 \text{ Ad}^{1,63082987}$	0,9983
		Abr	$Q_{95} = 0,00016078 \text{ Ad}^{1,39711028}$	0,9991
		Mai	$Q_{95} = 0,00002391 \text{ Ad}^{1,62154004}$	0,9983
		Jun	$Q_{95} = 0,00000795 \text{ Ad}^{1,73993830}$	0,9979
		Jul	$Q_{95} = 0,00003697 \text{ Ad}^{1,56222829}$	0,9985
		Ago	$Q_{95} = 0,00012709 \text{ Ad}^{1,39585242}$	0,9991
		Set	$Q_{95} = 0,00341355 \text{ Ad}^{0,99865221}$	0,9999
		Out	$Q_{95} = 0,00002189 \text{ Ad}^{1,60216276}$	0,9984
Nov		$Q_{95} = 0,00151677 \text{ Ad}^{1,10254399}$	0,9999	
Dez	$Q_{95} = 0,00160547 \text{ Ad}^{1,10269807}$	0,9999		

#### 4.2. Variação entre as vazões máximas permissíveis para outorga considerando-se os períodos trimestral e anual

Na subdivisão do ano hidrológico em trimestres, utilizou-se a análise do comportamento das vazões médias ao longo do ano. Observou-se que o início do aumento dos valores observados, nas vazões fluviométricas estudadas, ocorre no mês de setembro. Desta forma, considerou-se o ano hidrológico como tendo início no mês de setembro e término no mês de agosto do ano seguinte. Portanto, tem-se a subdivisão em trimestres, dando início no primeiro mês do ano hidrológico (Figura 16).

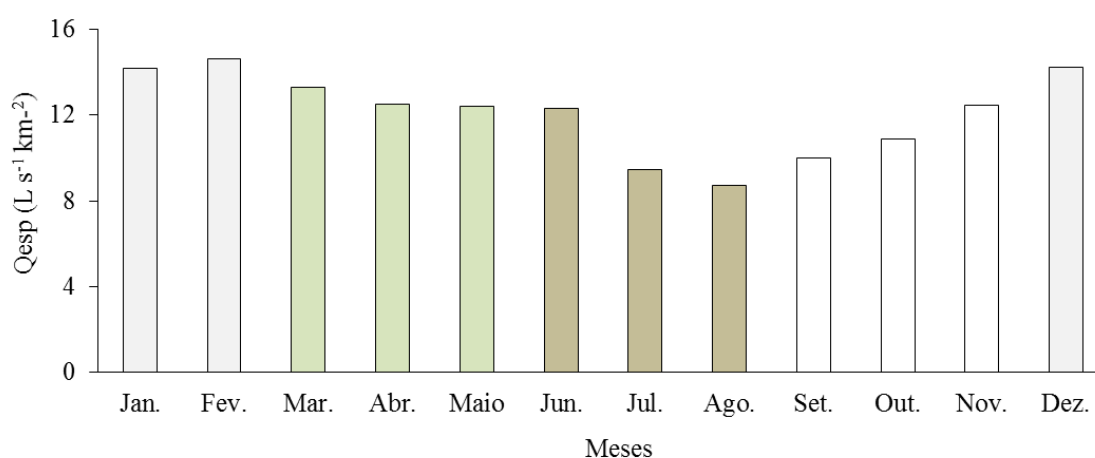


FIGURA 16. Análise da distribuição de vazões específicas médias ( $Q_{esp}$ ) ao longo do ano, na bacia do rio Ivinhema.

Gomes et al. (2009) ressaltam que neste tipo de subdivisão o primeiro mês do início do ano hidrológico, e que vai dar início ao primeiro trimestre (Set./Out./Nov.), o mês de setembro será sempre mais seco que os meses subsequentes, o que implica baixa flexibilidade na disponibilidade hídrica no primeiro trimestre, uma vez que a vazão mínima, neste caso, sempre ocorrerá no mês de setembro.

No Quadro 10 estão apresentadas os resultados das vazões específicas de  $Q_{7,10}$  e  $Q_{95}$  para cada trimestre e também na base anual para os postos fluviométricos avaliados, permitindo-se verificar a flexibilidade média trimestral em relação ao anual nas vazões de referência para estudo de outorga de uso dos recursos hídricos (Quadro 11).

QUADRO 10. Vazões específicas médias de referência para outorga na bacia do rio Ivinhema, adotando-se o período trimestral ( $L s^{-1} km^{-2}$ ), considerando todas as estações

Trimestres	Vazões de referência	
	$Q_{7,10}$	$Q_{95}$
1. Set./Out./Nov.	3,92	4,65
2. Dez./Jan./Fev.	4,51	5,72
3. Mar./Abr./Maio	5,38	6,04
4. Jun./Jul./Ago.	4,95	5,54
Ano hidrológico	3,95	5,38

QUADRO 11. Flexibilidade média trimestral (%) nas vazões mínimas de referência, adotando-se o período trimestral em comparação com as vazões de referência de estudo de outorga anual

Trimestres	Vazões de referência	
	$Q_{7,10}$	$Q_{95}$
1. Set./Out./Nov.	-0,7	-13,6
2. Dez./Jan./Fev.	14,2	6,3
3. Mar./Abr./Maio	36,2	12,3
4. Jun./Jul./Ago.	25,4	3,1

No primeiro trimestre, os valores de vazões específicas médias para outorga  $Q_{7,10}$  e  $Q_{95}$  foram menores do que os valores anuais. Essa diferença foi bem mais expressiva para os valores de  $Q_{95}$  (Quadro 10). Este fato se explica devido ao achatamento da curva de permanência quando da diminuição do período de análise, o que necessita de maior número de dados para traçá-la. Entretanto, era esperado uma flexibilidade positiva em todos os trimestres. Isso ocorre porque esses valores foram estimados por diferentes distribuições de probabilidade e, dessa forma, as variações encontradas podem ser acima ou abaixo da referência.

A flexibilidade média trimestral no segundo, terceiro e quarto trimestres apresentou considerável aumento, principalmente em comparação com os valores de  $Q_{7,10}$  do período anual (Quadro 11). Assim, a adoção da vazão mínima de referência  $Q_{7,10}$  com base no período trimestral proporcionou aumentos na disponibilidade hídrica em três dos quatro trimestres, tornando possível flexibilizar o processo de outorga dos recursos hídricos.

Fato interessante é que o segundo trimestre coincide com os meses mais chuvosos do ano na região estudada e não é o trimestre que representa a maior flexibilidade das vazões mínimas. Isso pode ser justificado pelo conceito de inércia hídrica (NOVAES, 2005), que corresponde à precipitação mínima necessária para



garantir a recarga do aquífero freático e, assim garantir escoamento no leito do rio advindo da contribuição subterrânea. Arai (2010) em estudo sobre as precipitações médias mensais na área de drenagem da bacia do Ivinhema observou aumento nas precipitações a partir do mês de agosto, portanto não coincidindo com o início do ano hidrológico.

No primeiro trimestre os valores de  $Q_{7,10}$  e  $Q_{95}$  foram menores do que os anuais. Entretanto era esperado uma flexibilidade positiva em todos os trimestres. No entanto, houve situações em que a  $Q_{7,10}$  ficou abaixo da  $Q_{7,10}$  anual. Isso ocorre porque esses valores foram estimados por diferentes distribuições de probabilidade e, dessa forma, as variações encontradas podem ser acima ou abaixo da referência, que é a  $Q_{7,10}$  anual.

Em relação a  $Q_{95}$  a variação negativa foi bem mais expressiva, não ocorrendo flexibilidade. Este fato se explica devido ao achatamento da curva de permanência quando da diminuição do período de análise, o que necessita de maior número de dados para traçá-la.

Em relação a  $Q_{95}$  foi observado flexibilidade expressiva apenas no terceiro trimestre (Mar./Abr./Maio), com variação de 12,3% quando comparado ao período anual de dados.

### **4.3. Variação entre as vazões máximas permissíveis para outorga considerando-se os períodos quadrimestral e anual**

#### **4.3.1. 1º Princípio: as médias descontam tudo**

No Quadro 12 apresentam-se as vazões específicas médias, mínimas e máximas, considerando todas as estações estudadas, destacando-se as vazões nos meses em que a consideração das vazões específicas médias comprometeria a flexibilidade da outorga pelo efeito da atenuação da média. No mês de agosto tem-se um valor médio inferior em 17,7% e 60,5% quando comparado aos meses de julho e fevereiro, respectivamente. Sendo assim, o semestre seco se estende de agosto a janeiro. Ao se observar as vazões específicas mínimas, o mês de fevereiro apresenta uma variação 21,7% maior que a vazão mínima de agosto. Este comportamento se deve a vazões máximas mais expressivas em fevereiro (variação de 94,8%, quando

comparado a agosto), responsáveis por fixar o valor da média acima do que é observado em agosto.

QUADRO 12. Média das vazões específicas médias, mínimas e máximas de todas as estações

Qesp <sup>1</sup> (L s <sup>-1</sup> km <sup>-2</sup> )	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Média	6,7	8,1	7,9	6,6	6,8	6,6	5,9	5,0	4,7	5,4	5,4	6,5
Mínima	4,5	5,6	5,9	5,4	5,1	5,6	5,2	4,6	4,0	4,1	4,1	4,6
Máxima	9,9	11,3	11,3	9,2	9,8	8,0	7,6	5,8	5,7	7,4	8,5	9,5

<sup>1</sup> Vazão específica

#### 4.3.2. 2º Princípio: o regime hidrológico tem três tendências

Com a classificação em tendências buscou-se agrupar os meses com comportamentos hidrológicos semelhantes em disponibilidade hídrica. Foram agrupados os quadrimestres com menores valores de médias mínimas, configurando assim, o período de tendências de mínimas, ou seja, o quadrimestre definido como seco. Deste modo, tem-se a divisão do ano civil nos quadrimestres de tendência normal, definido como quadrimestre normal; quadrimestre de tendência mínima definido como quadrimestre seco, e de tendência máxima, definido como quadrimestre chuvoso, tal como disposto no Quadro 13.

QUADRO 13. Divisão do regime hidrológico em tendências de disponibilidade hídrica

Quadrimestres	Meses
Normal	Mai – Junho – Julho - Agosto
Seco	Setembro – Outubro – Novembro - Dezembro
Chuvoso	Janeiro – Fevereiro – Março - Abril

Do mesmo modo que foram agrupados os quadrimestres, foi possível determinar o semestre seco e o semestre chuvoso, conforme apresentado no Quadro 14. O semestre seco tem início em agosto, que possui um valor menor de média mínima

que julho e finaliza no mês de janeiro, que possui um valor de média mínima inferior ao mês de fevereiro.

QUADRO 14. Divisão do regime hidrológico em semestres de mesma tendência

Semestre	Meses
Seco	Agosto – Setembro – Outubro – Novembro – Dezembro - Janeiro
Chuvoso	Fevereiro – Março – Abril – Maio – Junho - Julho

#### 4.3.3. 3º Princípio: as tendências ocorrem em três fases

A Figura 17 apresenta a movimentação dos períodos seco, normal e chuvoso, segundo as três tendências esperadas. A fase de movimento no sentido da tendência ocorre em um período curto, de um mês, seguido de dois meses de estabilização e um mês onde ocorre a reversão e os valores das vazões caem ou se elevam no sentido contrário à tendência original, rumo à tendência seguinte (SILVA, 2012).

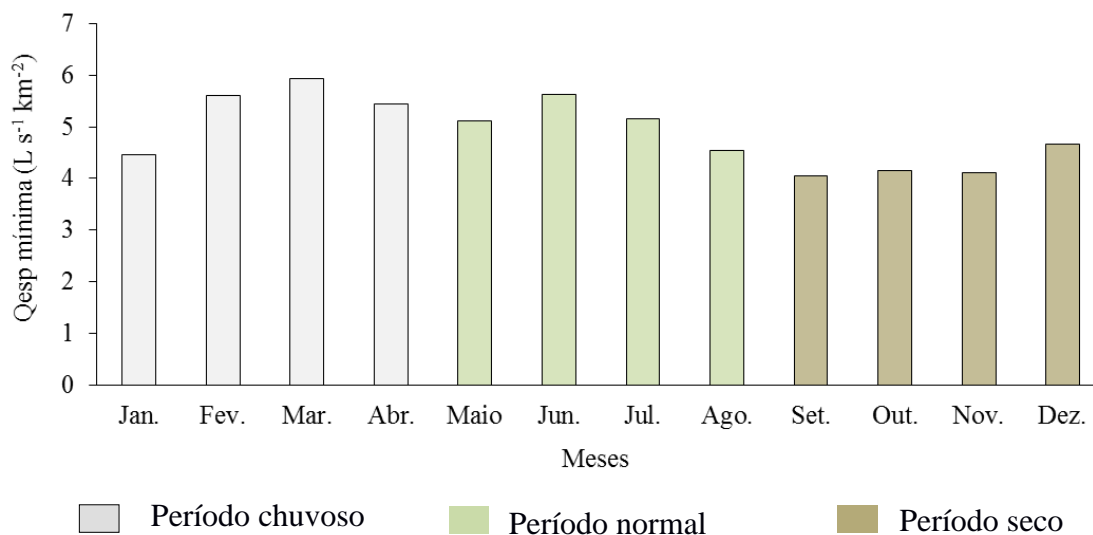


FIGURA 17. Divisão sazonal do regime hidrológico.

#### **4.3.4. 4º Princípio: as médias devem confirmar as tendências**

Foram comparadas as  $Q_7$  referentes ao período sazonal (quadrimestral e semestral) em relação ao período anual em cada uma das estações. Foi possível observar que algumas estações apresentam, no período seco, valor de  $Q_7$  superior ao valor anual, exemplo do que ocorre nas estações 64611000, 64610000 e 64605000, conforme o Quadro 15. Tal fato pode ser explicado pela ocorrência da  $Q_7$  anual em um período diferente do quadrimestre classificado como seco.

