

# CAPÍTULO 9

## Recursos Hídricos Superficiais no Cerrado

*Daniel Althoff*

*Lineu Neiva Rodrigues*



Fotos: Lineu Rodrigues (da esquerda para a direita - 1, 2, 3 e 4); Fabiano Bastos (primeiro plano).

## 9.1 Introdução

Os recursos hídricos são renováveis, mas são limitados no espaço e no tempo, podendo não serem suficientes para atender às demandas de todos os usuários. Portanto, o uso dos recursos hídricos disponíveis deve ser planejado e harmonizado entre os diferentes usuários.

No Brasil, a gestão de recursos hídricos desenvolveu-se com maior intensidade e vigor nas Unidades da Federação e nas bacias hidrográficas, onde eram e ainda são percebidos conflitos relacionados às restrições ao acesso à água. Esses conflitos decorrem tanto por questões relacionadas à baixa disponibilidade hídrica, quanto por questões relacionadas ao excesso da demanda. Até o final do século passado, os principais problemas relacionados ao acesso à água eram verificados, com maior intensidade, apenas no semiárido nordestino, no entorno das grandes cidades brasileiras e, pontualmente, em áreas específicas de estados do Sul e do Sudeste (Agência Nacional de Águas, 2014).

Atualmente, em razão da falta de planejamento intersetorial de longo prazo e do desenvolvimento acelerado e muitas vezes não planejado das diversas atividades econômicas, são encontradas áreas no país que também começam a apresentar os primeiros conflitos intrasetoriais e intersetoriais em torno da demanda e da oferta de recursos naturais, dentre eles a água (Agência Nacional de Águas, 2014). Esse é o caso, por exemplo, de várias bacias hidrográficas do bioma Cerrado.

O Cerrado é crucial para a dinâmica de águas no território brasileiro, sendo essencial para o abastecimento de água para o semiárido e estratégico para a manutenção do equilíbrio hidrológico do país. Os períodos de estiagens estão se tornando cada vez mais acentuados. Isto, aliado a um rápido desenvolvimento econômico da região e à falta de uma adequada estratégia de monitoramento e de gestão de recursos hídricos, têm contribuído para aumentar a escassez hídrica e as disputas pelo uso de água, comprometendo o abastecimento de regiões importantes, como, por exemplo, o Distrito Federal (Agência Nacional de Águas, 2017).

Compreender o potencial hídrico dessa região é importante para o planejamento estratégico, o desenvolvimento econômico e o estabelecimento de políticas hídricas efetivas, que considerem as diferentes dimensões do uso e dos usuários de recursos hídricos. Neste contexto, quantificar e mapear a escassez de água é essencial para entender a vulnerabilidade à escassez de água nas regiões do Cerrado, o que contribuirá para assegurar a produção de alimentos e minimizar a pobreza por meio de desenvolvimento econômico.

## 9.2 Disponibilidade hídrica

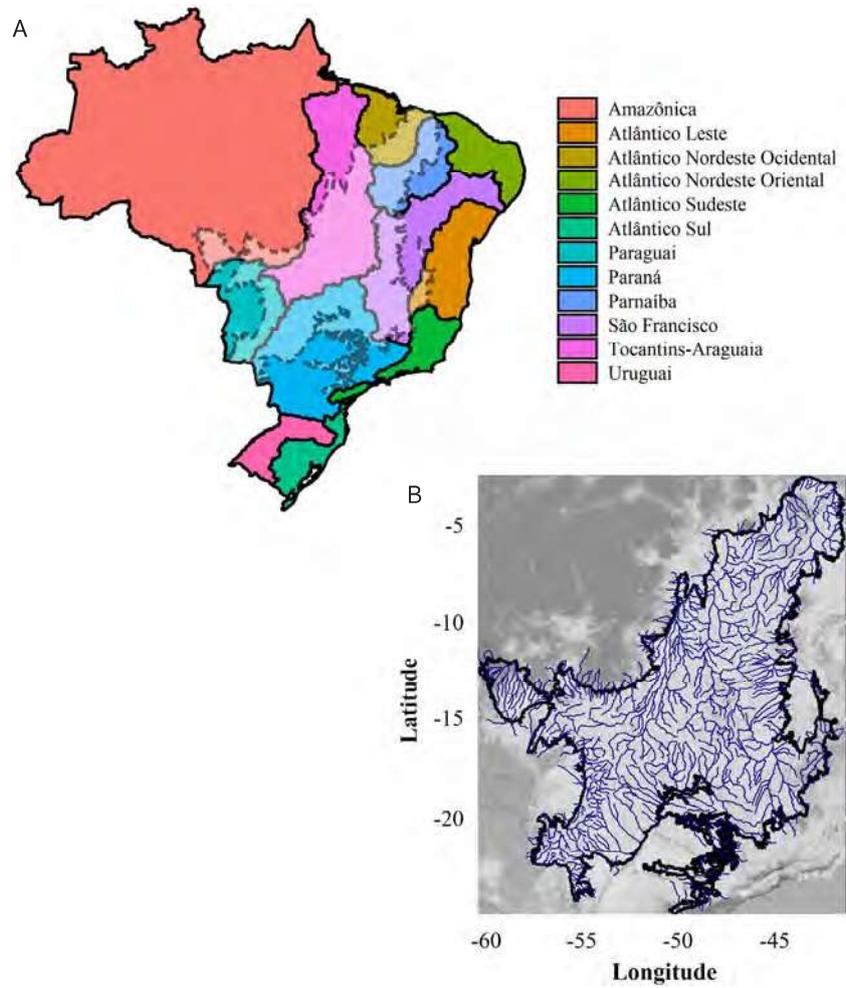
O Cerrado pode ser visto como a caixa d'água na América do Sul, responsável por captar as águas pluviais que irão abastecer as nascentes de rios de várias bacias hidrográficas, além do Aquífero Guarani (Brasil, 2013). Com um perímetro de aproximadamente 37,3 milhões de quilômetros, a região do Cerrado inclui total ou parcialmente as seguintes regiões hidrográficas: Tocantins-Araguaia, São Francisco, Parnaíba, Paraná, Paraguai, Atlântico Nordeste Ocidental, Atlântico Leste e Amazônica (Figura 9.1).

