

CAPÍTULO 10

Balanço Hídrico Climatológico e Impacto de Critérios de Outorga na Disponibilidade Hídrica Potencial para Irrigação no bioma Cerrado

Fernanda Laurinda Valadares Ferreira

Lineu Neiva Rodrigues



10.1 Introdução

Considerando que a água desempenha um papel essencial como elemento natural para sustentar a vida na Terra, torna-se necessário elaborar estratégias destinadas à gestão eficaz de seus recursos. Para atingir tal objetivo, é imprescindível conduzir pesquisas que aprofundem a compreensão do comportamento das diferentes variáveis hidrológicas que influenciam a dinâmica da água. Dentro desse contexto, a análise da vazão em corpos d'água se caracteriza como uma das variáveis de maior relevância, pois representa a capacidade de suporte de uma bacia hidrográfica (Uliana et al., 2015).

A disponibilidade hídrica superficial é a quantidade mínima de vazão de água estabelecida como padrão de referência para fins de gestão, representando a oferta de água a ser incorporada ao cálculo do balanço hídrico. O balanço hídrico, por sua vez, está associado à relação entre o fornecimento de água proveniente de fontes superficiais e a demanda por essa água nas diversas atividades humanas, desempenhando um papel crucial na orientação das ações de administração dos recursos hídricos (Agência Nacional de Águas, 2021).

Nos últimos anos, tem sido cada vez mais evidente o impacto das mudanças climáticas em várias regiões do mundo. As alterações no ciclo hidrológico podem afetar diretamente a quantidade, frequência e duração das precipitações, as taxas de evaporação, a temperatura, o escoamento e, por consequência, a disponibilidade de recursos hídricos. Essas mudanças têm levado a uma frequente ocorrência de eventos climáticos extremos (Rápalo et al., 2021; Santos et al., 2021). A análise dos ciclos de água e energia, por meio da estimativa do balanço hídrico, não apenas auxilia na compreensão da dinâmica das bacias hidrográficas diante dessas transformações (Moreira et al., 2019), mas também se revela uma ferramenta crucial para avaliar o potencial hídrico de uma determinada região (Agência Nacional de Águas, 2017). A compreensão do balanço hídrico, mesmo que de maneira simplificada,

desempenha um papel fundamental na redução dos processos de degradação e preservação dos recursos hídricos (Souza et al., 2017).

Na gestão dos recursos hídricos no Brasil, tem-se a outorga de uso da água como instrumento, conforme estabelecido na Lei Federal Nº 9.433 de 1997 (Brasil, 1997). A outorga para o direito de utilização dos recursos hídricos desempenha um papel fundamental na estrutura da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), visando assegurar tanto o controle qualitativo quanto o quantitativo dos diversos usos da água. Isso possibilita aos usuários o acesso ordenado a esse recurso, ao mesmo tempo em que regulariza e legitima o seu emprego dentro de uma bacia hidrográfica (Agência Nacional de Águas, 2011).

A outorga de concessão de uso da água se destaca como uma ferramenta de grande importância para o manejo dos cursos hídricos, sendo estabelecida através de um conjunto de métodos e procedimentos que têm como propósito auxiliar na definição das medidas necessárias para equilibrar a oferta e a demanda de água (Collares et al., 2022; Lemos; Magalhães Júnior, 2015). No caso das outorgas para a captação de águas superficiais a fio d'água em rios, córregos e ribeirões, onde a retirada ocorre diretamente do curso d'água, a base para essas decisões reside na análise da disponibilidade hídrica. Essa disponibilidade é avaliada tendo como referência as vazões naturais observadas nos mananciais ou, alternativamente, considerando intervenções hidráulicas como barragens (Agência Nacional de Águas, 2011).

No contexto brasileiro, o critério para concessão ou definição da vazão máxima outorgável se fundamenta em vazões mínimas de referência e na estipulação de limites percentuais para o uso dessas vazões, os quais caracterizam uma condição de garantia hídrica nos cursos d'água. A determinação das vazões de referência é estabelecida por meio de análises dos períodos mais críticos de estiagem (Finkler et al., 2015). As vazões mínimas de referência representam as vazões de elevada permanência no tempo, sendo as mais empregadas a Q95 e Q90 (vazões com permanência de 95% a 90% do tempo), obtidas por meio da análise da curva de permanência. Além disso, a Q7,10,

que corresponde à menor vazão média consecutiva de sete dias, associada a um intervalo de retorno de 10 anos, também é amplamente utilizada (Reilly; Kroll, 2003; Agência Nacional de Águas, 2011; Gomes; Fernandes, 2017; Oliveira et al., 2017; Ramos et al., 2021).

No Brasil, a vazão mínima de referência adotada nos cursos hídricos de domínio Federal pela Agência Nacional de Águas (ANA) está associada a uma garantia de 95%. Dessa forma, em segmentos de cursos d'água, ela corresponde à média diária da vazão com uma probabilidade de ocorrência de 95% (Agência Nacional de Águas, 2021).

A Constituição Federal brasileira de 1988 estabeleceu uma divisão do domínio das águas entre a União, os estados e o Distrito Federal (DF). No contexto dessa divisão, cabe aos estados e ao DF a jurisdição sobre as águas subterrâneas, rios estaduais e cursos d'água distritais. Uma complexidade que surge no âmbito do planejamento e gestão de recursos hídricos diz respeito à utilização de critérios distintos de outorga por parte dos estados e da União (Gomes; Fernandes, 2017). Essa discrepância nos critérios adotados para definir as vazões mínimas de referência e as diferentes porcentagens dessas vazões para fins de outorga, em algumas situações, pode restringir o uso da água. Esse cenário pode impactar uma variedade de usos, como na irrigação, abastecimento urbano, geração de energia elétrica, atividades industriais, entre outros (Silva et al., 2015; Siqueira et al., 2021).