QUADRO 15. Vazão específica ( $L s^{-1} km^{-2}$ ) anual e nos quadrimestres e semestres, e suas diferenças percentuais médias da  $Q_7$  sazonal em comparação com a  $Q_7$  anual

Código Estações	Anual	Quadrimestre						Semestre			
		Seco	Var%	Normal	Var%	Chuvoso	Var%	Seco	Var%	Chuvoso	Var (%)
<b>64617000</b>	3,9	3,9	0,0	4,5	17,4	3,9	0,0	3,9	0,0	5,0	29,3
<b>64614000</b>	3,7	3,7	0,0	4,6	25,9	4,5	23,4	3,7	0,0	4,8	31,6
<b>64613800</b>	2,1	2,1	0,0	3,5	68,8	3,8	83,0	2,1	0,0	3,7	76,8
<b>64613000</b>	1,8	1,8	0,1	3,1	70,5	3,3	82,2	1,8	0,1	3,4	89,0
<b>64611000</b>	4,0	4,8	19,8	5,7	43,6	4,6	16,9	4,6	16,9	5,7	43,6
<b>64610000</b>	5,1	5,6	9,1	5,3	4,4	5,1	0,3	5,2	0,9	5,1	0,3
<b>64609000</b>	5,1	5,1	0,0	6,6	28,2	6,1	17,9	5,1	0,0	6,7	31,0
<b>64605000</b>	2,9	4,0	36,1	2,9	0,0	4,7	59,0	4,0	36,1	2,9	0,0
<b>64601000</b>	2,7	2,7	0,0	3,1	13,9	3,9	44,0	2,7	0,0	4,5	66,5
<b>Médias</b>			<b>7,2</b>		<b>30,3</b>		<b>36,3</b>	<b>3,7</b>	<b>6,0</b>	<b>4,6</b>	<b>40,9</b>

#### 4.3.5. 5º Princípio: os riscos comprovam a tendência

A avaliação mensal da frequência de ocorrência dos valores de  $Q_7$  anual confirmou a classificação dos meses nas tendências propostas. A Figura 18 apresenta as porcentagens de  $Q_7$  relacionadas aos quadrimestres. O período seco concentra aproximadamente 62,8% das ocorrências de  $Q_7$  anual, ou seja, existe em média 62,8% de risco para a ocorrência dos sete dias consecutivos mais secos do ano ocorrerem nos meses de setembro a dezembro. No período chuvoso o risco é de 21% de ocorrência de um evento de  $Q_7$ , já nos meses do período normal (maio a agosto), este risco é de aproximadamente 17,0%. Arai et al. (2010) estudaram a ocorrência de “veranicos” na cidade de Dourados – MS, verificando que os “veranicos” ocorrem em maior proporção na segunda quinzena dos meses de outubro a março, embora sejam os meses com maior precipitação.

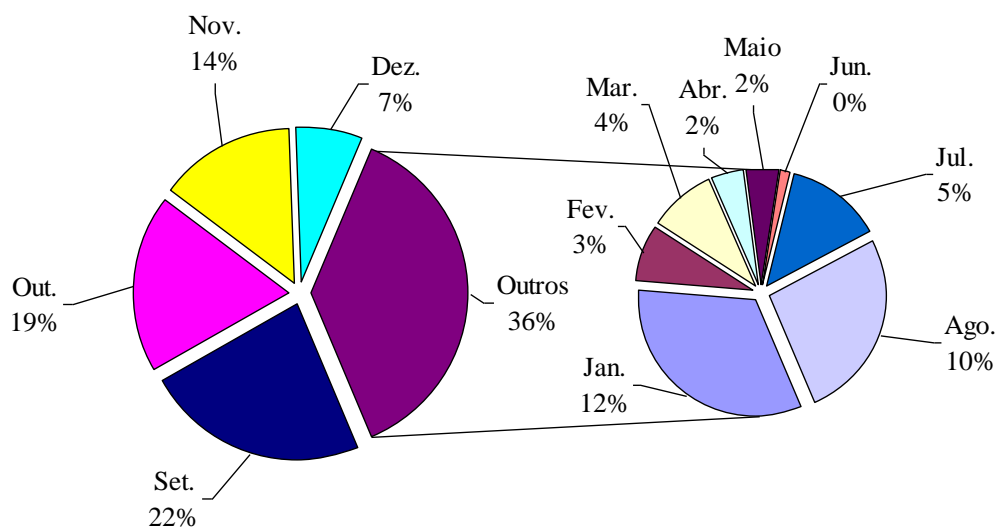


FIGURA 18. Análise de frequência das ocorrências de  $Q_7$  ao longo do ano e a porcentagem relacionada aos meses com destaque para o quadrimestre seco.

A Figura 19 apresenta a frequência de ocorrência de eventos de  $Q_7$  nos semestres chuvoso e seco, sendo estes de 15,2% e 84,8%, respectivamente. Segundo Marques (2006), o estudo de frequência é crítico para a confirmação dos períodos sazonais, mas não definitivo.

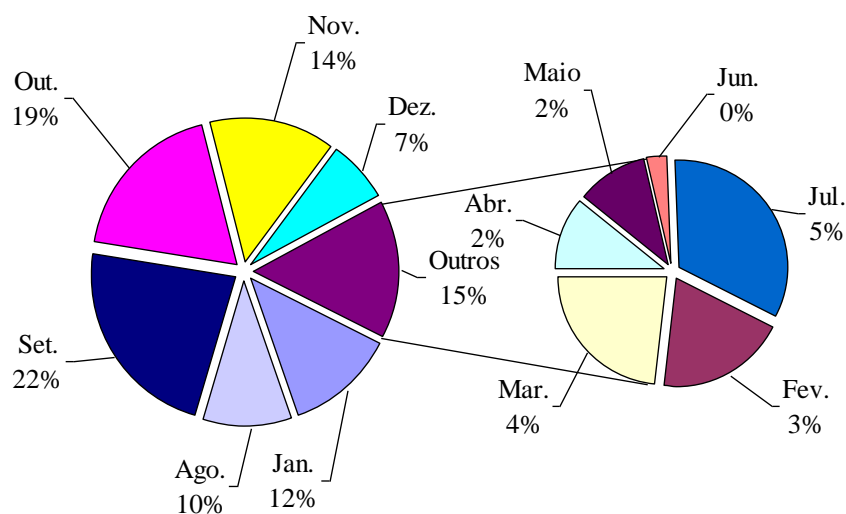
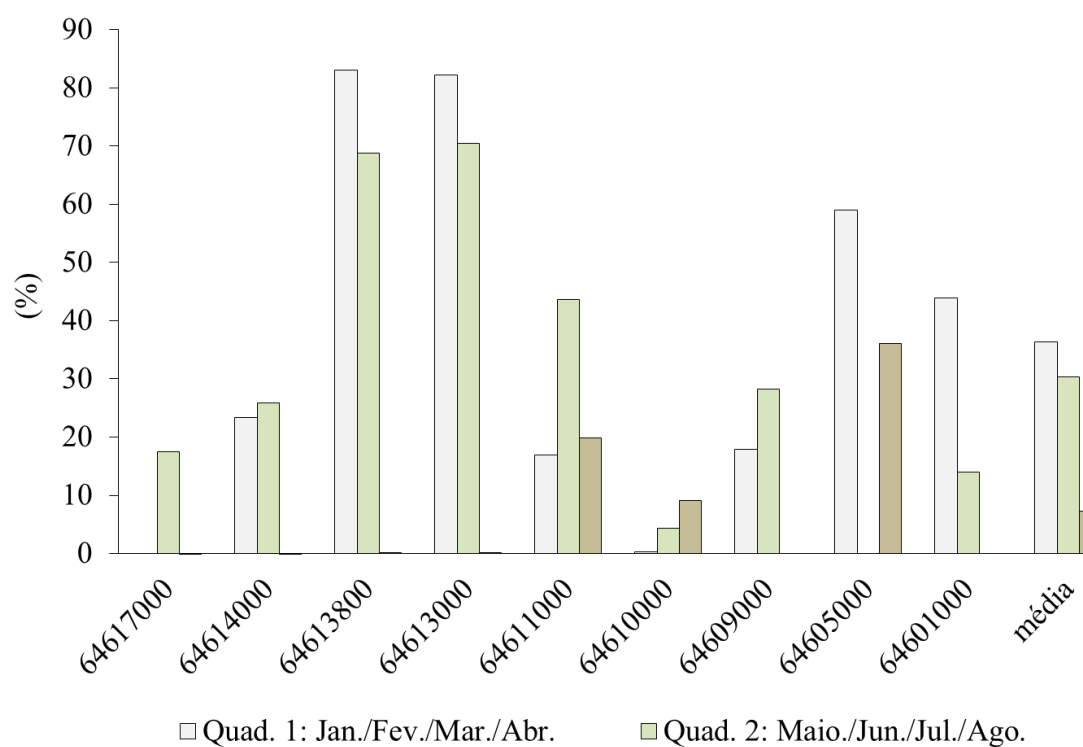


FIGURA 19. Análise de frequência das ocorrências de Q<sub>7</sub> ao longo do ano e a porcentagem relacionada aos meses com destaque para o semestre seco.

A Figura 20 mostra que em todas as estações existe uma flexibilidade na concessão de outorga nos quadrimestres e semestres, onde esses valores são mais acentuados em umas estações do que em outras. Na média de todas as estações, as vazões do quadrimestre seco, normal e chuvoso podem ser aumentadas em 7,2%, 30,3% e 36,3% (Figura 20a). Já em uma análise semestral (Figura 20b), verifica-se uma flexibilidade média de, aproximadamente, 5% para o semestre chuvoso. Com relação ao semestre seco é necessário tomar certas precauções, uma vez que apenas duas estações apresentaram a flexibilidade, sendo que na estação 64605000 foi possível uma concessão de vazão (acima de 35%) no segundo semestre (semestre seco) em relação ao anual.

A.



B.

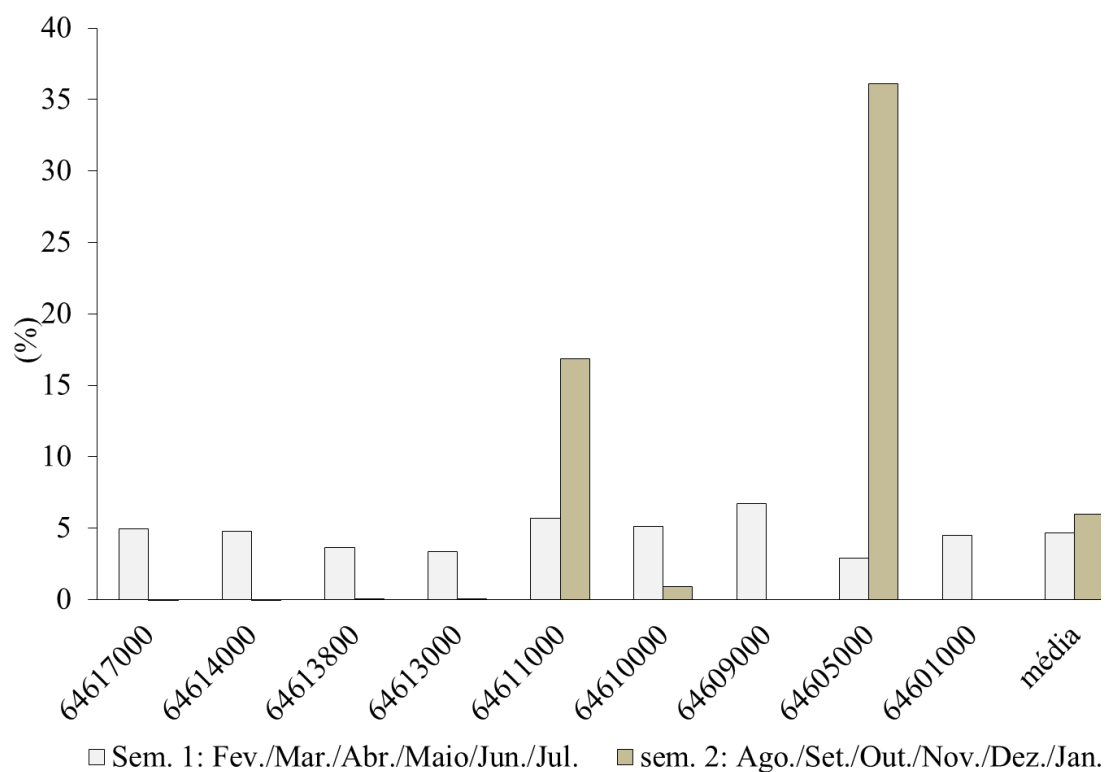


FIGURA 20. Flexibilidade de concessão de outorga em relação ao anual, sendo: a) períodos quadrimestrais, e b) períodos semestrais.



#### 4.3.6. 6º Princípio: as tendências são confirmadas pela flexibilidade das vazões mínimas

Ao adotar a sazonalidade das tendências identificadas na bacia hidrográfica do rio Ivinhema, a flexibilidade deve ser confirmada pela comparação entre as vazões mínimas de referência obtidas com base em cada período e a vazão de referência de base anual, conforme requer o 6º princípio.

Como apresentado nos Quadros 16 e 17, ocorreram flexibilização na adoção dos períodos sazonais. O quadrimestre chuvoso e normal e o semestre chuvoso apresentaram flexibilidade média para a  $Q_{7,10}$  de 31,2%; 23,4% e 34,7%, respectivamente. No entanto, não houve flexibilização tanto no quadrimestre seco como no semestre seco, uma vez que, poucos eventos de  $Q_7$  ocorreram fora deste período.

QUADRO 16. Diferença percentual média das vazões quadrimestrais em relação a vazão anual correspondente, referente a todas as estações

Quadrimestres	Vazões de referência	
	$Q_{7,10}$	$Q_{95}$
Jan./Fev./Mar./Abr. (Chuvoso)	31,2	12,4
Mai./Jun./Jul./Ago. (Normal)	23,4	7,8
Set./Out./Nov./Dez. (Seco)	-2,3	-11,9

QUADRO 17. Diferença percentual média das vazões semestrais em relação a vazão anual correspondente, referente a todas as estações

Semestres	Vazões de referência	
	$Q_{7,10}$	$Q_{95}$
Fev./Mar./Abr./Mai./Jun./Jul. (Chuvoso)	34,7	12,5
Ago./Set./Out./Nov./Dez./Jan. (Seco)	-0,3	-9,3

Embora o quadrimestre seco e o semestre seco não apresentem flexibilidade na vazão sazonal em relação com a anual, a análise entre os períodos sazonais e as estações (Figura 21), foi possível observar que a estação 64605000 (Porto Rio Brilhante) apresentou flexibilidade no quadrimestre seco e semestre seco em relação às outras estações. A estação 64610000 (Porto Wilma), por exemplo, apresentou flexibilidade no quadrimestre seco. Este fato ocorre devido ocorrerem

valores de  $Q_7$  fora do quadrimestre seco e semestre seco e, conseqüentemente, apresentam vazões maiores que as vazões de base anual.