Das regiões hidrográficas, observa-se que 64,6% da área de drenagem da região hidrográfica do Tocantins-Araguaia encontra-se no Cerrado. Analisando-se as demais regiões, observa-se que 46,7% do São Francisco, 59,3% do Parnaíba, 46,0% do Paraná, 48,6% do Paraguai, 46,7% do Atlântico Nordeste Ocidental, 10,4% do Atlântico Leste e 3,7% da Amazônica se encontram dentro da região do Cerrado.

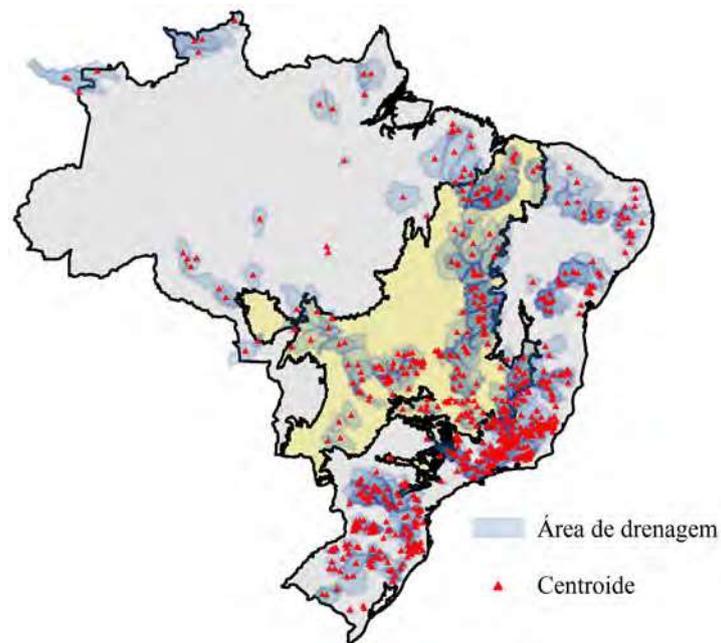
Para avaliar a disponibilidade hídrica da região, foram utilizados dados de vazão provenientes de 607 estações fluviométricas (Figura 9.2). Os dados utilizados foram obtidos no portal HidroWeb<sup>8</sup>. Também foram utilizadas nas avaliações as estações com menos de 10% de falhas para o período de junho de 2000 a dezembro de 2014 (~14,5 anos).

---

<sup>8</sup> Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/hidroweb>



**Figura 9.1.** As principais regiões hidrográficas do Brasil (A) e a hidrografia do Cerrado (B).

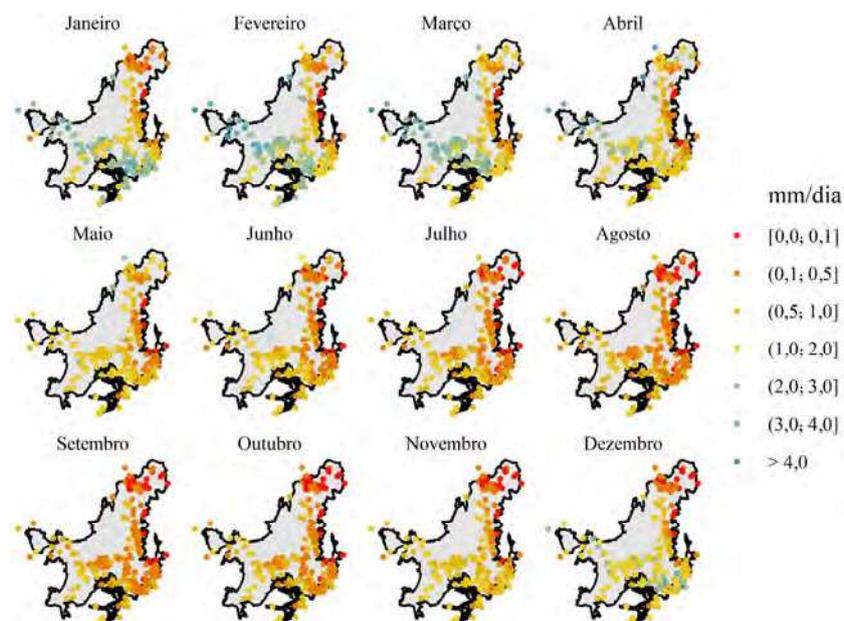


**Figura 9.2.** Área de drenagem e respectivos centroides das estações fluviométricas.

Na Figura 9.3, são apresentadas informações sobre as vazões referentes às estações cujas áreas de drenagem são inferiores a 50 mil quilômetros quadrados ( $1 \text{ mm dia}^{-1} = \sim 11,6 \text{ L km}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ). Esse critério foi estabelecido para minimizar possíveis distorções no cálculo da disponibilidade hídrica devido a estações com grandes áreas de drenagem, evitando que um único valor de disponibilidade viesse a representar a realidade de toda a região.

Esse fato pode ser visto, por exemplo, nas estações fluviométricas próximas à foz da bacia do Rio São Francisco, onde locais distintos da bacia são caracterizados por climas diferentes (tropical e semiárido). No total, foram identificadas 222 estações que se enquadraram nesse critério e apresentaram área inteira ou parcialmente dentro do Cerrado. Para melhor representar a disponibilidade local das vazões,

foram apresentados os centroides das respectivas áreas de drenagem para as estações fluviométrica.



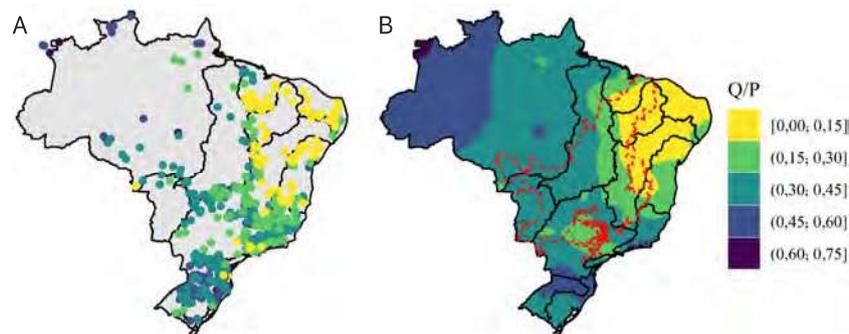
**Figura 9.3.** Vazão média mensal das estações fluviométricas do Cerrado, considerando o período de junho de 2000 a dezembro de 2014 (~14,5 anos).