10.2 Disponibilidade hídrica potencial para irrigação no bioma Cerrado, mediante a aplicação de distintos critérios de outorga

Diante da importância do bioma Cerrado na dinâmica da água no país, é essencial entender como esses diferentes critérios de vazões mínimas de referência influenciam na disponibilidade hídrica das bacias hidrográficas e nas estratégias de expansão das atividades eco-

nômicas, como, por exemplo, da agricultura irrigada. Na Figura 10.1, estão representados os diferentes critérios de vazões mínimas de referência anuais e os limites percentuais para o uso dessas vazões que são adotados nos estados brasileiros que compõem o bioma Cerrado.

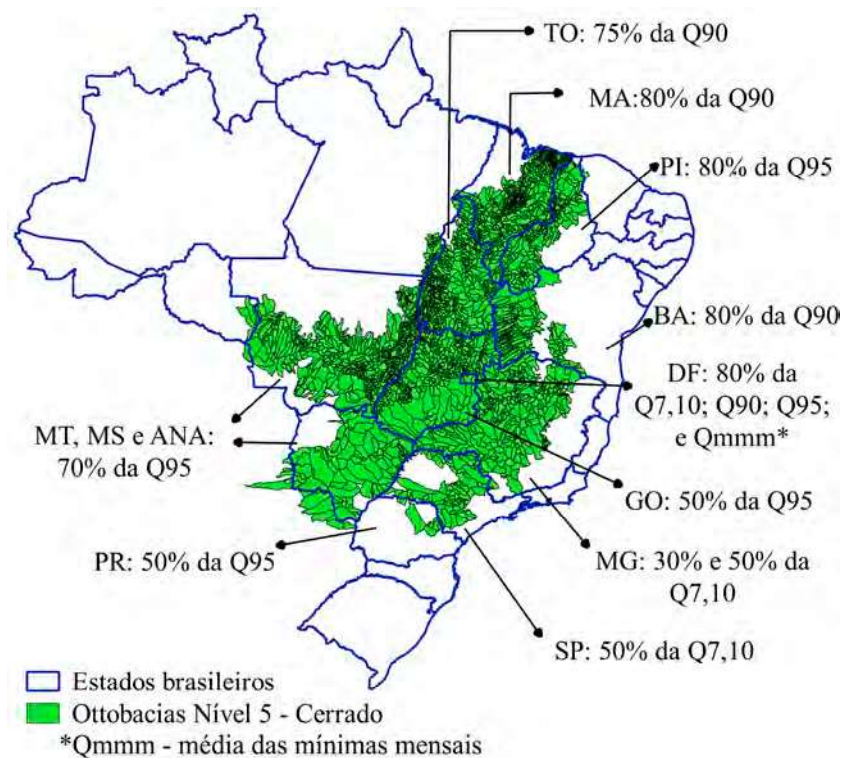


Figura 10.1. Subdivisão da região do bioma Cerrado em ottobacias nível 5 e as vazões mínimas de referência de cada um dos estados que compõem o bioma.

Segundo Castro et al. (2016), a entidade responsável pela gestão hídrica é responsável pela escolha tanto do critério de referência quanto do percentual permitido. Por meio desse processo de outorga, é determinada a quantidade de água que pode ser alocada e utilizada de um curso d'água para diversos fins, além de estabelecer a vazão que deve

ser preservada para a manutenção da saúde das comunidades aquáticas, conhecida como vazão remanescente.

Esses critérios são aplicados pelos órgãos competentes dos estados, DF e União para outorgar com base no critério anual. Além disso, outras modalidades de outorga, como a outorga sazonal, têm sido consideradas como uma alternativa para áreas com conflitos hídricos. É de suma importância analisar essa modalidade de outorga em diversas regiões, uma vez que as vazões variam espacial e temporalmente (Hannaford; Buys, 2012). A compreensão do potencial hídrico de uma bacia hidrográfica desempenha um papel crucial no planejamento estratégico para o desenvolvimento econômico de uma região (Rápalo et al., 2021).

Ferreira (2023) avaliou os efeitos da aplicação dos diferentes critérios de outorga (Figura 10.1), tanto anuais quanto sazonais, que são adotados no Brasil, sobre a disponibilidade hídrica em bacias hidrográficas do bioma Cerrado, bem como estimaram a área irrigável com base em cada um desses critérios de outorga avaliados. A avaliação foi realizada considerando-se a disponibilidade hídrica no Cerrado (Figura 10.2), a adoção, para todo o bioma da outorga anual e as seguintes vazões mínimas de referência: Q7,10; Q95 e Q90.

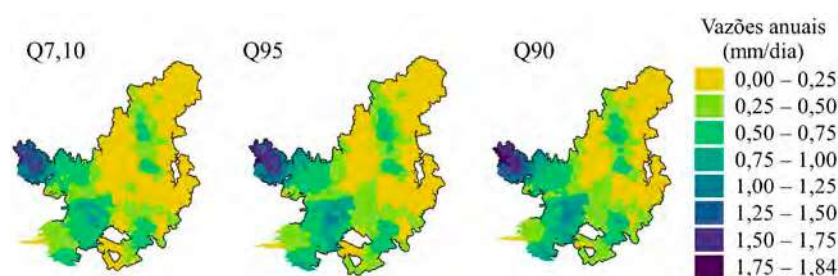


Figura 10.2. Vazões mínimas anuais de referência (Q7,10; Q95 e Q90).

Fonte: Adaptado de Ferreira (2023).

De forma geral, o critério Q7,10 é o mais restritivo (Figura 10.2). A quantidade potencial de água disponível para outorga é reduzida, indicando que a área para aumento da prática de irrigação é menor

em comparação a regiões que adotam outros critérios. Em média, no Cerrado (Figura 10.2), o valor da Q90 é maior em 8% em relação à Q95 e apresenta um aumento de 22% em comparação com a Q7,10. Um bom exemplo é a ottobacia 76869, localizada no município de Paracatu e inserida na bacia hidrográfica do Rio Paracatu, um dos principais afluentes do Rio São Francisco. Nessa ottobacia, a disponibilidade hídrica potencial para outorga, de acordo com o critério de Q7,10, é de $0,9 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, equivalente a 77.760 m^3 por dia. Se fosse adotado o critério Q90 para essa mesma ottobacia, o potencial de outorga aumentaria para 36.860 m^3 por dia, representando um acréscimo significativo em 47% na disponibilidade hídrica.