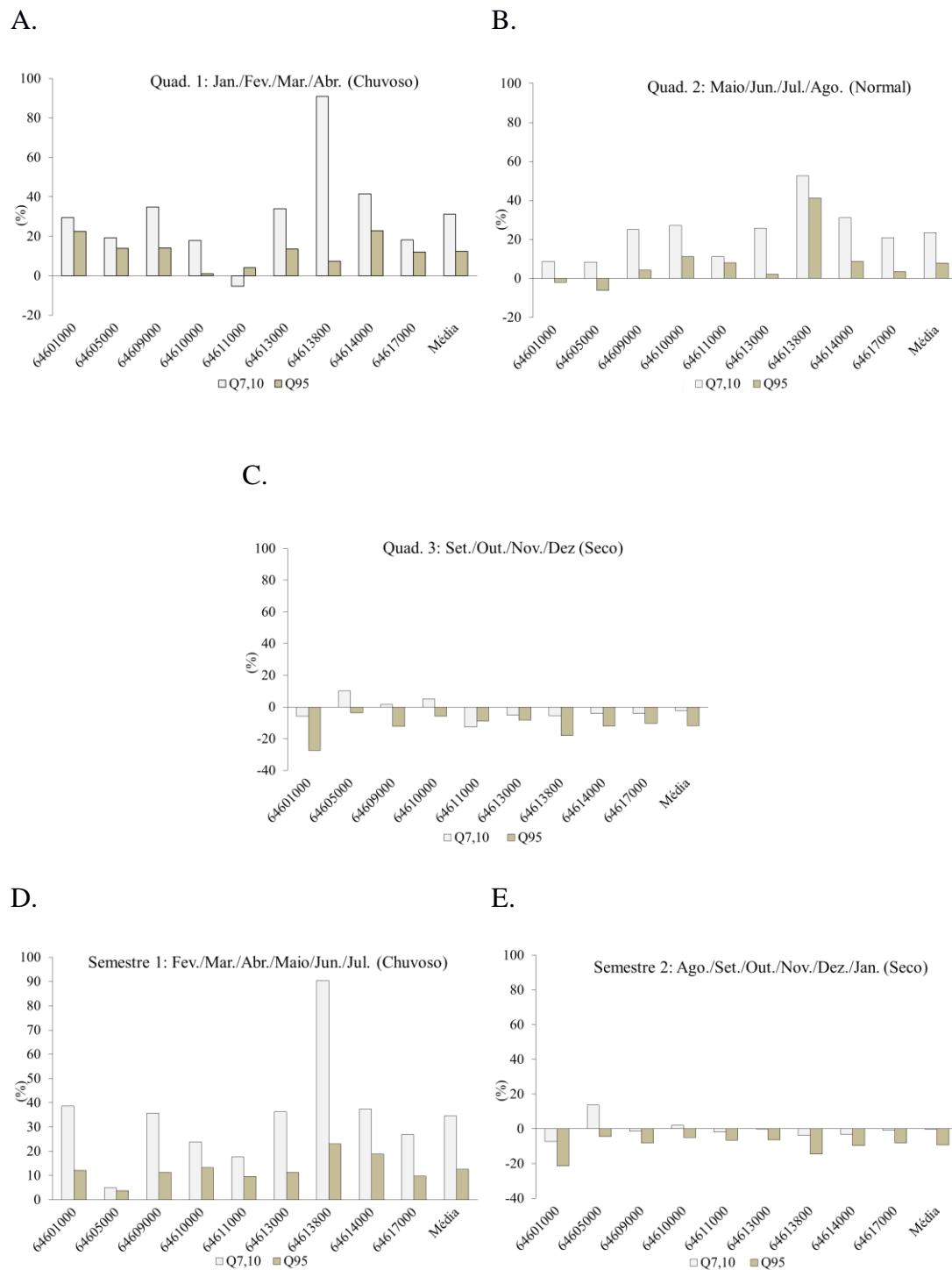


FIGURA 21. Diferenças percentuais nos períodos sazonais estudados em cada estação fluviométrica sendo: a) quadrimestre chuvoso; b) quadrimestre normal; c) quadrimestre seco; d) semestre chuvoso; e) semestre seco.

A vazão mínima associada à curva de permanência, mostrou flexibilidade expressiva apenas no quadrimestre e semestre chuvoso, enquanto no quadrimestre e semestre seco não houve flexibilização das vazões. Esse fato se explica com a alteração do comportamento da curva de permanência, que, com a diminuição do período de análise, a curva se achata devido ao menor número de dados para traçá-la quando se utiliza apenas o período seco do ano (Figura 22).

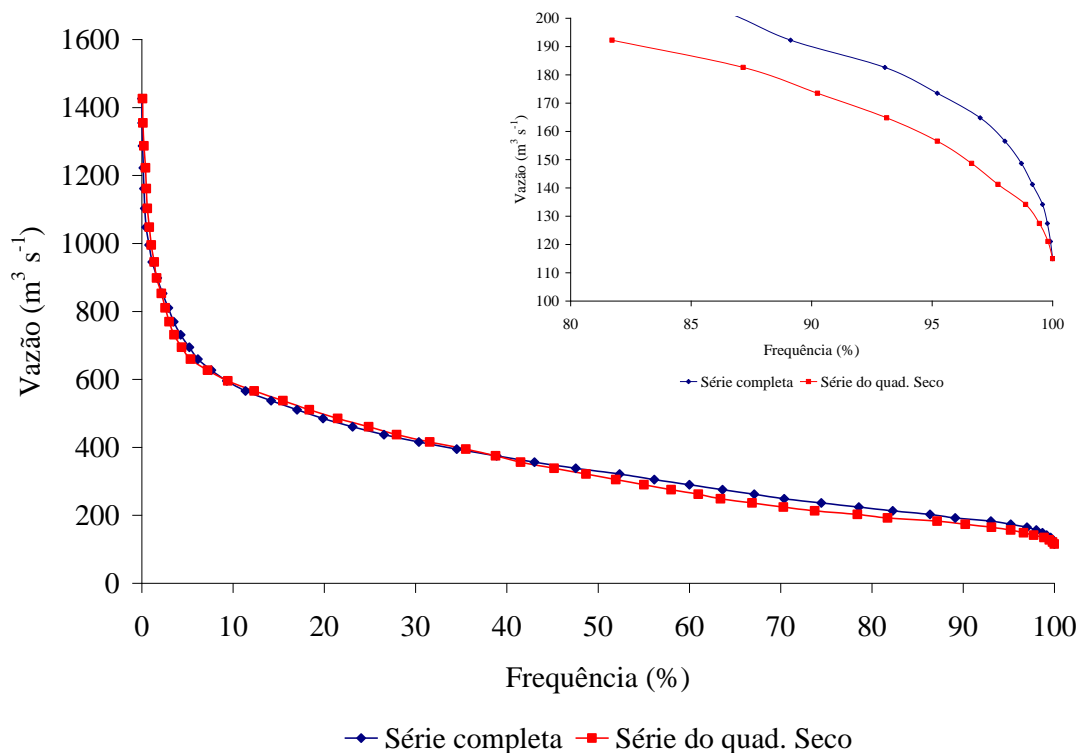


FIGURA 22. Achatamento da curva de permanência quando da consideração apenas de dados para o período seco.

O estudo realizado por meio da análise quantitativa de períodos sazonais (mensal, trimestral, quadrimestral e anual) potencializa a exploração dos recursos hídricos. Porém, segundo Silva (2012), a fim de garantir maior abrangência aos usos múltiplos é necessário contemplar a análise qualitativa da água, pois, certas características em empreendimentos fazem com que suas atividades se deem também de forma sazonal, quando haverá então maior consumo e aporte de efluentes despejados no corpo receptor, mesmo que este fato não coincida necessariamente com o período de maior escassez de água na bacia.

#### 4.4. Impacto da vazão de retirada pela irrigação na bacia do rio Dourados

De acordo com o levantamento realizado na bacia do rio Dourados a maior parte da irrigação é feita por meio do método de irrigação por aspersão com a utilização do sistema pivô central. Existem na bacia do rio Dourados, aproximadamente 130 pivôs abrangendo área irrigada da ordem de 12.549,4 ha irrigados. Considerando que as principais culturas irrigadas na bacia são milho e soja, estimou-se a vazão média anual de retirada pela irrigação como sendo da ordem de  $2,99 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . O comportamento dessa variável apresenta acentuada tendência de crescimento, principalmente, pelo potencial de aumento da área irrigada.

Na Figura 23 apresentam-se as variáveis da vazão de retirada pela irrigação, da evapotranspiração da cultura, da precipitação pluvial e da precipitação efetiva, médias mensais de longa duração (período de 2002 a 2011), na bacia do rio Dourados. A evapotranspiração e as precipitações foram expressas em  $\text{mm d}^{-1}$ , com o propósito de melhor comparação entre as variáveis.

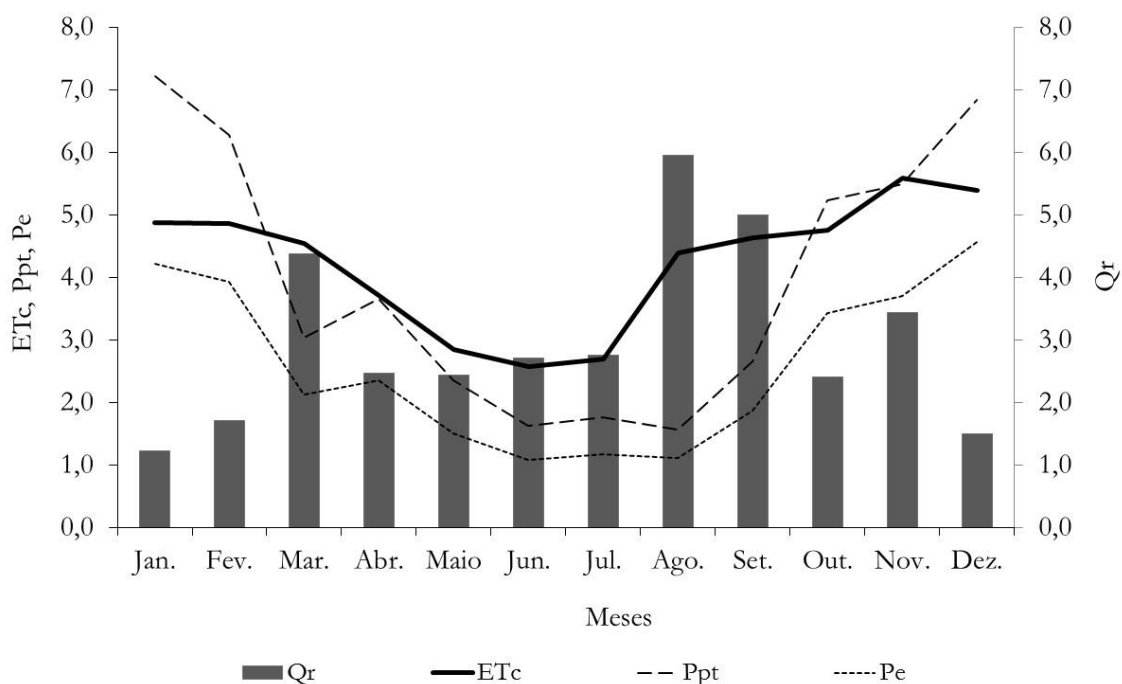


FIGURA 23. Vazão de retirada –  $Q_r$  ( $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ ), evapotranspiração da cultura –  $ET_c$  ( $\text{mm d}^{-1}$ ), precipitação pluvial –  $P_{pt}$  ( $\text{mm d}^{-1}$ ) e precipitação efetiva –  $Pe$  ( $\text{mm d}^{-1}$ ), relativo ao período de 2002 a 2011 na bacia do rio Dourados.

A evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ ) variou de  $2,6 \text{ mm d}^{-1}$  (mês de junho) a  $5,6 \text{ mm d}^{-1}$  (mês de novembro). A precipitação efetiva, que se refere apenas à parcela

da precipitação utilizada para atender à demanda evapotranspirométrica das culturas, apresentou valores menores que os observados na precipitação pluvial. Nos meses de menores precipitações (março, agosto e setembro), a precipitação efetiva apresentou valores mais próximos aos da precipitação pluvial. À medida que ocorreu o aumento da precipitação pluvial, a precipitação efetiva também aumentou. Entretanto, a diferença entre essas variáveis foram maiores.

A maior vazão de retirada pela irrigação foi observada em agosto ( $5,95 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ), mês em que ocorreu a maior diferença entre a evapotranspiração da cultura (ETc) e a precipitação efetiva (Pe).

Nota-se, pela Figura 22, que mesmo nos meses de maior precipitação pluvial a evapotranspiração da cultura sempre se manteve acima da precipitação efetiva, mostrando a importância da necessidade da irrigação no período analisado.

Considerando o critério citado por Garrido (2003), como sendo o adotado em rios de domínio da união (correspondente a 70% da  $Q_{95}$ ), observa-se que a vazão possível de ser atualmente outorgada, na bacia do rio Dourados, corresponde a  $34,36 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . Verifica-se, portanto, que a vazão utilizada pela irrigação, valor médio anual relativo ao período de 2002 a 2011 ( $2,99 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ), corresponde a 8,7% da  $Q_{95}$ , ou 17,3% quando da maior demanda observada na vazão de retirada pela irrigação ( $5,95 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ), relativo ao mês de agosto.

Adotando o critério de 50% da  $Q_{7,10}$  anual, verifica-se que a vazão possível de ser outorgada é de  $18,18 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , sendo esta, portanto, mais restritiva. Logo, os impactos na vazão outorgável passam a ser de 16,4% na vazão média de retirada, e de 32,7% no pico de uso dos recursos hídricos pela irrigação.

Visando a uma comparação entre os resultados obtidos da vazão de retirada com as vazões máximas permitidas para outorga de uso dos recursos hídricos nas escalas temporal mensal, trimestral, quadrimestral e semestral, apresentam-se os Quadros 18, 19 e 20.

QUADRO 18. Vazão de retirada pela irrigação ( $Q_r$ ), vazões mínimas de referência para a permissão de outorga ( $Q_{7,10}$  e  $Q_{95}$ ) e variação percentual das vazões de outorga relativo ao período sazonal mensal em relação à vazão de retirada mensal na bacia do rio Dourados

Meses	$Q_r$ ( $m^3 s^{-1}$ )	50% da $Q_{7,10}$ ( $m^3 s^{-1}$ )	70% da $Q_{95}$ ( $m^3 s^{-1}$ )	$Q_r/50\%Q_{7,10}$ (%)	$Q_r/70\%Q_{95}$ (%)
Jan.	1,21	25,86	36,82	4,7	3,3
Fev.	1,70	31,99	45,37	5,3	3,7
Mar.	4,37	30,44	43,89	14,4	10,0
Abr.	2,47	27,09	38,18	9,1	6,5
Mai	2,43	24,82	37,93	9,8	6,4
Jun.	2,70	27,29	39,57	9,9	6,8
Jul.	2,75	25,52	37,70	10,8	7,3
Ago.	5,95	22,82	32,60	26,1	18,3
Set.	5,00	19,86	29,36	25,2	17,0
Out.	2,41	18,66	31,80	12,9	7,6
Nov.	3,44	20,47	30,28	16,8	11,4
Dez.	1,49	25,34	35,00	5,9	4,3
Anual	5,95*	18,18	34,36	32,7	17,3

\*Demanda máxima anual.

QUADRO 19. Vazão de retirada pela irrigação ( $Q_r$ ), vazões mínimas de referência para a permissão de outorga ( $Q_{7,10}$  e  $Q_{95}$ ) e variação percentual das vazões de outorga relativo ao período sazonal trimestral em relação à vazão de retirada máxima para o trimestre correspondente na bacia do rio Dourados

Trimestres	$Q_r$ ( $m^3 s^{-1}$ )	50% da $Q_{7,10}$ ( $m^3 s^{-1}$ )	70% da $Q_{95}$ ( $m^3 s^{-1}$ )	$Q_r/50\%Q_{7,10}$ (%)	$Q_r/70\%Q_{95}$ (%)
1. Set./Out./Nov.	5,00	18,10	30,06	27,6	16,6
2. Dez./Jan./Fev.	1,70	20,82	36,98	8,2	4,6
3. Mar./Abr./Maio	4,37	24,84	39,05	17,6	11,2
4. Jun./Jul./Ago.	5,95	22,86	35,84	26,0	16,6
Ano hidrológico	5,95*	18,18	34,36	32,7	17,3

\*Demanda máxima anual.