Analisando a Figura 9.3, observa-se uma região, que vai do Oeste (município de São Felipe D'Oeste, RO) ao Sudeste (município de Nova Era, MG), cujas bacias se encontram totalmente ou parcialmente dentro dos limites do Cerrado, com maior disponibilidade hídrica de dezembro a abril. A partir de abril, fica evidente a redução da disponibilidade hídrica na região, chegando a valores inferiores a  $1 \text{ mm dia}^{-1}$  de vazão. Para a região Leste (município de Riacho dos Machados, MG) ao Norte do Cerrado (município de Chapadinha, MA), pode ser notada uma disponibilidade hídrica baixa ao longo de todo ano. Essas vazões são especialmente baixas de julho a dezembro para a região Norte, com muitos rios apresentando vazão intermitente. É possível notar também que há coerência em relação ao índice de aridez, conforme

foi apresentado na Figura 3.9 (Capítulo 3) desta obra. As regiões que apresentam elevado índice de aridez em grande parte do ano são as mesmas que apresentam baixa disponibilidade hídrica.

### 9.3 Contribuição do Cerrado para as regiões hidrográficas

A contribuição do Cerrado para a vazão de cursos d'água das principais regiões hidrográficas do país foi avaliada por meio do coeficiente de escoamento superficial, que representa a fração da precipitação (P) que é convertida em vazão escoada (Q) (Figura 9.4A). Para calcular o coeficiente, foi utilizada a precipitação média anual do IMERG (Huffman et al., 2019) para o mesmo período adotado na análise de disponibilidade hídrica (2000 a 2014). A razão entre vazão e chuva (Q/P) foi interpolada por krigagem ordinária para todo o território brasileiro (Figura 9.4B), possibilitando estimar a fração da chuva que contribui para a vazão em todo o território, e, conseqüentemente, a contribuição do Cerrado para as vazões nas principais regiões hidrográficas brasileiras.



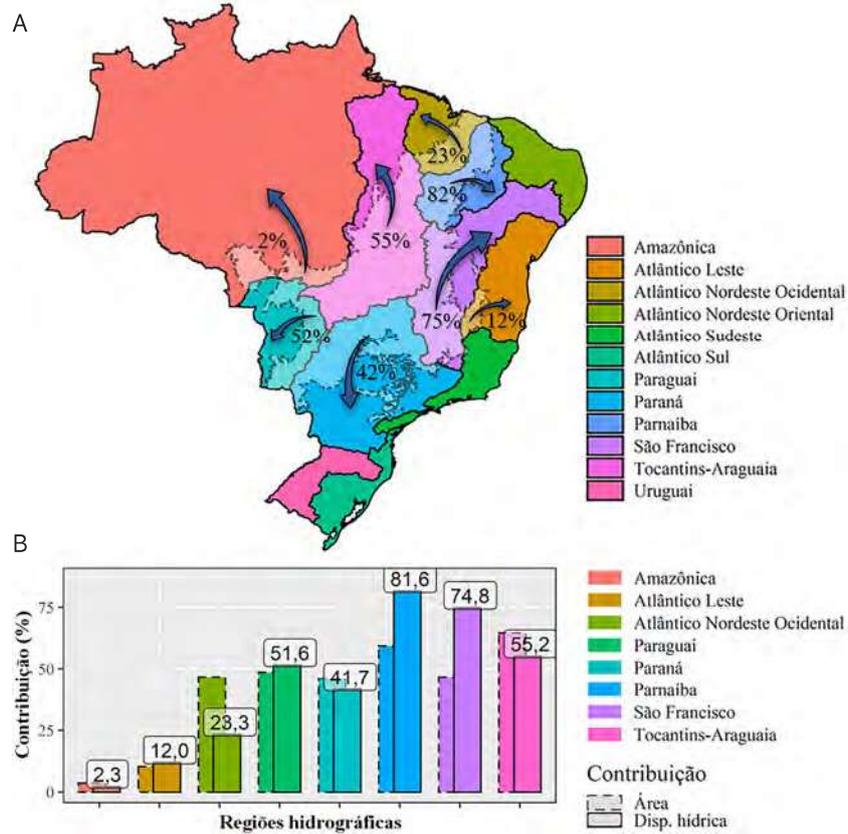
**Figura 9.4.** Coeficiente de escoamento (Q/P) obtido no período de 2000 a 2014 para os centroides de área de drenagem das estações fluviométricas (A) e interpolado por meio de krigagem ordinária (B).

A relação entre vazão escoada e precipitação (Q/P), como ilustrado na Figura 4, indica que apenas uma pequena parte da chuva que precipita na região Leste e Norte do Cerrado, regiões hidrográficas do Parnaíba e São Francisco, se transforma em vazão. As partes dessas regiões hidrográficas fora do Cerrado apresentam clima ainda mais árido e menor coeficiente de escoamento, o que resulta em elevada contribuição do Cerrado para a disponibilidade hídrica dessas regiões em relação à sua ocupação em área.

Na Figura 9.5, está apresentada a contribuição do Cerrado para a vazão total das principais regiões hidrográficas brasileiras localizada neste bioma (Figura 9.5A e 9.5B). É possível observar a vazão disponível para as regiões hidrográficas, as quais se originaram em áreas do Cerrado. Da mesma forma, é possível observar a vazão disponível para as regiões hidrográficas que têm origem nas áreas do Cerrado, bem como a proporção dessas regiões ocupadas pelo bioma Cerrado (Figura 9.4B, barra em contornos tracejados). Conforme visto, é possível verificar que o Cerrado contribui para as vazões de oito das doze regiões hidrográficas, o que demonstra sua importância estratégica para a disponibilidade hídrica e o desenvolvimento econômico dessas regiões.

Em termos de área (Figura 9.5B), observa-se que a região hidrográfica do Tocantins-Araguaia é a que apresenta a maior porcentagem de sua área como parte do Cerrado (64,6%), seguida das regiões hidrográficas do Parnaíba (59,3%), Paraguai (48,6%), Atlântico Nordeste Ocidental (46,7%), São Francisco (46,7%), Paraná (46,0%), Atlântico Leste (10,4%) e a Amazônica (3,7%).

Já em termos de vazão (Figura 9.5B), observa-se que a região hidrográfica do Parnaíba é a que apresenta a maior porcentagem de vazão originando em áreas de Cerrado (81,6%), seguida da região hidrográfica do São Francisco (74,8%), Tocantins-Araguaia (55,2%), Paraguai (51,6%), Paraná (41,7%), Atlântico Nordeste Ocidental (23,3%), Atlântico Leste (12,0%) e Amazônica (2,3%).