Independentemente da vazão mínima de referência utilizada (Q7,10; Q95; ou Q90), as regiões com maior potencial de disponibilidade hídrica estão situadas no Oeste e Sul do Cerrado (conforme indicado na Figura 10.2). Essas regiões incluem, por exemplo, os municípios de Campos de Júlio, no Mato Grosso; e Paranhos, no Mato Grosso do Sul. Por outro lado, as áreas com menor disponibilidade estão localizadas no Leste, como no município de Igaporã, na Bahia; e ao norte, como o município de Matões do Norte, no Maranhão.

A discrepância na disponibilidade hídrica potencial nas diversas regiões do bioma Cerrado pode ser atribuída à considerável variação espacial da precipitação nesse bioma. Em média, a precipitação média anual varia de 700 mm a 2.063 mm (média de 1.471 mm), aumentando de Leste para Oeste e do Norte ao Sul (Ferreira et al., 2023).

As regiões que adotam a Q7,10 mensal como critério de referência também apresentam uma disponibilidade hídrica potencial menor em suas ottobacias, quando comparadas com outras vazões de referência mensais para o mesmo período. Por exemplo, na ottobacia 69667, que abrange uma área de 14.433 ha e está situada no município de Caiapônia, GO, durante o mês de janeiro, a disponibilidade hídrica potencial média, segundo a Q7,10 mensal, é de $1,44 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, enquanto a Q95 é de $1,54 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ e a Q90 é de $1,72 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. As maiores disponibilidades

hídricas potenciais para outorga, independentemente da vazão de referência, concentram-se na mesma região dos critérios mensais.

A maior disponibilidade hídrica potencial mensal ocorre durante os meses do período chuvoso, principalmente em fevereiro e março, enquanto os meses de setembro e outubro apresentaram as menores disponibilidades hídricas potenciais. Embora outubro seja, em geral, o mês que marca o início da estação chuvosa no Cerrado (Klink, 2014; Rodrigues et al., 2012), ainda não ocorrem mudanças significativas na vazão nesse período. Isso se deve ao fato de que as chuvas que acontecem durante esse mês, antes de contribuírem para o aumento das vazões, são inicialmente direcionadas para a recuperação do déficit hídrico do solo (Assani et al., 2011; Cambraia Neto; Rodrigues, 2021). Dessa forma, com o intuito de saber a diferença relativa da disponibilidade hídrica das ottobacias considerando a adoção das vazões mínimas de referência nas bases mensal e anual, utilizou-se a Equação 1, de acordo com a metodologia proposta por Silva et al. (2015) e Serrano et al. (2020).

$$D_p = \frac{Q_{mensal} - Q_{anual}}{Q_{anual}} \times 100 \quad (1)$$

em que

D_p = diferença relativa percentual da disponibilidade hídrica (%).

Q_{mensal} = vazão estimada em base mensal ($m^3 s^{-1}$).

Q_{anual} = vazão estimada em base anual ($m^3 s^{-1}$).

Sendo assim, a diferença relativa percentual entre as disponibilidades hídricas mensais e anuais considerando os valores de Q7,10, Q95 e Q90 para os meses de março (maior disponibilidade) e outubro (menor disponibilidade) estão representadas na Figura 10.3.

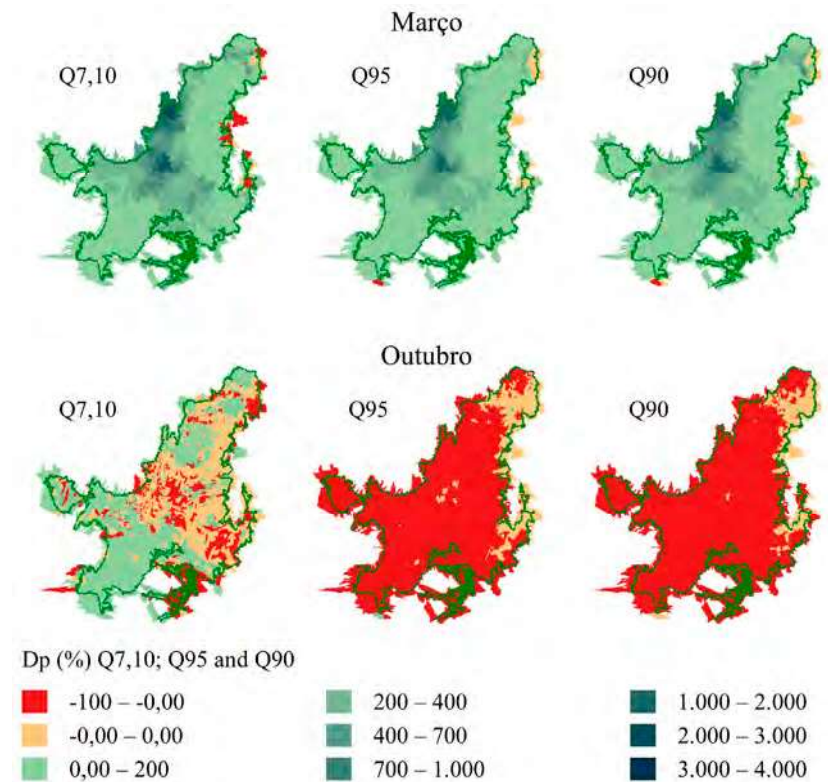


Figura 10.3. Diferença relativa percentual (Dp) entre a disponibilidade hídrica potencial das vazões mensais em relação à vazão anual de Q7,10; Q95 e Q90 nos meses de março e outubro.

Fonte: Adaptado de Ferreira (2023).

Considerando a adoção de um único critério para as outorgas no Cerrado, para cada uma das vazões mínimas de referência (Q7,10; Q95 ou Q90), observa-se um aumento geral na disponibilidade hídrica potencial ao utilizar a vazão de referência em base mensal. Ao comparar os dados das vazões mínimas de referência anuais com as mensais, é evidente que durante os meses que compreendem a estação chuvosa (março), a diferença percentual relativa na disponibilidade hídrica potencial é predominantemente positiva em grande parte da área. Isso

significa que a disponibilidade hídrica potencial anual é menor do que a mensal, especialmente nas regiões Oeste, Sul e na porção Central do bioma Cerrado, independentemente do critério utilizado.