QUADRO 20. Vazão de retirada pela irrigação ( $Q_r$ ), vazões mínimas de referência para a permissão de outorga ( $Q_{7,10}$  e  $Q_{95}$ ) e variação percentual das vazões de outorga relativo ao período sazonal trimestral em relação à vazão de retirada máxima para o quadrimestre correspondente na bacia do rio Dourados

Quadrimestres	$Q_r$ ( $m^3 s^{-1}$ )	50% da $Q_{7,10}$ ( $m^3 s^{-1}$ )	70% da $Q_{95}$ ( $m^3 s^{-1}$ )	$Q_r/50\%Q_{7,10}$ (%)	$Q_r/70\%Q_{95}$ (%)
2. Set./Out./Nov./Dez.	5,00	17,82	30,45	28,1	16,4
1. Maio/Jun./Jul./Ago.	5,95	22,28	36,94	26,7	16,1
3. Jan./Fev./Mar./Abr.	4,37	23,22	38,44	18,8	11,4
1.Semestre Seco	5,95	18,17	31,32	32,7	19,0
2 Semestre Chuvoso	4,37	23,99	38,59	18,2	11,3
Anual	5,95*	18,18	34,36	32,7	17,3

\*Demanda máxima anual.

Analisando a escala mensal (Quadro 18), a maior porcentagem da vazão de retirada pela irrigação ( $5,95 m^3 s^{-1}$ ) em relação à  $Q_{7,10}$  observada foi de 26,1%, evidenciada no mês de agosto. Este percentual foi superior ao da máxima vazão concedida para outorga quando da adoção do critério anual, que foi de 32,7%, ressaltando, portanto, uma melhor proteção ao uso dos recursos hídricos quando da adoção da escala mensal, sendo essa diferença percentual de 25,3% entre os critérios.

Estes valores indicam que existe grande variação entre os valores de outorga anual e mensal, onde os valores anuais são mais restritos, pois são outorgados valores baseados no período de maior escassez hídrica do ano. Na análise mensal, ela vai representar as características intrínsecas das vazões de cada mês.

Avaliando-se a mudança de critério de outorga permissível de base anual para trimestral (Quadro 19) ou quadrimestral (Quadro 20), verifica-se que a maior porcentagem da vazão de retirada pela irrigação, em relação à  $Q_{7,10}$  observada, foi da ordem de 28,0%, identificada no primeiro trimestre (Set./Out./Nov.) e no quadrimestre considerado como seco (Set./Out./Nov./Dez.). Mesmo com a adoção da escala temporal trimestral ou quadrimestral o valor foi inferior quando comparado com a base anual (32,7%), sendo a diferença percentual entre os critérios da ordem de 16,8%. Considerando o período com maior disponibilidade hídrica, a flexibilidade constatada foi de 298,8% para a escala trimestral, e de 73,9% quando da adoção da escala quadrimestral.

Ao adotar a sazonalidade baseada no critério semestral, constatou-se flexibilidade média apenas para o período chuvoso, sendo esta de 79,7%, para a  $Q_{7,10}$ .

A variação com uso do critério de 70%  $Q_{95}$  para os períodos sazonais estudados em substituição ao período de base anual foi menor, resultando até mesmo em valores maiores do que a referência anual, como evidenciado no semestre seco. Este fato ocorre em função das ocorrências de  $Q_7$  anual fora do período sazonal avaliado, conseqüentemente, baixa ou nenhuma flexibilidade na adoção desse critério. Outro fato para esta explicação é a alteração do comportamento da curva de permanência que se achata com a diminuição do período de análise, devido ao maior número de dados para traçá-la, quando se utiliza apenas um período sazonal do ano.

#### **4.5. Quantificação e análise da eficiência do uso da água pela irrigação na bacia do rio Dourados**

##### **4.5.1. Levantamento da área irrigada na bacia**

No levantamento da área irrigada na bacia do rio Dourados foram encontrados 130 pivôs, representados na Figura 24. Desse total, 110 estão em funcionamento e 20 encontram-se sucateados (Figura 25). Com base nessas informações a área efetivamente irrigada na bacia do rio Dourados é de 12.549,4 ha. Dos 110 pivôs em funcionamento, três estão localizados próximo à foz da bacia, 21 no terço médio e os 86 restantes próximo às regiões de cabeceira.



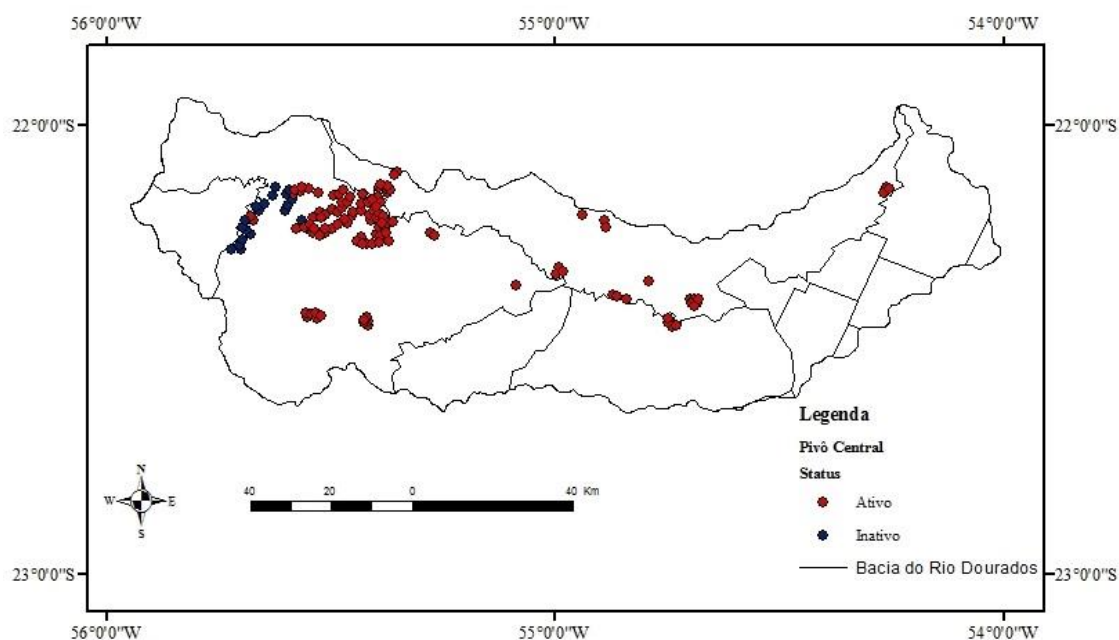


FIGURA 24. Mapa com a localização dos pivôs encontrados na bacia do rio Dourados.  
Fonte: Arai et al., 2013.



FIGURA 25. Fotos de estrutura de pivô central sucateado, sendo: a) detalhe torre sem o jogo de rodas; b) local onde deveria estar a instalação do sistema de bombeamento; e o transformador para funcionamento do conjunto moto-bomba.

Fonte: Arai et al., 2013.

No Quadro 21 são apresentadas as coordenadas geográficas, local, município, dos 130 pivôs identificados na bacia do rio Dourados, as respectivas altitudes medidas no ponto pivô e a área irrigada por cada pivô. Os pivôs foram enumerados em função da altitude, maior para menor e feita a identificação dos ativos (A) e inativos (I).

QUADRO 21. Pivôs localizados na bacia do rio Dourados

	Coordenadas Geográficas		Local	Município/ Distrito	Alt. (m)	Área (ha)	Status*
	Latitude	Longitude					
1	22° 16' 36''	55° 41' 57''	Itamarati	Ponta Porã	618	132,0	I
2	22° 16' 34''	55° 43' 17''	Itamarati	Ponta Porã	617	132,0	I
3	22° 14' 31''	55° 40' 43''	Itamarati	Ponta Porã	601	98,5	I
4	22° 15' 58''	55° 42' 13''	Itamarati	Ponta Porã	598	132,0	I
5	22° 15' 21''	55° 41' 51''	Itamarati	Ponta Porã	597	132,0	I
6	22° 12' 39''	55° 40' 16''	Itamarati	Ponta Porã	580	132,0	A
7	22° 13' 58''	55° 41' 13''	Itamarati	Ponta Porã	577	132,0	I
8	22° 25' 44''	55° 33' 06''	Jota Basso	Ponta Porã	570	109,4	A
9	22° 13' 41''	55° 41' 54''	Itamarati	Ponta Porã	561	132,0	I
10	22° 12' 13''	55° 40' 48''	Itamarati	Ponta Porã	557	132,0	A
11	22° 11' 29''	55° 39' 38''	Itamarati	Ponta Porã	556	132,0	I
12	22° 11' 20''	55° 36' 06''	Itamarati	Ponta Porã	556	132,0	I
13	22° 10' 33''	55° 38' 53''	Itamarati	Ponta Porã	553	132,0	I
14	22° 09' 22''	55° 37' 44''	Itamarati	Ponta Porã	553	132,0	I
15	22° 12' 46''	55° 41' 30''	Itamarati	Ponta Porã	549	132,0	I
16	22° 25' 08''	55° 33' 24''	Jota Basso	Ponta Porã	548	122,7	A
17	22° 25' 17''	55° 32' 37''	Jota Basso	Ponta Porã	546	109,4	A
18	22° 10' 46''	55° 35' 43''	Itamarati	Ponta Porã	541	109,4	I
19	22° 10' 52''	55° 39' 54''	Itamarati	Ponta Porã	537	132,0	I
20	22° 25' 50''	55° 31' 52''	Jota Basso	Ponta Porã	536	132,0	A
21	22° 25' 10''	55° 31' 56''	Jota Basso	Ponta Porã	535	132,0	A
22	22° 12' 39''	55° 33' 58''	Itamarati	Ponta Porã	534	132,0	I
23	22° 13' 45''	55° 34' 34''	Itamarati	Ponta Porã	531	132,0	A
24	22° 13' 57''	55° 32' 51''	Itamarati	Ponta Porã	531	132,0	A
25	22° 08' 17''	55° 37' 29''	Itamarati	Ponta Porã	530	132,0	I
26*	22° 14' 28''	55° 30' 46''	Itamarati	Ponta Porã	530	132,0	A
27	22° 13' 37''	55° 33' 29''	Itamarati	Ponta Porã	529	132,0	A
28	22° 25' 25''	55° 31' 17''	Jota Basso	Ponta Porã	526	132,0	A
29	22° 14' 27''	55° 32' 24''	Itamarati	Ponta Porã	522	132,0	A
30	22° 09' 53''	55° 35' 15''	Itamarati	Ponta Porã	520	132,0	I
31	22° 11' 40''	55° 31' 30''	Itamarati	Ponta Porã	519	132,0	A
32	22° 26' 43''	55° 25' 04''	F. Brazil	Ponta Porã	519	55,4	A
33	22° 09' 07''	55° 35' 57''	Itamarati	Ponta Porã	518	132,0	I
34	22° 14' 45''	55° 31' 26''	Itamarati	Ponta Porã	517	132,0	A
35	22° 12' 23''	55° 32' 22''	Itamarati	Ponta Porã	517	132,0	A
36*	22° 26' 14''	55° 25' 05''	F. Brazil	Ponta Porã	515	84,4	A
37	22° 13' 17''	55° 32' 48''	Itamarati	Ponta Porã	513	132,0	A
38*	22° 13' 45''	55° 29' 52''	Itamarati	Ponta Porã	512	132,0	A
39	22° 12' 03''	55° 30' 40''	Itamarati	Ponta Porã	512	132,0	A
40	22° 12' 20''	55° 31' 21''	Itamarati	Ponta Porã	510	132,0	A
41	22° 13' 01''	55° 27' 44''	Itamarati	Ponta Porã	510	132,0	A
42	22° 09' 15''	55° 35' 04''	Itamarati	Ponta Porã	508	132,0	I
43*	22° 13' 45''	55° 32' 11''	Itamarati	Ponta Porã	505	132,0	A
44*	22° 13' 48''	55° 30' 42''	Itamarati	Ponta Porã	505	132,0	A
45	22° 25' 38''	55° 25' 07''	F. Brazil	Ponta Porã	503	122,7	A
46	22° 08' 51''	55° 34' 04''	Itamarati	Ponta Porã	502	132,0	A
47	22° 13' 20''	55° 29' 02''	Itamarati	Ponta Porã	500	132,0	A
48	22° 11' 13''	55° 29' 47''	Itamarati	Ponta Porã	499	132,0	A
49	22° 08' 36''	55° 35' 34''	Itamarati	Ponta Porã	496	84,9	I
50	22° 08' 26''	55° 32' 59''	Itamarati	Ponta Porã	496	132,0	A
51*	22° 26' 29''	55° 25' 32''	F. Brazil	Ponta Porã	494	62,7	A
52	22° 08' 38''	55° 34' 52''	Itamarati	Ponta Porã	493	78,5	A
53	22° 08' 58''	55° 31' 37''	Itamarati	Ponta Porã	493	132,0	A
54	22° 09' 26''	55° 29' 34''	Itamarati	Ponta Porã	491	132,0	A
55	22° 08' 12''	55° 33' 55''	Itamarati	Ponta Porã	489	132,0	A

“...continua...”