**Figura 9.5.** Contribuição do Cerrado para a vazão total das principais regiões hidrográficas do Brasil que se encontram dentro do Cerrado (A); a proporção de área das regiões hidrográficas do Brasil que se encontram dentro do Cerrado (B). As barras com contornos tracejados representam a proporção em área que as principais regiões hidrográficas do Brasil apresentam dentro do Cerrado, enquanto as barras em contornos sólidos representam a contribuição do Cerrado na vazão das mesmas.

A relação entre a proporção de área e a contribuição de vazão não é linear. Por exemplo, o Cerrado ocupa apenas 59,3% e 46,7% das áreas de drenagem das regiões hidrográficas do Parnaíba e São Francisco,

mas contribui com 81,6% e 74,8% da disponibilidade hídrica dessas regiões, respectivamente (Figura 9.5).

Por outro lado, para a região hidrográfica do Atlântico Nordeste Ocidental, o Cerrado apresenta uma contribuição em disponibilidade hídrica proporcionalmente menor do que a área ocupada pelo bioma. Apesar de ocupar cerca de 46,7% da área dessa região hidrográfica, o Cerrado contribui com apenas 23,3% da disponibilidade hídrica. Isso se deve ao fato da porção do Atlântico Nordeste Ocidental ocupada pelo Cerrado apresentar baixo coeficiente de escoamento em comparação à porção ocupada pelo bioma Amazônia.

Como pode ser observado, o Cerrado tem papel estratégico em termos de recursos hídricos para várias regiões hidrográficas. Porém, para o São Francisco, ele é crucial, uma vez que impacta a qualidade de vida de mais de 15 milhões de pessoas que vivem em cerca de 505 municípios dessa região. Este fato demonstra a importância de ter uma visão integrada dos recursos hídricos, levando em conta os diversos usos e as especificidades das regiões. Para isso, é fundamental planejar e gerir estrategicamente esses recursos no Cerrado.

## 9.4 Critérios de outorga

A Constituição Federal dividiu o domínio das águas entre a União, os estados e o Distrito Federal, DF. Cabe aos estados e ao DF o domínio das águas subterrâneas, dos rios estaduais e dos distritais. Por sua vez, a Lei das Águas determina que a unidade territorial de gestão dos recursos hídricos é a bacia hidrográfica, que, em geral, não coincide com a divisão político-administrativa das unidades federadas e nem com os limites dos aquíferos (Agência Nacional de Águas (Brasil), 2013).

Após a Constituição Federal de 1988, que definiu como competência da União a instituição do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (Art. 21, XIX) e determinou que as águas são bens públicos de domínio da União ou dos Estados (Arts. 20 e 26, respec-

tivamente), ocorreu a edição da Lei n.º 9.433/1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (Brasil, 2006).

A Política Nacional de Recursos Hídricos se baseia nos seguintes fundamentos: (a) a água é um bem de domínio público; (b) a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico; (c) em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais; (d) a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas; (e) a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e para a atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos; e (f) a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades.

Constituem diretrizes gerais de ação para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos: (a) a gestão sistemática dos recursos hídricos, sem dissociação dos aspectos de quantidade e qualidade; (b) a adequação da gestão de recursos hídricos às diversidades físicas, bióticas, demográficas, econômicas, sociais e culturais das diversas regiões do país; (c) a integração da gestão de recursos hídricos com a gestão ambiental; (d) a articulação do planejamento de recursos hídricos com o dos setores usuários e com os planejamentos regional, estadual e nacional; (e) a articulação da gestão de recursos hídricos com a do uso do solo; (f) a integração da gestão das bacias hidrográficas com a dos sistemas estuarinos e zonas costeiras.

São instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos: (a) os planos de recursos hídricos; (b) o enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água; (c) a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos; (d) a cobrança pelo uso de recursos hídricos; (e) a compensação a municípios; e (f) o sistema de informações sobre recursos hídricos.

A outorga e a cobrança, por impactarem diretamente as atividades dos usuários, possivelmente são os instrumentos mais conhecidos e

debatidos pela sociedade. A legislação de recursos hídricos apresenta critérios importantes que devem ser considerados em todas as análises de outorgas realizadas, tais como as prioridades de uso estabelecidas nos planos de recursos hídricos e a preservação do uso múltiplo dos recursos hídricos. Isso significa que a disponibilidade hídrica de uma bacia não deve ser comprometida com apenas um usuário ou setor, em situações em que há diversos setores com interesses de uso.

A Agência Nacional de Águas, entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e integrante do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, possui competências para emitir outorgas de direito de uso de recursos hídricos em corpos de água de domínio da União, como rios e lagos que banham mais de um estado ou país e, ainda, as águas armazenadas em reservatórios de propriedade de entidades federais. Quando se trata de águas subterrâneas, dos rios estaduais e dos distritais, é responsabilidade dos Estados e do DF emitir outorgas de direito de uso desses recursos hídricos.

A dupla dominialidade das águas é um complicador adicional para a gestão de recursos hídricos. A adoção de critérios distintos, entre os órgãos gestores para a avaliação das vazões máximas outorgáveis é um complicador que pode comprometer a gestão.

A vazão máxima outorgável é, geralmente, uma fração de uma vazão de referência. As vazões referências utilizadas no Brasil são a  $Q_{7,10}$ ,  $Q_{95}$  e  $Q_{90}$ . A  $Q_{7,10}$  é a vazão média mínima de 7 dias consecutivos para um período de retorno de 10 anos, enquanto as vazões  $Q_{95}$  e  $Q_{90}$  são as igualadas ou superadas em 95% e 90% do tempo ("vazão de permanência"), respectivamente. Para águas superficiais de domínio da União, a vazão máxima outorgável é de 70% da vazão  $Q_{95}$ ; no entanto, isso pode variar em função das peculiaridades de cada região.

Outro aspecto a ser considerado diz respeito às águas superficiais que são de domínio de unidades federativas em que diferentes critérios são adotados para concessão de outorgas. Os critérios adotados para a região do Cerrado são apresentados na Tabela 9.1. Note que esses

critérios variam de acordo com as peculiaridades de cada região e são determinados por diferentes legislações. Essas legislações são provenientes de decretos estaduais, distritais, resoluções provenientes de diferentes órgãos, como por exemplo o Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH, CRH ou CEHIDRO) de cada estado, o Instituto Mineiro de Gestão de Águas (IGAM), a Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD), o Instituto de Águas do Paraná (IAP), o Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE), entre outros.