Como exemplo, no mês de março, considerando a Q7,10 como referência (Figura 10.3), constata-se que, em 98,6% da extensão do Cerrado, abrangendo 4.468 ottobacias, a disponibilidade hídrica potencial mensal é maior, ou seja, há uma diferença positiva. Esse padrão também se repete para a Q95 (Figura 10.3), com 98,8% da área (abrangendo 4.478 ottobacias), e para a Q90 (Figura 10.3), englobando 99,3% da área (4.497 ottobacias). Além disso, em certas ottobacias, a diferença positiva na disponibilidade hídrica potencial chega a atingir até 4.000%, especialmente em áreas caracterizadas por elevada sazonalidade. Esses resultados ressaltam que os critérios baseados em vazões mínimas de referência anuais, de maneira geral, restringem o aproveitamento da água nos meses de maior potencial hídrico na região do Cerrado.

Ao adotar a Q7,10 em todo o território do Cerrado, ocorreram situações em que a diferença percentual relativa na disponibilidade hídrica potencial foi negativa (conforme representado na Figura 10.3). Isso indica que a vazão mínima de referência anual seria superior à vazão mínima de referência mensal, especialmente durante a estação seca. No contexto da disponibilidade hídrica, essa observação sugere que o critério mensal nem sempre contribui para um aumento efetivo da disponibilidade hídrica potencial. Como exemplo, consideremos o mês de outubro, no qual 17,8% da área (abrangendo 806 ottobacias) apresentou uma diferença de disponibilidade hídrica negativa. Nesse caso, o fato de ser mais restritivo no período de estiagem possui vantagens, uma vez que se evita outorgas de vazões que excedam a disponibilidade real de água, prevenindo possíveis conflitos pelo uso desse recurso.

Esse fato ocorre de maneira mais acentuada nas vazões de referência Q95 e Q90, conforme ilustrado na Figura 10.3, onde a grande maioria das ottobacias do Cerrado apresenta uma diferença percentual relativa negativa na disponibilidade hídrica potencial, especialmente

nos meses de estiagem, como agosto, setembro e outubro. O mês mais crítico, por exemplo, que é outubro, exibe essa característica em 82,1% da área total (abrangendo 3.720 ottobacias) para a Q95, e em 86,9% da área (abrangendo 3.935 ottobacias) para a Q90.

A estimativa das vazões mínimas de referência anuais deriva de uma análise da disponibilidade hídrica nos períodos mais críticos de estiagem (Finkler et al., 2015). No entanto, é evidente a necessidade de compreender e considerar tanto a sazonalidade dessas vazões como também as particularidades das condições regionais em que as bacias estão situadas. No contexto de otimizar a disponibilidade hídrica potencial, nota-se que mesmo o critério mais rigoroso pode, em certas circunstâncias, ser mais vantajoso durante os períodos de maior disponibilidade hídrica.

Dessa forma, na Figura 10.4, está representada a disponibilidade hídrica potencial cumulativa das ottobacias, ou seja, considerando a área total do Cerrado, com base nas Q7,10; Q95 e Q90, mensais (M) e anuais (A).

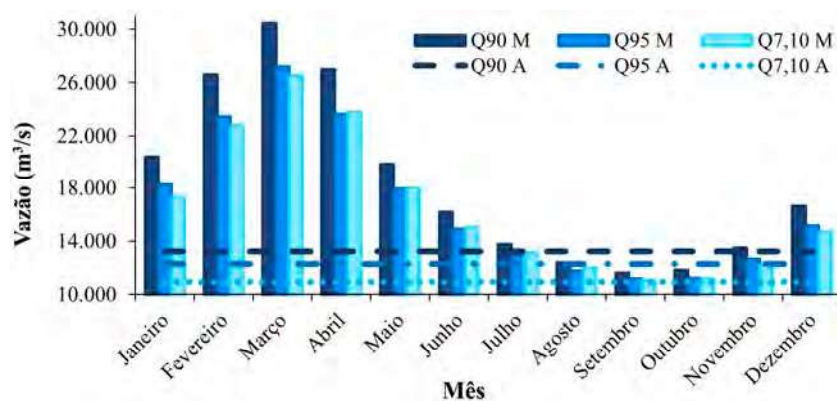


Figura 10.4. Disponibilidade hídrica potencial total do Cerrado calculada com base nas vazões de referência anuais (Q7,10A; Q95A e Q90A) e mensais (Q7,10M; Q95M e Q90M).

Fonte: Adaptado de Ferreira et al. (2023).

O gráfico representado na Figura 10.4 mostra que a disponibilidade hídrica potencial anual é mais elevada ao adotar a Q90, seguida pela Q95 e pela Q7,10, com valores de $13.234 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, $12.289 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ e $10.954 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, respectivamente. No contexto das vazões de referência mensal, essa mesma hierarquia é mantida, exceto nos meses de abril a agosto, quando a Q7,10 supera a Q95.

Ao contrastar os critérios anuais e mensais em termos de permissividade e restrição, a Q7,10 demonstra ser a mais limitante em geral. Contudo, nos meses de setembro e outubro, a diferença na disponibilidade hídrica potencial entre Q7,10M, Q7,10A e Q95M não é expressiva. Durante os períodos de chuva, de forma geral, os critérios mensais proporcionam uma disponibilidade hídrica potencial superior em comparação com os critérios anuais. Entre julho e novembro, essa tendência se aplica apenas à Q7,10.

Para os meses abrangendo o período de maior disponibilidade hídrica potencial, exemplificado pelo mês de março, a comparação com os critérios anuais revela um aumento de 143% na Q7,10; 130% na Q90; e 121% na Q95, traduzindo-se em um incremento de $15.609 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, $17.211 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ e $14.892,2 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, respectivamente.