## "Quadro 21. Cont."

56	22° 12' 13"	55° 27' 16"	Itamarati	Ponta Porã	489	132,0	A
57*	22° 15' 01"	55° 25' 56"	Itamarati	Ponta Porã	488	132,0	A
58*	22° 06' 17"	55° 21' 02"	F. Paraiso	Itahum	488	117,2	A
59*	22° 24' 58"	55° 55' 24"	F. Brazil	Ponta Porã	487	144,4	A
60*	22° 26' 05"	55° 25' 32"	F. Brazil	Ponta Porã	485	38,0	A
61*	22° 06' 39"	55° 21' 31"	F. Paraiso	Itahum	482	88,0	A
62	22° 12' 28"	55° 28' 07"	Itamarati	Ponta Porã	474	132,0	A
63	22° 11' 32"	55° 29' 08"	Itamarati	Ponta Porã	472	132,0	A
64	22° 11' 08"	55° 28' 33"	Itamarati	Ponta Porã	470	132,0	A
65	22° 10' 24"	55° 28' 30"	Itamarati	Ponta Porã	469	132,0	A
66	22° 15' 28"	55° 26' 28"	Itamarati	Ponta Porã	469	109,4	A
67	22° 09' 09"	55° 28' 56"	Itamarati	Ponta Porã	467	132,0	A
68	22° 11' 35"	55° 27' 06"	Itamarati	Ponta Porã	466	132,0	A
69	22° 11' 25"	55° 25' 53"	Itamarati	Ponta Porã	460	132,0	A
70	22° 10' 23"	55° 27' 46"	Itamarati	Ponta Porã	459	132,0	A
71	22° 08' 33"	55° 21' 54"	F. Paraiso	Itahum	459	122,2	A
72	22° 15' 47"	55° 25' 07"	Itamarati	Ponta Porã	457	132,0	A
73	22° 14' 37"	55° 23' 58"	Itamarati	Ponta Porã	455	132,0	A
74	22° 11' 54"	54° 56' 15"	UFGD	Dourados	455	2,5	A
75	22° 12' 42"	55° 24' 32"	Itamarati	Ponta Porã	453	132,0	A
76	22° 15' 47"	55° 25' 49"	Itamarati	Ponta Porã	452	132,0	A
77	22° 08' 43"	55° 28' 18"	Itamarati	Ponta Porã	451	132,0	A
78	22° 10' 26"	55° 25' 50"	Itamarati	Ponta Porã	450	132,0	A
79	22° 11' 60"	55° 24' 44"	Itamarati	Ponta Porã	450	132,0	A
80	22° 07' 47"	55° 22' 23"	F. Paraiso	Itahum	450	85,9	A
81*	22° 08' 20"	55° 22' 33"	F. Paraiso	Itahum	447	118,0	A
82	22° 11' 25"	55° 24' 20"	Itamarati	Ponta Porã	446	132,0	A
83	22° 12' 23"	55° 23' 54"	Itamarati	Ponta Porã	446	132,0	A
84	22° 13' 41"	55° 23' 30"	Itamarati	Ponta Porã	443	132,0	A
85	22° 07' 42"	55° 23' 15"	F. Paraiso	Itahum	440	128,8	A
86	22° 09' 31"	55° 27' 23"	Itamarati	Ponta Porã	439	132,0	A
87	22° 14' 43"	55° 23' 15"	Itamarati	Ponta Porã	439	132,0	A
88*	22° 12' 41"	54° 53' 21"	Guerra	Dourados	437	109,7	A
89	22° 08' 57"	55° 22' 25"	F. Paraiso	Itahum	437	107,4	A
90	22° 15' 53"	55° 24' 25"	Itamarati	Ponta Porã	436	132,0	A
91	22° 15' 45"	55° 23' 35"	Itamarati	Ponta Porã	432	78,5	A
92	22° 08' 18"	55° 23' 36"	F. Paraiso	Itahum	431	140,2	A
93	22° 11' 48"	55° 23' 28"	Itamarati	Ponta Porã	429	132,0	A
94	22° 09' 13"	55° 25' 42"	Itamarati	Ponta Porã	426	132,0	A
95	22° 13' 37"	55° 22' 47"	Itamarati	Ponta Porã	426	132,0	A
96	22° 10' 20"	55° 25' 03"	Itamarati	Ponta Porã	425	132,0	A
97	22° 09' 35"	55° 23' 47"	Itamarati	Ponta Porã	424	132,0	A
98	22° 13' 37"	54° 53' 15"	Guerra	Dourados	424	132,0	A
99	22° 14' 26"	55° 22' 35"	Itamarati	Ponta Porã	423	132,0	A
100	22° 10' 02"	55° 24' 21"	Itamarati	Ponta Porã	420	132,0	A
101	22° 10' 14"	55° 23' 25"	Itamarati	Ponta Porã	420	132,0	A
102	22° 10' 54"	55° 23' 50"	Itamarati	Ponta Porã	420	132,0	A
103	22° 12' 14"	55° 22' 58"	Itamarati	Ponta Porã	419	132,0	A
104	22° 12' 60"	55° 22' 29"	Itamarati	Ponta Porã	419	132,0	A
105	22° 13' 04"	55° 23' 14"	Itamarati	Ponta Porã	419	132,0	A
106	22° 12' 52"	55° 21' 40"	Itamarati	Ponta Porã	407	132,0	A
107	22° 15' 27"	55° 22' 10"	Itamarati	Ponta Porã	405	78,5	A
108	22° 21' 21"	55° 05' 07"	-	Laguna Carapã	396	75,4	A
109	22° 14' 18"	55° 16' 37"	-	Ponta Porã	395	98,5	A
110	22° 14' 40"	55° 16' 04"	-	Ponta Porã	388	98,5	A
111	22° 23' 13"	54° 41' 54"	F. Lori	Dourados	381	95,0	A
112	22° 23' 16"	54° 41' 16"	F. Lori	Dourados	380	86,6	A
113	22° 23' 47"	54° 41' 36"	F. Lori	Dourados	377	105,7	A

"...continua..."

“Quadro 21. Cont.”

114	22° 18' 57''	54° 59' 27''	F. Santa Ilda	Dourados	375	134,8	A
115	22° 26' 54''	54° 44' 14''	-	Caarapó	374	95,0	A
116	22° 23' 44''	54° 40' 55''	F. Lori	Dourados	367	86,6	A
117	22° 26' 29''	54° 44' 48''	-	Caarapó	365	84,9	A
118	22° 24' 08''	54° 41' 18''	F. Lori	Dourados	362	43,0	A
119	22° 20' 52''	54° 47' 27''	-	Dourados	359	40,7	A
120	22° 23' 15''	54° 40' 44''	F. Lori	Dourados	359	51,5	A
121	22° 19' 55''	54° 59' 53''	F. Santa Ilda	Dourados	358	60,8	A
122	22° 19' 37''	54° 58' 51''	F. Santa Ilda	Dourados	358	55,4	A
123	22° 22' 38''	54° 52' 10''	-	Dourados	355	80,1	A
124	22° 22' 51''	54° 51' 37''	-	Dourados	350	80,1	A
125	22° 23' 16''	54° 50' 22''	-	Dourados	342	96,8	A
126	22° 26' 45''	54° 43' 39''	-	Caarapó	339	54,1	A
127	22° 25' 54''	54° 44' 51''	-	Caarapó	337	96,8	A
128	22° 08' 22''	54° 15' 37''	P. Vilma	Deodápolis	307	113,1	A
129	22° 08' 58''	54° 16' 01''	P. Vilma	Deodápolis	304	81,7	A
130	22° 08' 26''	54° 15' 15''	P. Vilma	Deodápolis	302	72,4	A

\*Pivôs avaliados até 31/12/2013.

\* A – Ativo; I - Inativo.

O Quadro 22 foi elaborada à partir do Quadro 21, a qual apresenta a área irrigada e não irrigada e suas relações percentuais na bacia do rio Dourados. Por esta análise verifica-se o alto potencial de crescimento e expansão da agricultura irrigada na bacia, uma vez que apenas 1,4% da área encontra-se com sistemas de irrigação implantados. Em função desse grande potencial de crescimento da agricultura irrigada o estudo do impacto que a irrigação pode gerar nos recursos hídricos deve ser estudado e analisado na bacia para que o aproveitamento de suas águas possa ser otimizado com menor impacto ambiental possível.

QUADRO 22. Área irrigada pelo sistema de irrigação por aspersão tipo pivô central na bacia do rio Dourados

Descrição	Área (km <sup>2</sup> )	%
Irigada	125,49	1,4
Não irrigada	9.113,10	98,6
Total	9.238,59*	100,0

\* Valor obtido do sistema de informação geográfica Arc Gis.

#### 4.6. Avaliação do manejo da irrigação

Os perfis médios de distribuição das lâminas coletadas dos pivôs avaliados na bacia do rio Dourados em relação à distância do ponto pivô estão evidenciados nas Figuras 26 e 27. Dentre os pivôs avaliados, os piores perfis de distribuição de água

foram obtidos pelos pivôs 26 e 44. Esses apresentaram a maior dispersão das lâminas de água aplicadas em relação ao valor médio. Por outro lado, os pivôs 36 e 61 apresentaram os melhores perfis de distribuição de água.

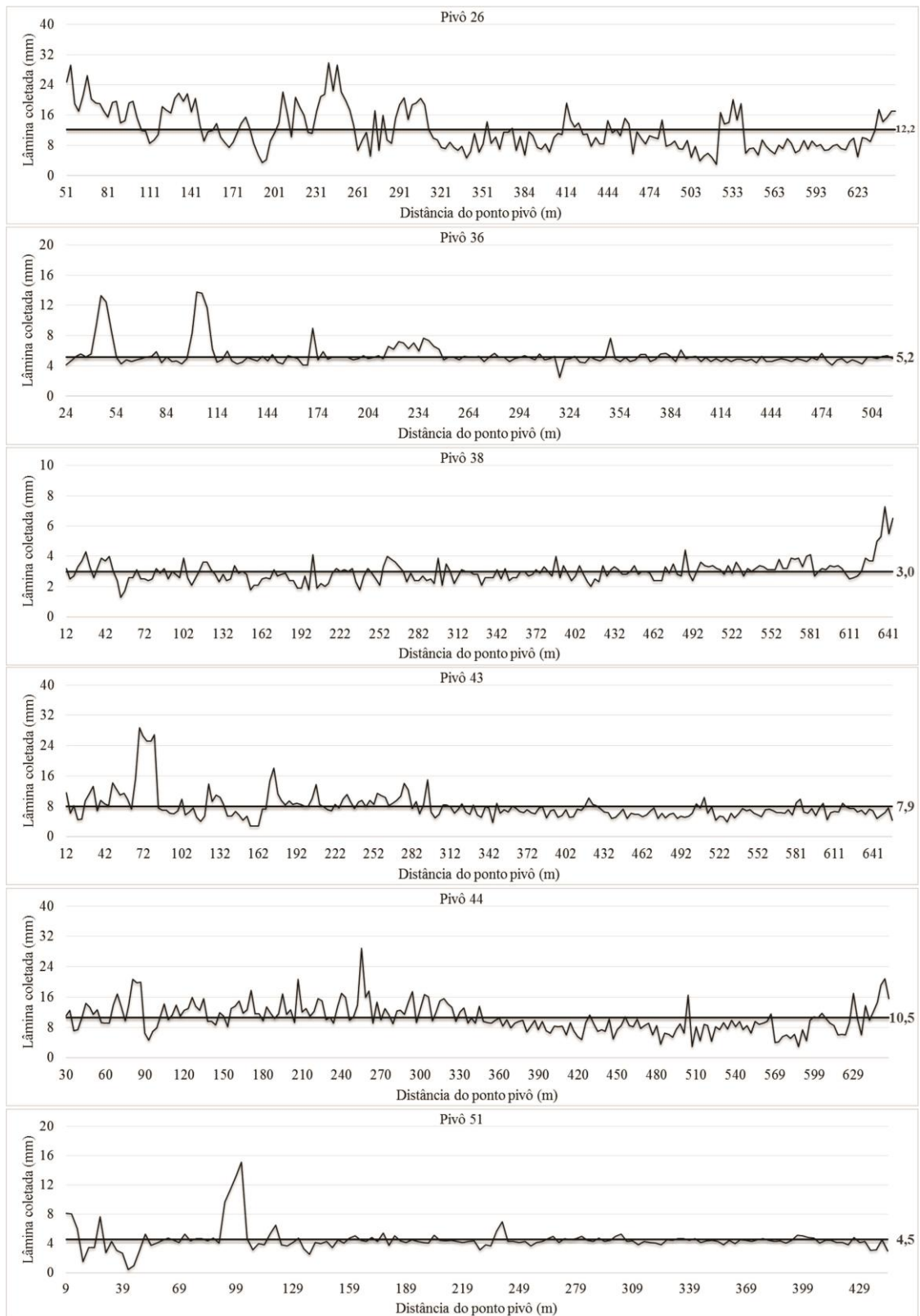


FIGURA 26. Perfil da distribuição de água ao longo da linha lateral dos pivôs avaliados, destacando-se a lâmina média aplicada.

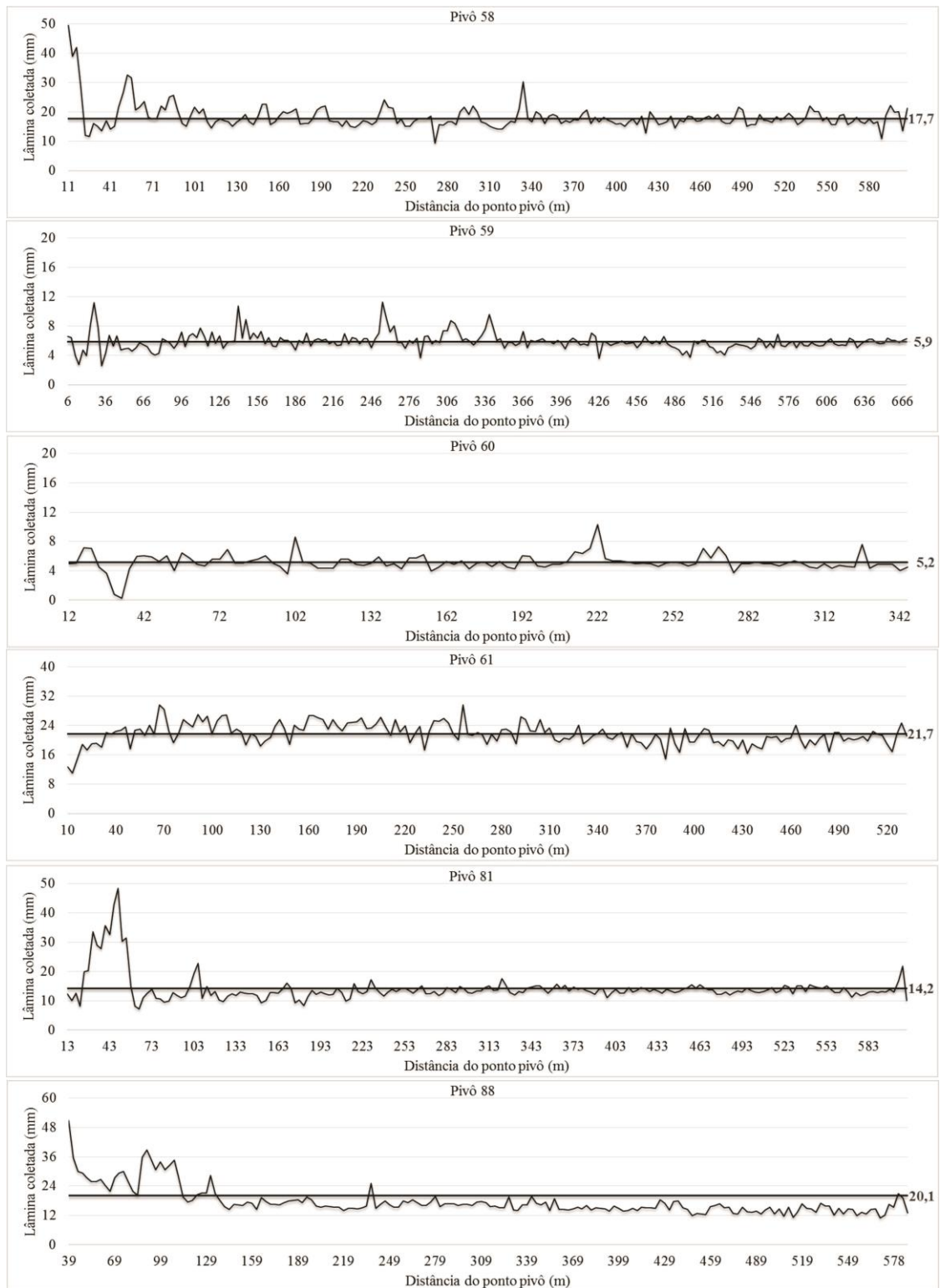


FIGURA 27. Perfil da distribuição de água ao longo da linha lateral dos pivôs avaliados, destacando-se a lâmina média aplicada.

No diagnóstico das irrigações, as lâminas de água médias aplicadas em todos os pivôs avaliados foram em 100% das avaliações menores que as lâminas de água necessárias para elevar a umidade do solo à capacidade de campo, caracterizando um déficit de água no solo após as irrigações. Assim, as perdas por percolação, igual a diferença entre estas, foram nulas (Figura 28).