Além da vazão máxima outorgável, na Tabela 9.1, são apresentados os critérios de limite máximo de vazões consideradas insignificantes e isentas de outorga. Contudo, em alguns casos, ainda é necessário registrar a captação e água junto ao órgão responsável.

Na Tabela 9.2, são apresentados os principais órgãos gestores e a legislação que institui a política de recursos hídricos para cada domínio hídrico.

**Tabela 9.1. Critérios adotados para concessão de outorga para captação de águas superficiais no Cerrado.**

Domínio	Legislação <sup>(1)</sup>	Vazão outorgável	Legislação <sup>(2)</sup>	Vazão insignificante
União	-	70% da $Q_{95}$ <sup>(3)</sup>	Rs. ANA 542/2004	1,0 L s <sup>-1</sup>
BA	D.E. n° 6.296/1997	80% da $Q_{90}$	D.E. n° 6.296/1997	0,5 L s <sup>-1</sup>
DF	D.D. n° 22.359/2001	80% da $Q_{90}$	D.D. n° 22.359/2001	1 L s <sup>-1</sup>
GO	Rs. CERH/GO n° 9/2005	70% da $Q_{95}$	-	-
MA	D.E. n° 27.845/2011	20% da $Q_{90}$	D.E. n° 27.845/2011	0,2 L s <sup>-1</sup>
MG	Rs. conjunta SEMAD-IGAM n° 1.548/2012	50% da $Q_{7,10}$ <sup>(4)</sup>	D.N. CERH/MG n° 9/2004	5 <sup>1</sup> ,0 L s <sup>-1</sup>
MS	Rs. CERH/MS n° 25/2015	70% da $Q_{95}$	Rs. CERH/MS n° 25/2015	1,5 L s <sup>-1</sup>
MT	Rs. CEHIDRO n° 27/2009	70% da $Q_{95}$	Rs. CEHIDRO n° 27/2009	Até 0,5 L s <sup>-1</sup> (se $Q_{95} > 200$ L s <sup>-1</sup> )
PA	Rs. CERH/PA n° 10/2010	70% da $Q_{95}$	Rs. CERH/PA n° 9/2009	1 L s <sup>-1</sup>
PI	Rs. CERH/PI n° 4/2005	80% da $Q_{95}$	-	-
PR	D.E. n° 1.590/2015	50% da $Q_{95}$	Po. IAP n° 130/2020	0,5 L s <sup>-1</sup>
RO	-	-	Rs. CRH/RO n° 4/2014	1 L s <sup>-1</sup>
SP	D.E. n° 43.284/1998	50% da $Q_{7,10}$	Po. DAEE n° 1.631/2017	25 m <sup>3</sup> dia <sup>-1</sup>
TO	D.E. n° 9.433/1997	75% da $Q_{90}$	D.E. n° 9.433/1997	1 L s <sup>-1</sup> ou 21,6 m <sup>3</sup> dia <sup>-1</sup>

<sup>(1)</sup> Legislação referente à vazão máxima outorgável a fio d'água. D.E. = Decreto Estadual, D.D. = Decreto Distrital, Rs. = Resolução, Po = Portaria, D.N. = Deliberação Normativa; <sup>(2)</sup> Legislação referente à limites máximos de vazões consideradas insignificantes; <sup>(3)</sup> Pode variar em função da peculiaridade de cada região; <sup>(4)</sup> Exceções: 30% da  $Q_{7,10}$  para bacias hidrográficas dos Rios Jequitai, Pacui, Urucuia, Pandeiros, Verde Grande, Pará, Paraopeba e Velhas (áreas dessas bacias consideradas pelo IGAM como de conflito pelo uso da água - limite de 50% da  $Q_{7,10}$ ); <sup>(5)</sup> 0,5 L s<sup>-1</sup> em regiões de escassez.

**Tabela 9.2.** Órgãos gestores de água e legislação que institui a política de recursos hídricos para cada domínio.

Domínio	Órgão gestor	Legislação
União	Agência Nacional de Águas (ANA)	Lei nº 9.433/1977
BA	Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (INEMA-BA)	Lei nº 11.612/2009
DF	Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal (ADASA-DF)	Lei nº 2.725/2001
GO	Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD-GO)	Lei nº 13.123/1997
MA	Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Naturais (SEMA-MA)	Lei nº 8.149/2004
MG	Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM)	Lei nº 13.199/1.999
MS	Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul (IMASUL)	Lei nº 2.406/2002
MT	Superintendência de Recursos Hídricos da Secretaria de Estado de Meio Ambiente (SURH/SEMA-MT)	Lei nº 11.088/2020
PA	Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade (SEMAS-PA)	Lei nº 6.381/ 2001
PI	Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMAR-PI)	Lei nº 5.165/2000
PR	Instituto de Água e Terra (IAT) e Secretaria do Desenvolvimento Sustentável e do Turismo (SEDEST-PR)	Lei nº 12.726/ 1999
RO	Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental (SEDAM-RO)	Lei nº 255/2002
SP	Departamento de Águas e Energia Elétrica de São Paulo (DAEE-SP)	Lei nº 7.663/ 1991
TO	Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Tocantins (SEMARH-TO)	Lei nº 1.307/2002

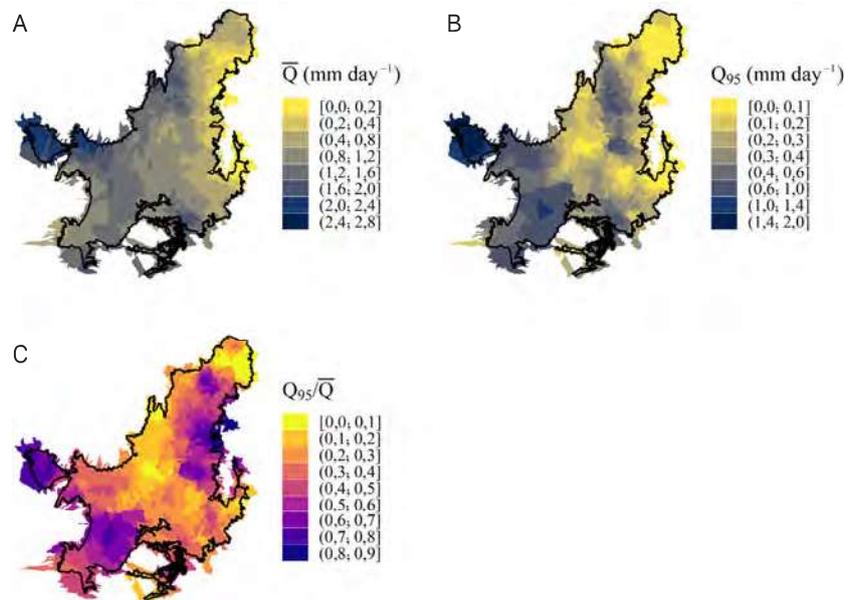
## 9.5 Vazões de referência (assinaturas hidrológicas)

As assinaturas hidrológicas podem ser utilizadas para representar os padrões hidrológicos de uma bacia hidrográfica, como, por exemplo, o seu potencial para o desenvolvimento sustentável da agricultura irrigada. A vazão média ( $\bar{Q}$ ), por exemplo, pode ser utilizada para descrever a disponibilidade hídrica potencial da região.