Dessa forma, para estimar o potencial de aumento da área de irrigação em função da quantidade de água disponível (Figura 10.4), utilizou-se a Equação 2.

$$A_i = \frac{Q_o}{Q_i} \quad (2)$$

em que

A_i = área irrigável (ha).

Q_o = Vazão máxima outorgável em base anual ($\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$).

Q_i = Vazão requerida pela irrigação ($\text{m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$).

Para estimar o potencial de desenvolvimento da agricultura irrigada no bioma Cerrado, foi calculada a quantidade de área em hectares que poderia ser irrigada adicionalmente considerando o uso de água de irrigação por hectare igual a $1,4 \text{ L s}^{-1}$ ($0,0014 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) (Instituto Mineiro de Gestão das Águas, 2010). Assumiu-se que a disponibilidade hídrica para a outorga era destinada apenas para irrigação.

Na Figura 10.5, é apresentado o potencial de área irrigável no Cerrado, calculado a partir da consideração da disponibilidade hídrica potencial total e conforme os diferentes critérios de outorga mensais (M) e anuais (A).

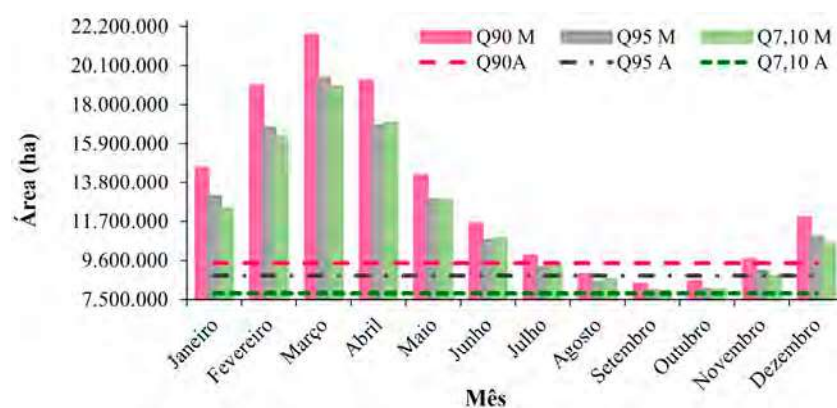


Figura 10.5. Potencial de área irrigável no Cerrado, calculada com base na disponibilidade hídrica potencial total considerando as Q7,10A; Q95A e Q90A anuais e nas Q7,10M; Q95M e Q90M mensais.

Fonte: Adaptado de Ferreira et al. (2023).

Os diferentes critérios de outorga podem ser fatores de permissão ou restrição no uso dos recursos hídricos. Ao adotar a Q7,10 anual como referência, por exemplo, a área irrigável totalizaria aproximadamente 7.824.252 ha durante todos os meses do ano. Por sua vez, as áreas passíveis de irrigação ao utilizar as vazões Q95 e Q90 anuais seriam de 8.777.566 ha e 9.452.948 ha, respectivamente. A Q7,10 anual é o critério mais restritivo; entretanto, nos períodos de estiagem, sua

aplicação se alinha melhor com os padrões de vazão do momento. Tomando setembro, mês de estiagem, como exemplo, o potencial de irrigação seria de 7.917.945 ha para Q7,10; 7.980.197 ha para Q95; e 8.294.590 ha para Q90.

Quando analisamos as vazões outorgáveis mensais, considerando o mês de março, período de maior disponibilidade, o potencial de irrigação se expande para cerca de 18.973.273 ha com a Q7,10; 19.141.877 ha com a Q95; e 21.746.687 ha com a Q90. Isso corresponde a um aumento de 142%, 121% e 130%, respectivamente, quando comparado ao potencial anual. Esse aumento pode desempenhar um papel significativo no avanço da agricultura irrigada na região do Cerrado.

Durante os meses de estiagem, quando o fluxo de água diminui, os valores a serem concedidos por outorgas devem considerar tanto a disponibilidade nos cursos d'água para os usuários quanto a vazão restante necessária para preservar o meio ambiente, mesmo que haja uma demanda maior por água devido aos cultivos irrigados. Nesse contexto, onde a exigência hídrica dos cultivos irrigados é mais intensa, é essencial explorar alternativas que se ajustem às características específicas da bacia hidrográfica e ao tipo de cultura. Algumas possíveis estratégias incluem a adoção de práticas de irrigação deficitária ou a construção de barragens. Por meio dessa última abordagem, a água acumulada durante os períodos de maior excedente hídrico pode ser armazenada e disponibilizada durante as fases de maior necessidade hídrica.

A adoção de critérios que se baseiam em vazões mensais como parâmetros de referência para definir critérios de outorga, em vez de considerar valores anuais, oferece um potencial considerável para ampliar a quantidade de água passível de ser concedida por outorga durante os períodos de maior disponibilidade hídrica. Ao mesmo tempo, essa abordagem impõe uma restrição mais realista durante os momentos críticos de escassez hídrica, sem aumentar o risco de deficiência de recursos hídricos ou causar prejuízos ao meio ambiente.

10.3 Variabilidade do balanço hídrico climatológico em bacias hidrográficas do Cerrado

O balanço hídrico climatológico (BHC) é outra forma importante de avaliação da dinâmica hídrica. Para uma gestão integrada dos recursos hídricos no Cerrado, Ferreira et al. (2023) calcularam o déficit e o excesso hídrico mensal provável das ottobacias (Nível 5 – Figura 10.1), além de realizarem uma análise de tendência dos dados mensais de BHC e de suas variáveis de entrada, como precipitação (P) e evapotranspiração de referência (ET_o) na região de estudo.

Na Figura 10.6, é mostrada a variação mensal do BHC nas ottobacias do Cerrado. Durante a estação chuvosa, a análise revela que, em outubro, apenas 0,6% das ottobacias apresentam valores positivos no BHC. Essa proporção aumenta para 47% em novembro, 53% em dezembro, 56% em janeiro, 79% em fevereiro, 76% em março e 26% em abril. Mesmo durante os meses chuvosos, é possível observar áreas com déficit hídrico em algumas regiões do Cerrado.