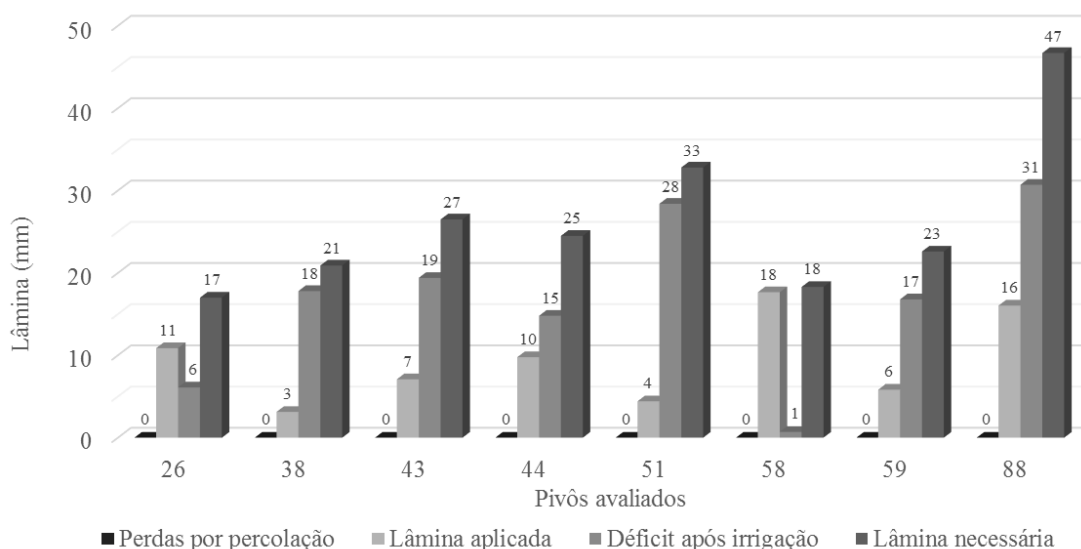


FIGURA 28. Lâminas aplicada e necessária, perda por percolação e déficit atual de água no solo na área dos pivôs avaliados.

Apesar da alta densidade dos solos evidenciados nas áreas irrigadas da bacia do rio Dourados (Quadro 23), não foi detectado a ocorrência de escoamento superficial durante a realização dos testes. Isso se explica, em parte, pelas pequenas lâminas aplicadas em relação às necessárias no momento da aplicação (Figura 28).



QUADRO 23. Densidade do solo ( $D_s$ ), cultura no momento da avaliação, e profundidade efetiva do sistema radicular ( $z$ ), considerada em função da cultura e do estágio fenológico na área dos pivôs avaliados na bacia do Rio Dourados

Pivô	Densidade <sup>1</sup> (g cm <sup>3</sup> )	Cultura	Profundidade (cm)
26	1,55	Milho	10
36	1,48	Soja	10
38	-	Milho	10
43	1,62	Milho	10
44	1,56	Milho	10
51	1,52	Milho	20
58	1,32	Feijão	20
59	1,49	Soja	20
60	-	Milho	20
61	-	Soja	20
81	-	Feijão	20
88	1,49	Feijão	20

<sup>1</sup>Valor médio das duas profundidades amostradas.

O fato de a lâmina média aplicada ser menor que a lâmina de água necessária, por si só não pode ser considerado um resultado ruim, desde que as irrigações sejam feitas com maior frequência, não permitindo que o déficit verificado de água no solo ultrapasse o déficit máximo permitido (calculado em função dos atributos físico-hídricos do solo, da profundidade do sistema radicular da cultura e do fator de disponibilidade de água no solo ( $f$ )). Entretanto, considerando  $f = 0,5$ , este não foi o caso verificado, como pode ser observado na Figura 29.

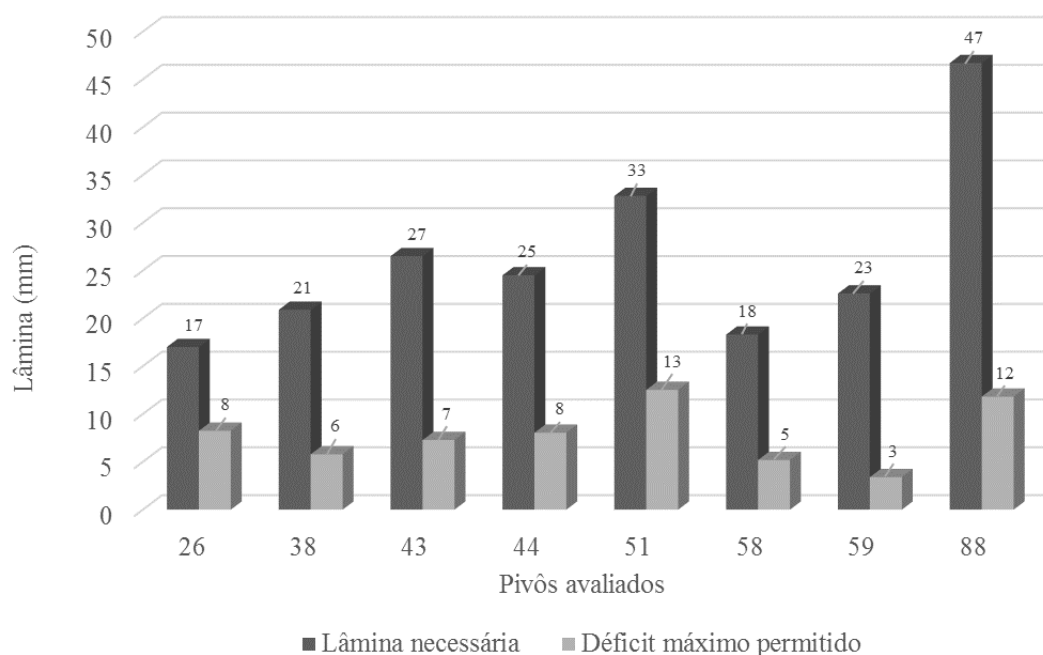


FIGURA 29. Representação do déficit máximo permitido e da lâmina de água necessária para atingir a capacidade de campo, ou seja, déficit máximo verificado.

Nos pivôs 51 e 88 a lâmina necessária verificada foi superior ao déficit máximo permitido em 28 e 31 mm, respectivamente, sendo estes os maiores valores verificados. Este fato indica que a irrigação foi realizada muito após a hora recomendada. Nestas propriedades, há grande probabilidade da cultura vir a sofrer estresse hídrico, com consequente redução de produtividade. Nestes casos pouco se tem a fazer no sentido de economia de água. A recomendação, em termos de manejo, seria aplicar mais água na irrigação seguinte em tentativa de diminuir o estresse hídrico e corrigir o manejo praticando as irrigações quando o déficit verificado for igual ou ligeiramente menor que o déficit máximo permitido.

#### 4.7. Desempenho dos sistemas de irrigação avaliados na bacia do rio Dourados

Os resultados obtidos na avaliação da eficiência de irrigação dos pivôs avaliados na bacia do rio Dourados, pertinentes aos dados de área, vazão, velocidade média, lâmina projetada, lâmina média coletada, variação da lâmina projetada em relação à coletada, Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), Coeficiente de

Uniformidade de Distribuição (CUD), eficiência potencial de aplicação, perdas por evaporação e arraste, eficiência de distribuição para 80% de área adequadamente irrigada, eficiência de irrigação para 80% de área adequadamente irrigada e classificação de acordo com ABNT-NBR: 14244 (ABNT, 1998), estão apresentados no Quadro 24.

Dentre os pivôs avaliados, os pivôs 61 e 81 apresentaram os maiores CUC's (90,81% e 90,66%, respectivamente) e teve classificação, conforme a ABNT-NBR: 14244, muito boa (ABNT, 1998). Os CUD's obtidos para os mesmos pivôs foram de 85,08% e 80,09%, respectivamente. As classificações, de acordo com a ABNT-NBR: 14244 (ABNT, 1998) foram muito boa e boa, respectivamente. Por outro lado, os pivôs 26, 43 e 44 apresentaram os menores valores de CUC's, sendo estes de 64,85%, 78,66% e 71,35%, respectivamente. Esses foram classificados como ruins. Os CUD's obtidos para os mesmos pivôs foram de 57,96, 70,50 e 64,96%, respectivamente. As classificações para estas avaliações foram ruim, regular e ruim, respectivamente.

Como esperado, para todos os pivôs avaliados, os valores de CUC's se mostraram sempre superiores aos valores de CUD's, estando de acordo, portanto, com os índices encontrados na literatura e comprovando, assim, seu maior rigor quanto à distribuição das lâminas, por considerar as menores lâminas agrupadas em 25% da área total.

QUADRO 24. Resultados dos atributos de desempenho de sistemas de irrigação tipo pivô central localizados na Bacia do Rio Dourados

*Pivô	Área	Vazão	V <sub>pc</sub>	L <sub>c</sub>	L <sub>p</sub>	L <sub>c</sub> /L <sub>p</sub>	CUC	CUD	EPa	Pea	ED <sub>80</sub>	Ei <sub>80</sub>	C. CUC	C. CUD
	ha	m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>	m h <sup>-1</sup>	mm		%	%							
26	132,32	280,69	85,71	10,87	11,42	4,82	64,85	57,96	95,12	4,88	63,19	60,11	Ruim	Ruim
36	84,44	244,35	178,22	5,15	5,29	2,65	89,32	86,00	97,26	2,74	88,82	86,32	Boa	Muito Boa
38	131,87	251,90	236,84	3,13	3,28	4,65	83,27	72,33	95,35	4,65	82,48	78,65	Regular	Regular
43	131,87	282,00	120,00	7,09	7,45	4,83	78,66	70,50	95,17	4,83	77,66	73,90	Ruim	Regular
44	136,56	280,00	75,45	9,77	10,92	10,53	71,35	64,16	89,48	10,52	70,00	62,64	Ruim	Ruim
51	62,75	-	188,65	4,42	-	-	88,87	75,36	-	-	88,35	-	Boa	Boa
58	117,24	340,07	63,00	17,66	19,49	9,36	89,48	84,93	90,64	9,36	88,99	80,66	Boa	Boa
59	144,40	340,30	165,14	5,83	6,13	4,89	89,70	81,27	95,12	4,88	89,22	84,86	Boa	Boa
60	38,00	-	150,00	5,18	-	-	87,38	78,43	-	-	86,79	-	Boa	Boa
61	88,00	342,21	57,69	21,28	22,31	4,62	90,81	85,08	95,40	4,60	90,37	86,22	Muito Boa	Muito Boa
81	118,00	317,09	69,23	13,62	14,95	8,90	90,66	80,89	91,08	8,92	90,21	82,16	Muito Boa	Boa
88	109,70	-	69,23	16,04	-	-	85,24	84,53	-	-	63,91	-	Boa	Muito Boa

\* Pivôs enumerados de acordo com QUADRO 1. V<sub>pc</sub> = Velocidade média do pivô central; L<sub>c</sub> = Lâmina média coletada; L<sub>p</sub> = Lâmina projetada; L<sub>c</sub>/L<sub>p</sub> = Variação da lâmina projetada em relação à coletada; CUC = coeficiente de uniformidade de Christiansen (ângulo de 3°); CUD = coeficiente de uniformidade de distribuição (ângulo de 3°); EPa = Eficiência Potencial de Aplicação – método direto; Pea = Perdas por Evaporação e Arraste – método direto; ED<sub>80</sub> = Eficiência de distribuição para 80% de área adequadamente irrigada; Ei<sub>80</sub> = Eficiência de Irrigação para 80% de Área Adequadamente Irrigada; C. CUC = Classificação do CUC (ângulo de 3°) de acordo com ABNT-NBR: 14244; C. CUD = Classificação do CUD (ângulo de 3°) de acordo com ABNT-NBR: 14244. (-) Valores em aberto.

Na Figura 30 são apresentados os valores de CUC abaixo do qual a uniformidade de aplicação foi considerada inadequada (80,0%), bem como o valor acima do qual ela foi considerada excelente (90%), juntamente com os valores de CUC resultantes das avaliações dos sistemas de irrigação por aspersão tipo pivô central. Observa-se, pelas avaliações realizadas, que a média dos CUCs foi 82,5%, superior ao valor considerado inadequado para o sistema de irrigação tipo pivô central, mas inferior ao considerado excelente. Dos 12 projetos avaliados, três deles (30,0%) apresentaram valores de CUC menores do que o mínimo recomendado (CUC 80%) e três sistemas (30,0%) acima do considerado excelente (CUC 90%).

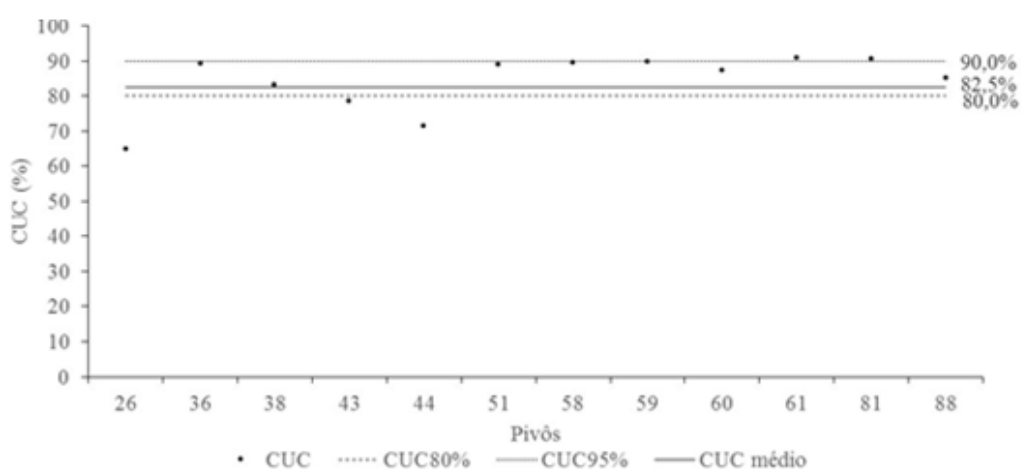


FIGURA 30. Valores de CUC obtidos nos sistemas de irrigação pivô central.

Apenas dois sistemas apresentaram valores de CUC muito abaixo do mínimo recomendado, em decorrência da grande variação na pressão de operação dos aspersores e da alta velocidade do vento observada durante a condução dos testes.

A eficiência de aplicação na irrigação, bem como o seu valor médio são apresentados no Quadro 24. Os valores variaram de 60,1 a 86,3%, com média de 77,3%, a qual está abaixo do valor considerado excelente para irrigação por aspersão do tipo pivô central, que é de 80,0%. Este fato é decorrente das perdas por evaporação e arraste serem consideravelmente altas na irrigação por aspersão. Outro fator a ser considerado são os aspersores que foram trocados inadequadamente ao longo da linha do pivô.

O manejo da irrigação permite identificar, com base em critérios técnicos, o momento de início das irrigações, bem como definir a quantidade de água adequada

para atender as necessidades hídricas da cultura, minimizando o consumo de energia, maximizando a eficiência de uso da água e mantendo favoráveis as condições de umidade do solo.