Dessa forma, a razão entre  $Q_{95}$  e  $\bar{Q}$  ( $Q_{95}/\bar{Q}$ ) caracteriza uma disponibilidade hídrica relativa e indica o potencial de regularização de uma bacia hidrográfica (Althoff et al., 2021). Ou seja, quanto menor a disponibilidade hídrica relativa, maior o potencial de regularização e, assim, maior o volume de água que poderá ser armazenado tanto em grandes reservatórios como em pequenas barragens de terra em propriedades rurais.

O armazenamento do excesso de escoamento superficial durante a época chuvosa tem como objetivo disponibilizar a água em períodos de estiagem ou durante a estação seca, melhorando a sustentabilidade hídrica local. Logo, uma baixa disponibilidade hídrica relativa em regiões com valores baixos de  $Q_{95}$  pode significar um grande potencial de melhoria no uso sustentável de água, especialmente para o desenvolvimento da agricultura irrigada.

Na Figura 9.6, são apresentados mapas representativos da vazão média (ou disponibilidade hídrica potencial), da vazão mínima de referência  $Q_{95}$  e da disponibilidade hídrica relativa. Os mapas foram elaborados com base no banco de dados HydroCerrado (Althoff et al., 2021, 2022). Esse banco de dados disponibiliza séries de vazões simuladas para ottobacias de nível 5 para todo o Cerrado no período de 2003 a 2019. Ottobacias são áreas de contribuição dos trechos de uma rede hidrográfica codificadas pelo método hierárquico de Otto Pfafstetter (Furnans; Olivera, 2001). Apesar de algumas ottobacias serem interbacias, as vazões simuladas presentes no banco de dados HydroCerrado fornecem uma estimativa da disponibilidade hídrica gerada nessas unidades hidrográficas.



**Figura 9.6.** Vazão média (ou disponibilidade hídrica potencial) (A); vazão igualada ou superada 95% do tempo (B); e disponibilidade hídrica relativa (C).

A disponibilidade hídrica média e relativa é mais elevada para as regiões hidrográficas Amazônica e Paraguai, apresentando  $\bar{Q}$  médias de 1,94 mm dia<sup>-1</sup> e 1,47 mm dia<sup>-1</sup> e  $Q_{95}/\bar{Q}$  médias de 0,485 mm dia<sup>-1</sup> e 0,445 mm dia<sup>-1</sup>, respectivamente.

As regiões hidrográficas do São Francisco e Parnaíba apresentam baixos valores de disponibilidade hídrica média, com  $\bar{Q}$  médias de 0,564 mm dia<sup>-1</sup> e 0,371 mm dia<sup>-1</sup>, respectivamente. Contudo, essas regiões apresentam elevada disponibilidade hídrica relativa, com  $Q_{95}/\bar{Q}$  médias iguais a 0,386 e 0,385, respectivamente, o que pode indicar um melhor cenário para a gestão de recursos hídricos. Por outro lado, as regiões hidrográficas com menores médias de disponibilidade hídrica para outorga são as do Atlântico Leste e Atlântico Nordeste Oriental, apresentando  $Q_{95}$  médias de 0,057 mm dia<sup>-1</sup> e 0,036 mm dia<sup>-1</sup>, respec-

tivamente, indicando atenção ao desenvolvimento de agricultura irrigada nesta região.

As regiões central e norte do Cerrado apresentam baixa disponibilidade hídrica relativa, o que indica que o uso sustentável de água pode melhorar através do armazenamento local desse recurso. Por exemplo, a ottobacia 73262 (Figura 9.6) apresenta  $Q_{95}$  de  $0,06 \text{ mm dia}^{-1}$ . Levando em consideração que 70% da  $Q_{95}$  é passível de outorga, observa-se uma disponibilidade de água para fins de irrigação de  $0,044 \text{ mm dia}^{-1}$  ( $0,50 \text{ L km}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ). Para essa ottobacia, a disponibilidade hídrica relativa ( $Q_{95}/\bar{Q}$ ) é de apenas  $0,28 \text{ mm dia}^{-1}$ . De fato, há uma grande oportunidade para melhoria do armazenamento de água excedente no período de chuvas, a fim de aumentar a disponibilidade na estação seca.

Comparando seis regiões/ottobacias (Figura 9.7), nota-se uma maior disponibilidade hídrica para as ottobacias 44992 ( $\bar{Q} = 2,15 \text{ mm dia}^{-1}$ ) e 64982 ( $\bar{Q} = 1,28 \text{ mm dia}^{-1}$ ). Entre elas, observa-se uma maior disponibilidade hídrica relativa para a ottobacia 44992 ( $Q_{95}/\bar{Q} = 0,71$ ), o que se deve a baixa sazonalidade das vazões. Essa região apresenta, portanto, elevada aptidão para agricultura irrigada. Por outro lado, a ottobacia 64982 apresenta baixa disponibilidade relativa ( $Q_{95}/\bar{Q} = 0,21$ ), que pode ser melhorada por meio da instalação de pequenas barragens.