O BHC positivo indica que nessas áreas há excedente hídrico no período analisado. Em outubro, que marca o início da estação chuvosa no Cerrado, apenas 29 ottobacias apresentaram BHC positivo, ou seja, essas áreas possuem maior P em relação à ET_o. Essas ottobacias estão localizadas ao Oeste e Noroeste do Cerrado, região de transição com o bioma Amazônia, caracterizado por um clima tropical com maiores taxas de precipitação (Althoff et al., 2021).

Durante o período da estação seca, de maio a setembro, a maior parte do Cerrado apresentou BHC negativo. Os meses de maio e junho foram os únicos meses em que algumas poucas ottobacias registraram BHC positivo, sendo 2,9% e 0,02%. Nos outros meses, entre julho e setembro, todas as ottobacias do bioma apresentaram BHC negativo.

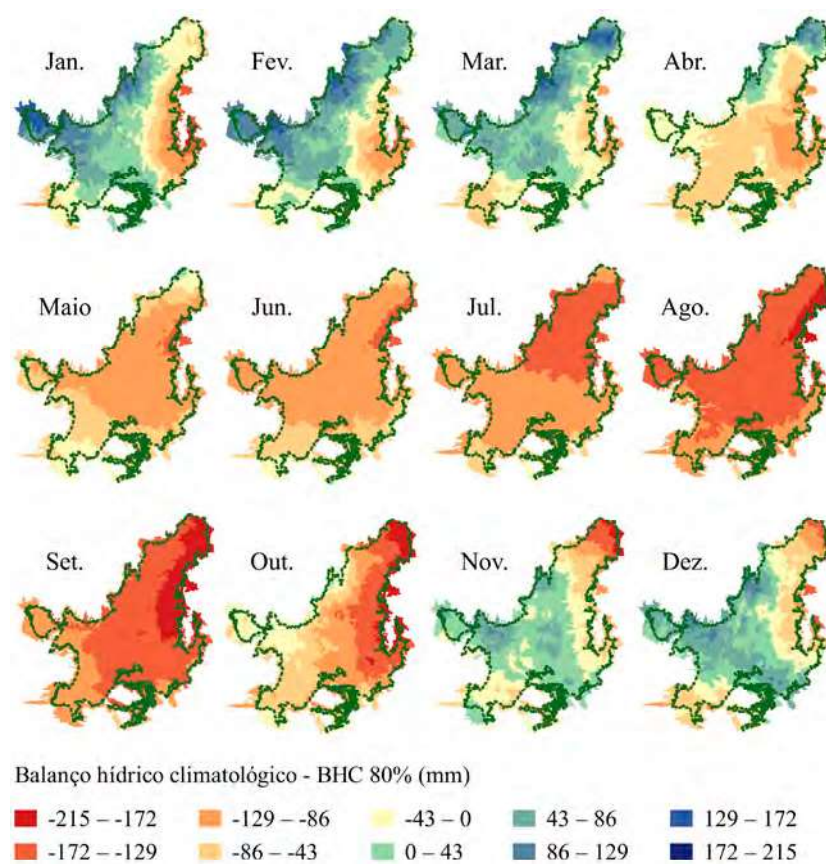


Figura 10.6. Balanço hídrico climatológico (BHC) mensal das otobacias do Cerrado, estimados com base na frequência igual ou superior a 80% de permanência no tempo, do período de janeiro de 2003 a dezembro de 2019.

Fonte: Adaptado de Ferreira et al. (2023).

Os resultados evidenciam um déficit hídrico em algumas otobacias, principalmente durante o período que se estende de abril a outubro.

A avaliação da tendência do BHC e de suas variáveis de entrada revelou que, na maioria dos meses, houve uma tendência de redução

do BHC, indicando um aumento do déficit hídrico ao longo do tempo. Quanto à precipitação total mensal (P), também foi observada uma tendência significativa de redução em algumas ottobacias na maioria dos meses. Por outro lado, a evapotranspiração de referência (ET_o) mensal total mostrou uma tendência significativa de aumento na maioria dos meses.

Para compreender melhor essas tendências, foram selecionados os meses de janeiro e julho para análise, por englobarem uma área mais abrangente de ottobacias com tendências significativas na região de estudo. Os resultados são apresentados na Figura 10.7.

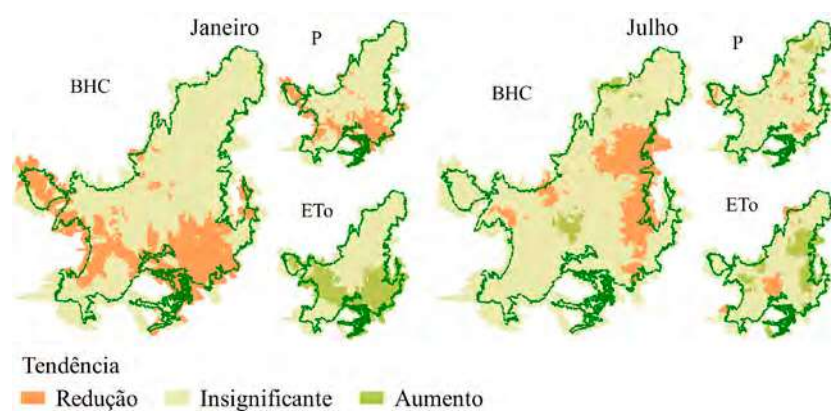


Figura 10.7. Tendência do balanço hídrico climatológico (BHC) e das variáveis precipitação (P) e evapotranspiração de referência (ET_o) nos meses de janeiro e julho para as ottobacias do Cerrado.

Fonte: Adaptado de Ferreira et al. (2023).

No mês de janeiro, 15% das ottobacias do Cerrado apresentaram tendências significativas de redução no BHC. As regiões com declínios notáveis no BHC coincidem com as áreas que exibiram tendências significativas de redução nas precipitações, abrangendo 13% das ottobacias, e aumento na evapotranspiração de referência, afetando 26% das ottobacias. É provável que a diminuição observada no BHC durante o mês de janeiro seja atribuída à interação entre a diminuição das preci-

precipitações, indicada pela tendência de redução, e o aumento da evapotranspiração, apontado pela tendência de aumento, resultando em um decréscimo no BHC.