## 5. CONCLUSÕES

- A projeção do uso dos recursos hídricos com a adoção dos critérios de 50% da  $Q_{7,10}$  mensal e 70% da  $Q_{95}$  mensal em substituição aos critérios anuais (padrão ainda no Brasil) proporciona alto potencial para o incremento do uso dos recursos hídricos;

- O melhor critério para concessão de outorga é a  $Q_{7,10}$  mensal pois, embora seja a mais restritiva, ela permite que sejam concedidas maiores vazões de outorga nos períodos em que há excedente hídrico, e menores valores nos meses de menor disponibilidade hídrica;

- Em todas as propriedades avaliadas constatou-se que as lâminas de água aplicadas estão abaixo do recomendado, caracterizando irrigações deficitárias e manejo incorreto do sistema de irrigação.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, L.F.R. de.; BROCH, S.O.; SOBRINHO, T.A. A cobrança pelo uso da água em Mato Grosso do Sul. In: XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2011, Maceió. AL. **Anais...XIX SBRH**. Porto Alegre: SBRH, 2011. v. 1. p. 1-11.

ANA - **Agência Nacional de Águas**, 2004, Disponível em <<http://.ana.gov.br/>>.

ANA – Agência Nacional de Águas. **Cadernos de Recursos Hídricos – Disponibilidade e demandas de recursos hídricos no Brasil**. 2005.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: informe 2010**. Brasília, 2010. Disponível em: <<http://conjuntura.ana.gov.br/conjuntura/download.aspx>>. Acesso em: 04 fev. 2014.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Diagnóstico da outorga de direito de uso de recursos hídricos no país. Diretrizes e prioridades**. 2005. Disponível em: <[http://www.ana.gov.br/pnrh\\_novo/documentos/07%20Outorgas/VF%20Outorga.pdf](http://www.ana.gov.br/pnrh_novo/documentos/07%20Outorgas/VF%20Outorga.pdf)>. Acesso em: 20 dez. 2013.

ANA – Agência Nacional de Águas. **GEO Brasil recursos hídricos: componente da série de relatórios sobre o estado e perspectiva do meio ambiente no Brasil**. Brasília, 2007. 264 p.

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Diagnóstico da situação do monitoramento da qualidade da água da Bacia do Prata**. 2001.

ANJOS, E.F.S. **Os comitês de bacia hidrográfica: lições da experiência de Minas Gerais**. 2003. 139 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável) – Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília – DF.

ARAI, F.K. **Caracterização da disponibilidade hídrica na bacia hidrográfica do Ivinhema, MS**. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal). 2010, 126 f. Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD, Dourados, MS.

ARAI, F.K.; GONÇALVES, G.G.G.; PEREIRA, S.B.; PEIXOTO, P.P.P. **Estudo do comportamento pluvial na região de Dourados, MS**. Revista Agrarian, Dourados, v.2 n.6, p.105-112, 2009.

ARAI, F.K.; PEREIRA, S.B.; GONÇALVES, G.G.G. **Characterization of water availability in a hydrographic basin**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.32, n.3, p. 591-601, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14244: equipamentos de irrigação mecanizada: pivô central e lateral móvel providos de emissores fixos ou rotativos: determinação da uniformidade de distribuição de água**. Rio de Janeiro, RJ, 1998. 11 p.



BAENA, L.G.N. **Regionalização de vazões para a bacia do rio Paraíba do Sul, a montante de Volta Redonda, a partir de modelo digital de elevação hidrologicamente consistente**. 2002. 135p. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

BAENA, L.G.N.; SILVA, D.D. da.; PRUSKI, F.F.; CALIJURI, M.L. Espacialização da  $Q_{7,10}$ ,  $Q_{90\%}$  e  $Q_{95\%}$  visando à gestão dos recursos hídricos: estudo de caso para a Bacia do Rio Paraíba do Sul. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.12, n.1, p. 24-31, 2004.

Barbosa, S.E.S.; Barbosa Júnior, A.R.; Silva, G.Q.; Campos, E.N.B.; Rodrigues, V.C. Geração de modelos de regionalização de vazões máximas, médias de longo período e mínimas de sete dias para a Bacia do Rio do Carmo, Minas Gerais. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.10, n.1, p.64-71, 2005.

BERNARDO, S., SOARES, A.A., MANTOVANI, E.C. **Manual de irrigação**. 8.ed., Viçosa: UFV, 2006, 625p.

BOF, L.H.N. **Análise de critérios de outorga de direito de uso dos recursos hídricos**. Viçosa, MG: UFV, 2010. 99f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

BOF, L.H.N., PRUSKI, F.F., SOUZA, W.A.M. Impacto do uso de diversos critérios para a concessão de outorga. In: XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2009, Campo Grande – MS. **Anais...** Campo Grande: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2009.

BOF, L.H.N.; PRUSKI, F.F.; SILVA, L.M.C. da.; JUSTINO, F. Analysis of appropriate timescales for water diversion permits in Brasil. **Environmental Management**: New York, v.1, p.1-11, 2012.

Brasil. Lei Federal n.9.433, de 8 de janeiro de 1997. **Política Nacional de Recursos Hídricos**, Brasília, p.23-42, 2002.

BRASIL. **Plano Nacional de Recursos Hídricos – Síntese Executiva**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2006. 135 p.

BRASIL. **Política nacional de recursos hídricos**: Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Brasília, DF: MMA/SRH, 1997.

CASTRO, L.M.A.; DINIZ, M.G.M.; SILVA, A.G. Aplicação do Instrumento da Outorga no Gerenciamento dos Recursos Hídricos em Minas Gerais: A Bacia do Ribeirão Entre Ribeiros. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 7., 2004, São Luis. **Anais...** São Luis: ABRH, 2004. 1 CD-ROM.

CATALUNHA, M.J. **Sistema integrado em rede para gestão do uso múltiplo da água e regionalização da  $Q_{7,10}$  para os períodos mensal, bimestral, trimestral e anual**. Viçosa, MG: UFV, 2004. 165 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

CRUZ, J.C. **Disponibilidade hídrica para outorga: avaliação de aspectos técnicos e conceituais**. 2001. 189p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS.

DANIEL, O.; VITORINO, A.C.T.; VERONESI, C.O.; QUEIROZ, L.S.; GELAIN, E. **Mapeamento do uso da terra na bacia do rio dourados, MS, por meio de imagens Landsat**, 2002. [S.l.]: DCA/UFMS. Relatório de Pesquisa não publicado.

DINO, K.J. **Projeto marca d'água: Relatórios preliminares 2001**. Brasília: FINATEC, 2002, 47p.

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

DOURADO NETO, D.; NIELSEN, D.R.; HOPMANS, J.W.; REICHARDT, K.; BACCHI, O.O.S. & LOPES, P.P. **Soil water retention curve**. SWRC, version 3.00. Piracicaba, 2001.

ESLAMIAN, S., BIABANAKI, M. Low flow regionalization modeling. **International Journal of Ecological Economics & Statistics**, set./nov. 2008. Disponível em: <[http://findarticles.com/p/articles/mi\\_6925/is\\_12/ai\\_n28516608/](http://findarticles.com/p/articles/mi_6925/is_12/ai_n28516608/)>. Acesso em: 24 dez. 2013.

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. **Revista Item – Irrigação e Tecnologia Moderna**, 2006. Brasília, n. 71/72, p. 42 – 50.

FARIA, A.; FRATA, A. **Bicombustíveis: a cana-de-açúcar na região hidrográfica do Rio Paraná. A produção de grãos, a pecuária e a cana na sub-bacia do Rio Ivinhema**. Versão para discussão. Campo Grande – MS. Nov. 2008.

FEPAM – **Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roesler**. Relatório II – Disponibilidade Hídrica. Cap. 3. Avaliação Quantitativa da Disponibilidade Hídrica Superficial. 76p. 2003. Disponível em:<http://eta.fepam.rs.gov.br:81/documentacoes/uruguai/relatorio02/Cap%203.pdf>. Acesso em: 09 de dezembro de 2013.

FERREIRA, E.J. **Análise técnica e econômica do projeto de irrigação do Jaíba, MG**. 1993. 159f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1993.

FILL, H.H. Informações hidrológicas. In: BARTH, F.T.; POMPEU, C.T.; FILL, H.D.; TUCCI, C.E.M.; KELMAN, J.; BRAGA JÚNIOR, B.P.F. (Orgs.). **Modelos para gerenciamento de recursos hídricos**. São Paulo: Nobel/ABRH, 1987. p. 95-210. (Coleção ABRH).

FIGUEIREDO, A.P.; OLIVEIRA, L.F.C. de. Uso dos recursos hídricos da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Santa Bárbara, Goiás, Brasil. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.40, n.1, p.28-35, 2010.

FREITAS, M.A.V.; SANTOS, A.H.M. **Perspectivas de gestão e da informação de recursos hídricos**. O estado das águas no Brasil. Agência Nacional de Energia Elétrica. 1999. CD-Rom.

GARRIDO, R.J.S. Subprojeto 4.2B – avaliação dos mecanismos financeiros para o gerenciamento sustentável da bacia do rio São Francisco. In: \_\_\_\_ **Projeto de gerenciamento integrado das atividades desenvolvidas em terra na bacia do São Francisco**. Brasília, DF: ANA/GEF/PNUMA/OEA, 2003. 335p. (Relatório Final).

GETIRANA, A.C.V. **Análise de soluções de conflitos pelo uso da água no setor agrícola através de técnicas de programação linear**. 2005. 146 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) – COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.

GLEICK, P.H. Water conflict chronology. **The Pacific Institute**. Disponível em: <[www.worldwater.org/chronology.html](http://www.worldwater.org/chronology.html)>. Acesso em: 15 jan. 2014.

GOMES, C.R.; MARQUES, F. de A.; SILVA, D.D. da; ROCHA, D.M. Análise hidrológica sazonal e flexibilidade das vazões mínimas de referência na bacia do rio Doce. 4º Encontro Técnico-Científico em suporte a Gestão das Águas da Bacia do Doce. **Anais...** Universidade Federal de Ouro Preto. 2009. Disponível em: <http://www.redectidoce.org.br/>. Acesso em: 20 jan 2014.

GUEDES, H.A.S. **Modelagem hidrodinâmica do ecossistema aquático visando a determinação do hidrograma ecológico no rio Formoso – MG**. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG. 121p. 2013.

HAHN, N.S.; ANDRIAN, I.F.; FUGI, R.; ALMEIDA, V.L. Ecologia trófica, p.209-228. In: VAZZOLER, A.E.A.M.; AGOSTINHO, A.A.; HAHN, N.S. (Eds.). **A planície de Inundação do alto rio Paraná: aspectos físicos, biológicos e socioeconômicos**. Maringá: EDUEM. 1997. 460p.

HEERMANN, D.F.; HEIN, P.R. **Performance characteristics of self propelled center-pivot sprinkler irrigation system**. Transactions of the ASAE, Saint Joseph, v.11, n.1, p.11-15, Jan., 1968.

IBIAPINA, A.V.; FERNANDES, D.; CARVALHO, D.C.; OLIVEIRA, E. SILVA; M.C.M.; GUIMARÃES V. Evolução da hidrometria no Brasil. In: Freitas, M.A.V. (Org.). **O estado das águas no Brasil**. Brasília - DF: ANEEL, SIH; MMA, SRH; MME, 1999.

IGAM. Belo Horizonte: **IGAM**, 2012. Disponível em: <<http://www.igam.mg.gov.br/component/content/article/1183-resolucao-define-percentual-de-concessao-das-outragas-de-uso-da-agua-em-minas-gerais>>. Acesso em: 18 fev. 2014.

IMAP MS. **Bacia do Rio Ivinhema: Diagnóstico hidroambiental e socioeconômico**. Campo Grande: Imap/MS 2006.

KANAZAWA, P.S. Estratégia de desenvolvimento da agricultura irrigada em Mato Grosso do Sul. **Programa de Irrigação nas bacias hidrográficas**. Disponível em: <<http://www.pibh-ms.coop.br>>. Acesso em: 20 dez. 2013.

KELLER, J., BLIESNER, R.D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: Van Nstrand Reinhold, 1990, 652p.

KELMAN, J. Gerenciamento de recursos hídricos. Parte I: Outorga. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 13., 1997, Vitória. **Anais...** Vitória: ABRH, 16 a 20 nov. 1997. CD-ROM.

LISBOA, L.; MOREIRA, M.C.; SILVA, D.D. Análise das vazões alocáveis na bacia do rio Paraopeba considerando a sazonalidade da disponibilidade hídrica. XXXVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 2009. Petrolina – PE e Juazeiro – BA. **Anais...** Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola.

MANTOVANI, E.C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L.F. **Irrigação, princípios e métodos**. 3a edição, atualizada e ampliada. Viçosa, MG, UFV. 2009. 355p.

MARQUES, F. de A. **Sistema multi-usuário de gestão de recursos hídricos**. 2006. 126 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

MARQUES, F.A. **Sistema de Controle Dinâmico para a gestão dos usos múltiplos da água**. Viçosa, MG: UFV, 2010. 234 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

MARQUES, F.A., SILVA, D.D., RAMOS, M.M., PRUSKI, F.F. AQUORA – Sistema Multi-usuário para gestão de recursos hídricos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, 2009, v.14, n.4, p. 51 – 69.

MATO GROSSO DO SUL. Secretaria de Meio Ambiente. Fundação Estadual de Meio Ambiente Pantanal. Coordenadoria de Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental. Divisão Centro de Controle Ambiental. **Microbacia hidrográfica do Rio Dourados: diagnóstico e implantação da rede básica de monitoramento da qualidade das águas**. Campo Grande, 2000. 78p.

MEDEIROS, M.J.; NAGHETTINI, M.C. Análise da viabilidade de aplicação de um fator de correção anual para o critério de vazão de outorga adotada no Estado de Minas Gerais. In: Simpósio de Recursos Hídricos, 6., 2001, Aracaju. **Anais...** Aracaju: ABRH, 2001. 1 CD-ROM.

MENDES, L.A. **Análise dos critérios de outorga de direitos de usos consuntivos dos recursos hídricos baseados em vazões mínimas e em vazões de permanência**. 2007. 189 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo – SP.

MERRIAN, J.L., KELLER, J. **Farm Irrigation System Evaluation: a guide for management**. Logan, Utah, USA: Agricultural and Irrigation Engineering Department, 1978, 271p.

MINELLA, J.P.G. Avaliação de parâmetros hidrossedimentométricos numa bacia do Rio Grande do Sul. **Revista Eletrônica de Recursos Hídricos**, v. 1, p. 46-51, 2004.

MUKHERJI, A.; FACON, T.; BURKE, J.; FRAITURE, C. de.; FAURÈS, J.; FÜLEKI, B.; GIODANO, M.; MOLDEN, D.; SHAH, T. **Revitalizing Asia's irrigation: to sustainably meet tomorrow's food needs**. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute; Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2009.

NOVAES, L.F. **Modelo para a quantificação da disponibilidade hídrica na bacia do Paracatu**. 2005. 104 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2005.

NOVAES, L.F.; PRUSKI, F.F.; PEREIRA, S.B.; QUEIROZ, D.O.; RODRIGUEZ, R. Del G. Gestão de recursos hídricos: uma nova metodologia para a estimativa das vazões mínimas. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v.17, n.1, p.62-74, 2009.