De forma geral, por meio da  $Q_{95}$ , pode-se avaliar a vazão outorgável média para cada uma das principais regiões hidrográficas do Cerrado (Figura 9.8). Por exemplo, a região hidrográfica Amazônica é a que apresenta maiores valores de  $Q_{95}$  para suas ottobacias, variando de  $0,25$  a  $1,77 \text{ mm dia}^{-1}$ , com média de  $0,95 \text{ mm dia}^{-1}$  (Figura 9.8A). Analisando a  $Q_{95}$  ponderada pela área de drenagem de suas ottobacias, obtém-se uma  $Q_{95}$  igual a  $1,10 \text{ mm dia}^{-1}$  (Figura 9.8B). As regiões hidrográficas com as menores  $Q_{95}$  médias ponderadas pela área das ottobacias são Atlântico Leste ( $0,06 \text{ mm dia}^{-1}$ ), Atlântico Nordeste Ocidental ( $0,12 \text{ mm dia}^{-1}$ ) e Parnaíba ( $0,18 \text{ mm dia}^{-1}$ ). Além da Amazônica ( $1,10 \text{ mm dia}^{-1}$ ), as únicas outras regiões que estão acima da média do Cerrado ( $0,41 \text{ mm dia}^{-1}$ ) são as do Paraguai ( $0,65 \text{ mm dia}^{-1}$ ) e do Paraná ( $0,51 \text{ mm dia}^{-1}$ ).

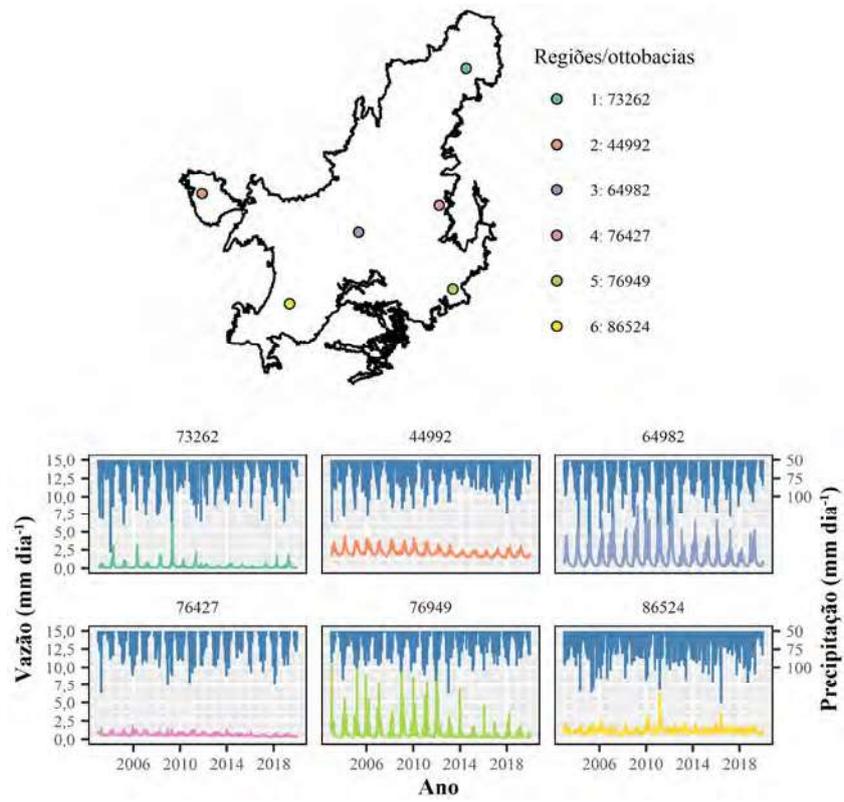
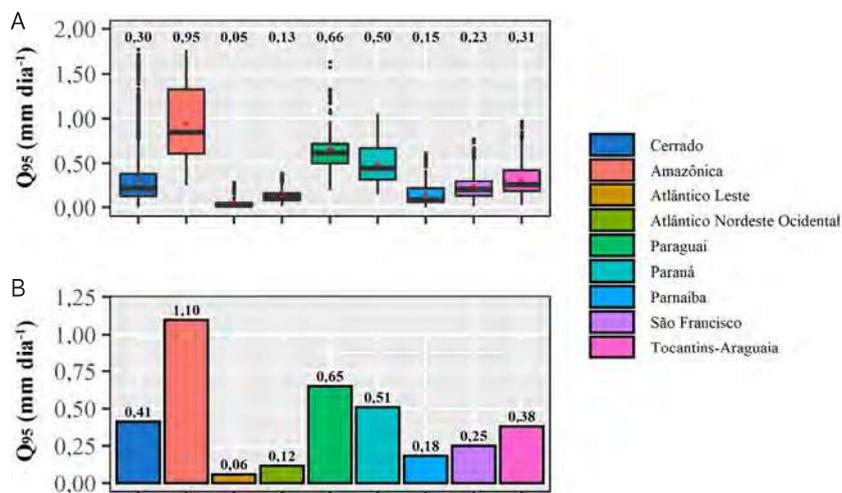


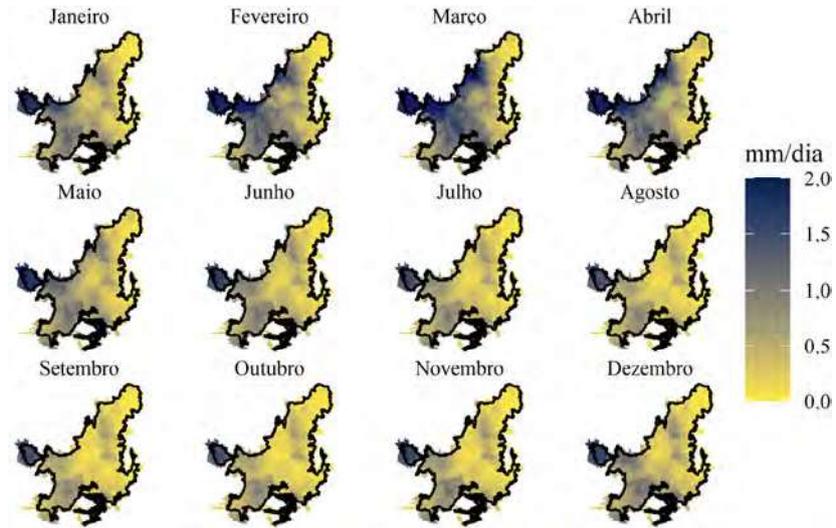
Figura 9.7. Séries de vazões simuladas para seis regiões distintas no Cerrado.