Para o mês de julho, foram também identificadas (Figura 10.7) tendências significativas no BHC em 16% das ottobacias do Cerrado. Desse total, 13% apresentaram uma tendência de redução, enquanto 4% registraram uma tendência de aumento. No que diz respeito às precipitações, tendências foram observadas em 10% das ottobacias, com 4% exibindo uma tendência de redução e 6% apresentando uma tendência de aumento. Em relação à evapotranspiração, foi constatada uma tendência em 22% das ottobacias, das quais 7% demonstraram um declínio na tendência e 15% exibiram uma tendência de aumento.

Assim como nos meses de janeiro e julho foram observadas tendências no BHC e nas variáveis precipitação e evapotranspiração, nos outros meses também foi identificada essa tendência de mudança. Possivelmente essas dinâmicas de tendências identificadas no BHC estejam correlacionadas com as tendências das variáveis que compõem o próprio BHC.

As mudanças climáticas na região do Cerrado são evidentes. As tendências observadas nas variáveis climáticas, com aumento da evapotranspiração e redução das precipitações em algumas das ottobacias, poderão resultar em alterações no regime hidrológico e, consequentemente, na disponibilidade hídrica e nos processos de alocação de água (Ferreira et al., 2021). As ottobacias que apresentaram BHC negativo, ou seja, com déficit hídrico, são as regiões com maior risco de comprometimento da disponibilidade hídrica e de não ter água suficiente para atender às demandas.

Analisando na perspectiva futura, as pesquisas de Jesus et al. (2017) revelaram um agravamento desse déficit hídrico durante as estações secas. Além disso, Assad et al. (2020) sinalizaram um provável aumento dos déficits hídricos no bioma ao longo do século atual, um cenário que pode impor restrições aos diversos usos da água e intensificar os conflitos em torno de sua utilização. Para garantir a contí-

nua expansão e sustentabilidade da produtividade agrícola, torna-se imprescindível buscar soluções de adaptação mais eficazes. Isso envolve o desenvolvimento de variedades de culturas mais resilientes, aprimoramentos no manejo de pastagens e sistemas de irrigação, bem como a integração de abordagens de gestão do solo e da água. A intensificação sustentável da irrigação emerge como uma ferramenta crucial para fomentar o progresso agrícola, especialmente durante os períodos em que as precipitações não atendem às demandas da evapotranspiração.

10.4 Considerações finais

A análise da dinâmica hídrica das bacias hidrográficas por meio da outorga de uso da água revela a importância e a complexidade de compreender os critérios que regem as vazões mínimas de referência ao longo do tempo. Esses critérios exercem um impacto direto e significativo sobre a disponibilidade hídrica das regiões, moldando estratégias de desenvolvimento econômico, notadamente na agricultura irrigada. As variações sazonais das vazões mínimas ressaltam a necessidade urgente de adoção de outorgas que levem em conta essas flutuações, garantindo uma gestão mais sustentável dos recursos hídricos ao longo do ano. A disparidade nos critérios adotados pelos estados que compõem o Cerrado alerta para potenciais distorções no desenvolvimento regional, apontando a necessidade de uma padronização que promova equidade e eficiência na gestão dos recursos. Além disso, a análise em conjunto do balanço hídrico sazonal emerge como uma ferramenta fundamental para compreender e adaptar-se às mudanças climáticas, influenciando diretamente as condições hidrológicas e o desenvolvimento socioeconômico das regiões afetadas.

10.5 Referências

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017**: relatório pleno. Brasília, DF, 2017. 169 p.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Disponibilidade hídrica superficial**. 2021. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/7ac42372-3605-44a4-bae4-4dee7af1a2f8>. Acesso em: 16 ago. 2023.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Outorga de direito de uso de recursos hídricos**. Brasília, DF: SAG, 2011. 50 p. (Cadernos de Capacitação em Recursos Hídricos, 6).
- ALTHOFF, D.; RODRIGUES, N. L.; SILVA, D. D. da. Assessment of water availability vulnerability in the Cerrado. **Applied Water Science**, v. 11, p. 176, 2021.
- ASSAD, E. D.; VICTORIA, D. de C.; CUADRA, S. V.; PUGLIERO, V. S.; ZANETTI, M. R. Efeito das mudanças climáticas na agricultura do Cerrado. In: BOLFE, E. L.; SANO, E. E.; CAMPOS, S. K. (ed.). **Dinâmica agrícola no cerrado**: análises e projeções. Brasília, DF: Embrapa, 2020. v. 1, cap. 7, p. 213-228.
- ASSANI, A. A.; CHALIFOUR, A.; LÉGARÉ, G.; MANOUANE, C. S.; LEROUX, D. Temporal regionalization of 7-day low flows in the St. Lawrence watershed in Quebec (Canada). **Water Resources Management**, v. 25, p. 3559-3574, 2011.
- BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 9 jan. 1997, col. 1, p. 470. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm. Acesso em: 16 ago. 2023.
- CAMBRAIA NETO, A. J.; RODRIGUES, L. N. Impact of land use and occupation on potential groundwater recharge in a Brazilian savannah watershed. **Water International**, v. 46, n. 3, p. 348-364, 2021.
- CASTRO, E. R. S.; MOREIRA, M. C.; SILVA, D. D. Environmental flow in the river Ondas basin in Bahia, Brazilian Cerrado. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 188, p. 1-10, 2016.
- COLLARES, E. G.; ARAUJO, E.; SILVA, B. C. B.; GONÇALVES, G. G.; NASCIMENTO, A. C. Análise comparativa entre vazão medida e vazão regionalizada em três pares de bacias hidrográficas morfometricamente semelhantes do estado de Minas Gerais. **Revista Mineira de Recursos Hídricos**, v. 3, E022007, 2022.