OLIVEIRA, de H.; URCHEI, M.A.; FIETZ, C.R. **Aspectos físicos e socioeconômicos da bacia hidrográfica do rio Ivinhema**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2000.

OLIVEIRA, F.A. **Procedimentos para aprimorar a regionalização de vazões: estudo de caso da bacia do Rio Grande**. 2008. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2008.

OLIVEIRA, J.R.S. de. **Otimização do aproveitamento da disponibilidade de águas superficiais na bacia do Ribeirão Entre Ribeiros**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). UFV: Viçosa, MG, 2011, p.97.

PEREIRA, L.A. **Regionalização de vazões de permanência aplicada na região hidrográfica do Uruguai utilizando o programa SisCoRV**. 2012. 118 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental). Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS.

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

PLANO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS (PNRH). **Síntese Executiva. Ministérios do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos**. Brasília, MMA, 2006.

PRUSKI, F.F.; RODRIGUEZ, R. del G.; NOVAES, L.F. de.; SILVA, D.D. da; RAMOS, M.M.; TEIXEIRA, A. de F. Impacto das vazões demandadas pela irrigação e pelos abastecimentos animal e humano, na Bacia do Paracatu. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**: Campina Grande, PB, v.11, n.2, p.199-210, 2007.

RAMOS, M.M., PURSKI, F.F. Subprojeto 4.3 – Quantificação e análise da eficiência do uso da água pelo setor agrícola na Bacia do São Francisco. In: ANA; GEF;

PNUMA; OEA. **Projeto gerenciamento integrado das atividades desenvolvidas em terra na bacia do São Francisco**. Viçosa, MG, 2003. 190p. (Relatório final).

REICHARDT, K. **Processos de transferência no sistema solo-planta atmosfera**. Campinas: Fundação Cargill, 1985.

REIS, J.A.T.; GUIMARÃES, M.A.; BARRETO NETO, A.A.; BRINGHENTI, J. Indicadores regionais aplicáveis à avaliação do regime de vazão dos cursos d'água da Bacia Hidrográfica do Rio Itabapoana. **Geociências**, v.21, n.4, p.509-516,2008.

RIBEIRO, C.B. M.; MARQUES, F.A.; SILVA, D.D. Estimativa e regionalização de vazões mínimas de referência para a bacia do rio Doce. **Engenharia na agricultura**, Viçosa, v. 13, n. 2, p. 103-107, 2005.

RODRIGUES, R.R.; PIZZETA, S.C.; REIS, E.F. dos. Impacto do manejo da irrigação no uso racional dos recursos hídricos na região sul do Espírito Santo. In: Congresso Nacional de Meio Ambiente de Poços de Caldas, 10, 2013, Poços de Caldas. **Anais...** Poços de Caldas: Instituto Federal Sul de Minas Gerais, 2013. p. 1-5.

RODRIGUEZ, R. del G. **Metodologia para estimativa das demandas e das disponibilidades hídricas na Bacia do Rio Paracatu**. 2004. 94p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

RODRIGUEZ, R. del G.; PRUSKI, F.; NOVAES, L.F. de; SILVA, D.D.; RAMOS, M.M.; TEIXEIRA, A. de F. Vazões consumidas pela irrigação e pelos abastecimentos animal e humano (urbano e rural) na Bacia do Paracatu no período de 1970 a 1976. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. 2006, vol. 11, n.3, p. 223 – 233.

SÁNCHEZ-ROMÁN, R.M.; FOLEGATTI, M.V.; ORELLANA-GONZÁLEZ, A.M.G. Situação dos recursos hídricos nas bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá utilizando modelo desenvolvido em dinâmica de sistemas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, v.29, n.4, p.578-590, 2009.

SANTOS, H.I.; OLIVEIRA, L.G.; FIOREZE, A.P. Avaliação das vazões alocáveis na bacia hidrográfica do Rio dos Bois e Sub-bacia do Rio do Peixe, Estado de Goiás. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.11, n.2, p.47-58, 2006.

SETTI, A.A.; LIMA, J.E.F.W.; CHAVES, A.G.M.; PEREIRA, I.C. **Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos**. 2. ed. Brasília, DF: ANEEL/ANA, 2001. 328 p.

SILVA, A.M.; 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**, Campina Grande, PB, v.10, n.2, p.374-380, 2006.

SILVA, B.C. Análise estatística das características de vazão do córrego Capetinga. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.7, n.2, p.311-317, 2003.

SILVA, B.M.B. da. **Influência da sazonalidade da disponibilidade hídrica nos critérios de outorga de uso da água e avaliação de índices para a gestão e planejamento de recursos hídricos na bacia do rio Paraopeba.** 2012, 62 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

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

SILVA, D.D.; RAMOS, M.M. **Planejamento e gestão integrados de recursos hídricos.** Brasília, DF: MMA/SRH/ABEAS/UFV, 89 p. 2001.

SILVA, L.M.C.; MONTEIRO, R.A. Outorga de direito de uso de recursos hídricos: uma das possíveis abordagens. In: MACHADO, C.J.S. (Org.). **Gestão de águas doces.** Rio de Janeiro: Interciência. 2004. Cap. 5, p.135-178.

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

STEDINGER, J.R.; VOGEL, R.M.; FOUFOULA-GEORGIU, E. Frequency analysis of extreme events. In: MAIDMENT, D.R. **Handbook of hidrology.** New York: MacGraw Hill, Inc., 1992.

TAGLIAFERRE, C. **Desempenho do irrigâmetro e de dois minievaporímetros para estimativa da evapotranspiração de referência.** 2006. 99 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2006.

VAN GENUCHTEN, M. Th. A closed-form equation for predicting the conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of American Journal, Madison,** v.44, p.892-898, 1980.

WANG, S., HUANG, H.H. Interactive two-stage stochastic fuzzy programming for water resources management. **Journal of Environmental Management,** 2011, v.92, p. 1986 – 1995.

## **APÊNDICES**



QUADRO 1A. Diagrama de disponibilidade dos dados de vazão no período de 1973 a 1989 nas estações fluviométricas utilizadas no estudo.

Estação/Ano	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
<b>64601000</b>																	
<b>64605000</b>	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X		X
<b>64609000</b>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X			X
<b>64610000</b>												X		X	X		
<b>64611000</b>												X		X			
<b>64613000</b>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X
<b>64613800</b>														X	X		
<b>64614000</b>												X	X	X	X		
<b>64617000</b>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

“...continua...”

“QUADRO 1A, Cont.”

Estação/Ano	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
<b>64601000</b>					X	X	X	X		X	X							
<b>64605000</b>																		
<b>64609000</b>						X	X	X	X	X		X	X					
<b>64610000</b>				X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<b>64611000</b>	X	X	X	X														
<b>64613000</b>	X		X		X	X	X	X	X	X	X						X	X
<b>64613800</b>						X	X	X	X	X	X	X	X	X				
<b>64614000</b>				X	X	X			X	X	X	X						
<b>64617000</b>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X					

Legenda: (x) Anos com mais de 95% de dados

Quadro 2A. Valores de  $Q_{7,10}$  mensal e anual para todas as estações fluviométricas na bacia do rio Ivinhema

<b>Estações/Meses</b>	<b>64601000</b>	<b>64605000</b>	<b>64609000</b>	<b>64610000</b>	<b>64611000</b>	<b>64613000</b>	<b>64613800</b>	<b>64614000</b>	<b>64617000</b>
<b>Janeiro</b>	18,35	49,01	47,28	60,37	110,85	18,38	29,64	138,46	195,84
<b>Fevereiro</b>	22,32	59,18	52,46	69,13	147,43	26,06	43,57	195,69	200,39
<b>Março</b>	25,38	49,47	52,73	61,84	137,90	23,94	43,45	176,22	188,56
<b>Abril</b>	20,79	48,27	45,59	63,29	116,48	20,98	31,57	160,53	190,61
<b>Mai</b>	20,57	30,87	45,66	70,80	80,14	18,94	29,46	142,10	187,81
<b>Junho</b>	17,24	46,83	46,17	69,84	142,87	17,96	27,94	184,58	182,94
<b>Julho</b>	17,77	41,58	42,93	63,60	123,17	17,40	28,91	166,72	176,55
<b>Agosto</b>	14,52	40,20	39,22	56,64	117,56	15,29	24,05	142,64	162,68
<b>Setembro</b>	14,38	40,55	34,88	47,02	107,74	13,64	17,40	105,80	139,99
<b>Outubro</b>	13,44	37,15	31,76	47,15	85,24	11,86	21,55	95,68	139,91
<b>Novembro</b>	15,52	45,27	35,06	50,60	88,76	14,43	21,25	107,63	140,10
<b>Dezembro</b>	13,80	69,08	39,82	56,24	131,53	21,52	30,86	116,27	153,36
<b>Anual</b>	11,84	33,39	31,42	45,61	101,14	12,04	16,75	100,87	136,67

QUADRO 3A. Valores de Q<sub>95</sub> mensal e anual para todas as estações fluviométricas na bacia do rio Ivinhema

<b>Estação/Meses</b>	<b>64601000</b>	<b>64605000</b>	<b>64609000</b>	<b>64610000</b>	<b>64611000</b>	<b>64613000</b>	<b>64613800</b>	<b>64614000</b>	<b>64617000</b>
<b>Janeiro</b>	18,35	49,01	47,28	60,37	110,85	18,38	29,64	138,46	195,84
<b>Fevereiro</b>	22,32	59,18	52,46	69,13	147,43	26,06	43,57	195,69	200,39
<b>Março</b>	25,38	49,47	52,73	61,84	137,90	23,94	43,45	176,22	188,56
<b>Abril</b>	20,79	48,27	45,59	63,29	116,48	20,98	31,57	160,53	190,61
<b>Mai</b>	20,57	30,87	45,66	70,80	80,14	18,94	29,46	142,10	187,81
<b>Junho</b>	17,24	46,83	46,17	69,84	142,87	17,96	27,94	184,58	182,94
<b>Julho</b>	17,77	41,58	42,93	63,60	123,17	17,40	28,91	166,72	176,55
<b>Agosto</b>	14,52	40,20	39,22	56,64	117,56	15,29	24,05	142,64	162,68
<b>Setembro</b>	14,38	40,55	34,88	47,02	107,74	13,64	17,40	105,80	139,99
<b>Outubro</b>	13,44	37,15	31,76	47,15	85,24	11,86	21,55	95,68	139,91
<b>Novembro</b>	15,52	45,27	35,06	50,60	88,76	14,43	21,25	107,63	140,10
<b>Dezembro</b>	13,80	69,08	39,82	56,24	131,53	21,52	30,86	116,27	153,36
<b>Anual</b>	11,84	33,39	31,42	45,61	101,14	12,04	16,75	100,87	136,67

QUADRO 4A. Valores de 50% Q7,10 e 70% Q95 de base anual e mensal para as estações fluviométricas na bacia do rio Ivinhema

Estações	Base anual		Base mensal	
	50% Q <sub>7,10</sub> anual	70% Q <sub>95</sub> anual	50% Q <sub>7,10</sub> mensal	70% Q <sub>95</sub> mensal
<b>64601000</b>	5,92	11,74579	8,92	12,63928
<b>64605000</b>	16,695	33,39	23,2275	36,04883
<b>64609000</b>	15,71	28,28	21,39833	29,605
<b>64610000</b>	22,805	41,05514	29,855	42,87595
<b>64611000</b>	50,57	86,8	57,90292	90,26728
<b>64613000</b>	6,02	12,20023	9,183333	13,17279
<b>64613800</b>	8,375	19,187	14,56875	21,57167
<b>64614000</b>	50,435	96,25	72,18	104,0842
<b>64617000</b>	68,335	122,5	85,78083	126,1534

FIGURA 1A. Curva característica de retenção de água no solo na profundidade de 0 - 40 cm, sendo: a) pivô 26; b) pivô 38; c) pivô 43; e d) pivô 44

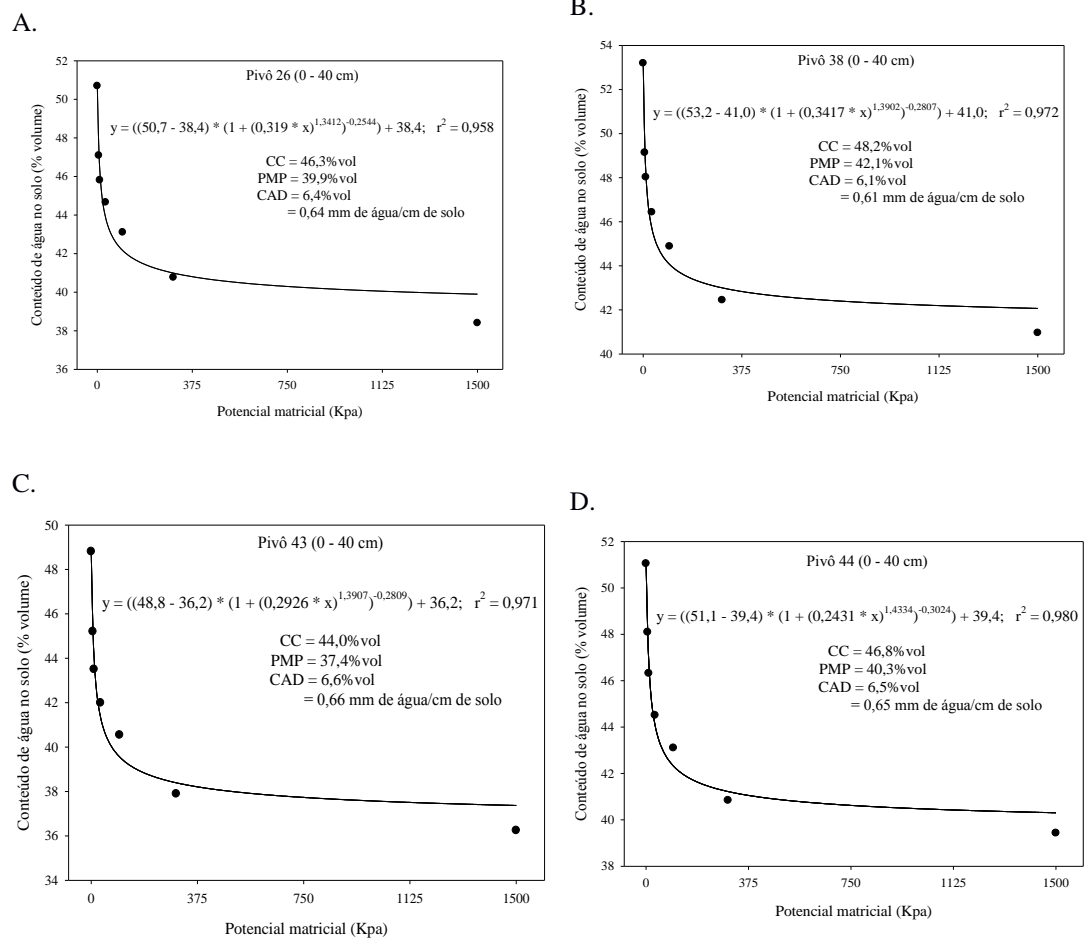


FIGURA 2A. Curva característica de retenção de água no solo na profundidade de 0 - 40 cm, sendo: a) pivô 51; b) pivô 58; c) pivô 59; e d) pivô 88