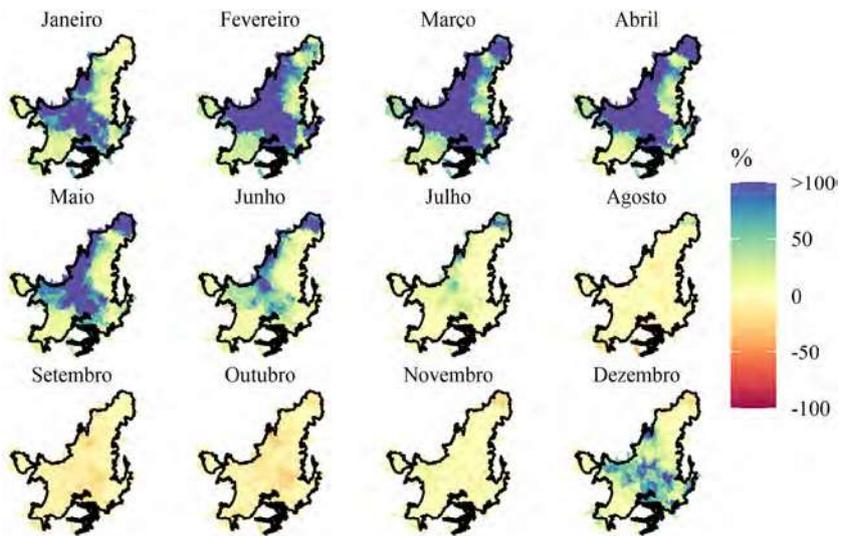
**Figure 9.8.** (A) Vazões iguais ou superadas 95% do tempo ( $Q_{95}$ ) para as otobacias dentro do Cerrado e suas principais regiões hidrográficas e (B) a  $Q_{95}$  média ponderada pela área de drenagem de cada otobacia. A média de cada boxplot é representado pelo triângulo vermelho e valor anotado.

Uma forma de aprimorar a gestão de recursos hídricos seria a adoção de vazões de referência baseadas no mês em questão (PRUSKI et al., 2014). Na Figura 9.9, apresenta-se, para o Cerrado, as vazões  $Q_{95}$  obtidas mensalmente para as otobacias de nível 5. Nesse caso, nota-se que os meses da estação chuvosa apresentaram uma  $Q_{95}$  distintamente mais elevada do que a  $Q_{95}$  calculada a partir de dados anuais.

A partir de vazões de referência mensais, pode-se, em alguns casos, aumentar a vazão outorgável em meses em que não há riscos relacionados à baixa disponibilidade hídrica ou até restringi-la em meses em que o risco é elevado. Na Figura 9.10, observa-se, por exemplo, regiões em que a disponibilidade hídrica mais que dobra (> 100%) de dezembro a outubro ao se utilizar a  $Q_{95}$  mensal em relação a anual. Por outro lado, a  $Q_{95}$  mensal indica menor disponibilidade hídrica em relação à  $Q_{95}$  anual de agosto a novembro, indicando períodos em que o uso de água talvez tivesse que ser reduzido.



**Figura 9.9.** Vazão igualada ou superada 95% do tempo mensalmente para otobacias de nível 5.



**Figura 9.10.** Diferença entre a  $Q_{95}$  mensal e a anual.

## 9.6 Considerações finais

Este capítulo apresentou uma síntese do comportamento dos recursos hídricos e da disponibilidade hídrica no Cerrado. O Cerrado contribui para a formação das vazões de cursos d'água das principais regiões hidrográficas do País (Tocantins-Araguaia, Parnaíba, Paraguai, Atlântico Nordeste Ocidental, São Francisco, Paraná, Atlântico Leste e a Amazônica). Com 64,6%, a região hidrográfica do Tocantins-Araguaia é a que apresenta a maior porcentagem de sua área como parte do Cerrado e a região hidrográfica do Parnaíba é a que apresenta a maior porcentagem de vazão originando em áreas de Cerrado (81,6%).

Assim, a região do Cerrado é crucial para a dinâmica de águas no território brasileiro, sendo essencial para o abastecimento de água para o semiárido e estratégico para a manutenção do equilíbrio hidrológico do País. Compreender o potencial hídrico dessa região é importante para o planejamento estratégico, o desenvolvimento econômico e o estabelecimento de políticas hídricas efetivas, que considerem as diferentes dimensões do uso e dos usuários de recursos hídricos.

## 9.7 Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Manual de procedimentos técnicos e administrativos de outorga de direito de uso de recursos hídricos da Agência Nacional de Águas**. Brasília, DF, 2013.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Subsídios para a discussão da compatibilização da geração de energia hidrelétrica com expansão da agricultura irrigada na bacia do rio São Marcos**. Brasília, DF, 2014.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Portal de metadados geoespaciais**. Brasília, DF, 2020. E-book. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/>. Acesso em: 10 abr. 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017**: relatório Pleno / Agência Nacional de Águas. Brasília, DF, 2017.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Caderno setorial de recursos hídricos: agropecuária**. Brasília, DF, 2006. Disponível em: <https://cnrh.mdr.gov.br/>

inserir-documentos-nos-artigos/pnrh/linha-do-tempo/2337-caderno-agropecuário/file. Acesso em: 5 abr. 2021.

ALTHOFF, D.; RODRIGUES, L. N.; SILVA, D. D. Assessment of water availability vulnerability in the Cerrado. **Applied Water Science**, v. 11, n. 11, p. 176, 2021.

ALTHOFF, D.; RODRIGUES, L. N.; SILVA, D. D. Predicting runoff series in ungauged basins of the Brazilian Cerrado biome. **Environmental Modelling & Software**, v. 149, 105615, 2022.

FURNANS, J.; OLIVERA, F. Watershed topology: the Pfafstetter system. In: ANNUAL ESRI INTERNATIONAL USER CONFERENCE 2001, 21., 2001, San Diego. **User Conference Proceedings**. Disponível em: <https://proceedings.esri.com/library/userconf/proc01/professional/papers/pap1008/p1008.htm>. Acesso em: 22 dez. 2020.

HUFFMAN, G. J.; STOCKER, E. F.; BOLVIN, D. T.; NELKIN, E. J.; TAN, J. **GPM IMERG Final Precipitation L3 1 day 0.1 degree x 0.1 degree V06. Greenbelt, MD**: Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC), 2019. Disponível em: 10.5067/GPM/IMERGDF/DAY/06. Acesso em: 10 abr. 2020.

PRUSKI, F. F.; BOF, L. H. N.; SILVA, L. M. C. da; SILVA, J. M. A. da; REGO, F. S.; JUSTINO, F. B. Impact of the substitution of reference annual streamflow by monthly streamflow on the potential use of water resources. **Engenharia Agrícola**, v. 34, p. 496-509, 2014.