FERREIRA, F. L. V. Disponibilidade hídrica e aptidão da agricultura de sequeiro e irrigada no Cerrado. 2023, 105 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2023. DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2023.782>

FERREIRA, F. L. V.; RODRIGUES, L. N.; ALTHOFF, D.; AMORIM, R. S. S. Spatial–temporal variability of climatic water balance in the Brazilian Savannah region river basins. **Water**, v. 15, n. 10, p. 1820, 2023.

FERREIRA, F. L. V.; RODRIGUES, L. N.; SILVA, D. D. da. Influence of changes in land use and land cover and rainfall on the streamflow regime of a watershed located in the transitioning region of the Brazilian Biomes Atlantic Forest and Cerrado. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 193, n. 1, p. 1-17, 2021.

FINKLER, N. R.; MENDES, L. A.; SCHEIDER, E. H. M.; BORTOLIN, T. A.; SCHEIDER, V. E. Comparação de funções de distribuição de probabilidades na determinação de vazão mínima anual e sazonal. **Scientia Cum Industria**, v. 3, n. 2, p. 42-49, 2015.

GOMES, R. R. K. de A.; FERNANDES, L. L. Hydrological characterization of the Araguaia river through reference flows. **Applied Water Science**, v. 7, p. 4605-4614, 2017.

HANNAFORD, J.; BUYS, G. Trends in seasonal river flow regimes in the UK. **Journal of Hydrology**, v. 475, p. 158-174, 2012.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS (Minas Gerais). **Manual técnico e administrativo de outorga de direito de uso de recursos hídrico no estado de Minas Gerais**. 2010, 105 p. Disponível em: <http://www.igam.mg.gov.br/images/stories/outorga/manual/manual-de-outorga.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2023.

JESUS, T. C. L.; SENNA, M. C. A.; CATALDI, M.; PAIVA, C. M.; FRANZ, B. Impacto do aumento da concentração atmosférica de CO₂ no balanço hídrico climatológico do Cerrado. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 21, p. 1-14, 2017.

KLINK, C. A. Policy intervention in the Cerrado savannas of Brazil: changes in land use and effects on conservation. In: CONSORTE-MCCREA, A.; SANTOS, E. F. (ed.). **Ecology and conservation of the maned wolf**: multidisciplinary perspectives. Boca Raton: CRC Press, 2014. p. 293-308.

LEMOES, R. S.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. P. Reflexões sobre os critérios de cálculo de vazões outorgáveis em áreas de conflito do estado de Minas Gerais: o caso da Bacia do Ribeirão Ribeiro Bonito. **Revista Espinhaço**, v. 4, n. 2, p. 4-12, 2015.

MOREIRA, A. A.; RUHOFF, A. L.; ROBERTI, D. R.; SOUZA, V. A.; ROCHA, H. R.; DE PAIVA, R. C. D. Assessment of terrestrial water balance using remote sensing data in South America. **Journal of Hydrology**, v. 575, p. 131-147, 2019.

OLIVEIRA, K. P. D.; MATOS, T. S.; SOUSA JÚNIOR, M. F. D.; ULIANA, E. M. Vazões mínimas de referência Q95, Q90 e Q7,10 para a bacia do rio Jequitinhonha, Minas Gerais. In: JORNADA ACADÊMICA DA ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL, 5., 2017. Sinop. **[Anais...]**. Sinop, MT: Universidade Federal de Mato Grosso, 2017.

RAMOS, M. C. A.; PRUSKI, F. F.; GENEROSO, T. N.; PINTO, E. J. A. Methodology for optimizing water use in shared management schemes under conflict conditions. **Water Resources Management**, v. 35, p. 3161-3177, 2021.

RÁPALO, L. M. C.; ULIANA, E. M.; MOREIRA, M. C.; SILVA, D. D.; RIBEIRO, C. B. M.; CRUZ, I. F.; PEREIRA, D. R. Effects of land-use and-cover changes on streamflow regime in the Brazilian Savannah. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v. 38, 100934, 2021.

REILLY, C. F.; KROLL, C. N. Estimation of 7-day, 10-year low-streamflow statistics using baseflow correlation. **Water Resources Research**, v. 39, n. 9, 2003.

RODRIGUES, L. N.; SANO, E. E.; STEENHUIS, T. S.; PASSO, D. P. Estimation of small reservoir storage capacities with remote sensing in the Brazilian Savannah Region. **Water Resources Management**, v. 26, p. 873-882, 2012.

SANTOS, E. F. N.; BARRETO, I. D. de C.; BARBOSA, E. A. S.; CAMPOS, L.; SILVA, A. S. A. da. Contribuição de técnicas multivariadas a índices de seca na compreensão das otto-regiões da bacia do São Francisco. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 3, p. e7210313118, 2021.

SERRANO, L. D. O.; RIBEIRO, R. B.; BORGES, A. C.; PRUSKI, F. F. Low-flow seasonality and effects on water availability throughout the river network. **Water Resources Management**, v. 34, p. 1289-1304, 2020.

SILVA, B. M. B.; SILVA, D. D. da; MOREIRA, M. C. Influência da sazonalidade das vazões nos critérios de outorga de uso da água: estudo de caso da bacia do rio Paraopeba. **Ambiente & Água**, v. 10, n. 3, p. 623-634, 2015.

SIQUEIRA, P. P.; OLIVEIRA, P. T. S.; BRESSIANI, D.; MEIRA NETO, A. A.; RODRIGUES, D. B. Effects of climate and land cover changes on water availability in a Brazilian Cerrado basin. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v. 37, 100931, 2021.

SOUZA, J. L. M.; JERSZURKI, D.; SCHAFER, R.; GURSKI, B. C.; SCHAFER, H. Balanço hídrico climatológico: precipitação e evapotranspiração de referência estimadas com metodologia alternativa. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 20, p. 284-298, 2017.

ULIANA, E. M.; SILVA, D. D. da; ULIANA, E. M.; RODRIGUES, B. S.; CORRÊDO, L. de P. Análise de tendência em séries históricas de vazão e precipitação: uso de teste estatístico não paramétrico. **Ambiente & Água**, v. 10, p. 82-88, 2015.