



JEANE DANTAS DE CARVALHO

**AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DO USO DE RECURSOS HÍDRICOS
SUBTERRÂNEOS EM SITUAÇÃO DE ESCASSEZ HÍDRICA NA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO**

TRÊS CORAÇÕES – MG

2020

JEANE DANTAS DE CARVALHO

**AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DO USO DE RECURSOS HÍDRICOS
SUBTERRÂNEOS EM SITUAÇÃO DE ESCASSEZ HÍDRICA NA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Vale do Rio Verde (UninCor) como parte das exigências do programa de Pós-graduação Mestrado Profissional Sustentabilidade em Recursos Hídricos, área de concentração em Recursos Hídricos, para obtenção do título de mestre.
Área de Concentração: Monitoramento e manejo dos recursos hídricos.

Orientadora: Dra. Marília Carvalho de Melo

Coorientador: Dr. Wezer Lismar Miranda

TRÊS CORAÇÕES

2020

577.4
C331a

CARVALHO, Jeane Dantas de

Avaliação do comportamento do uso de recursos hídricos subterrâneos em situação de escassez hídrica na Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco. – Três Corações : Universidade Vale do Rio Verde , 2020. 114 f. il.

Orientadora: Prof. Dra. Marília Carvalho de Melo.
Coorientador: Dr. Wesler Limar Miranda

Dissertação – Universidade Vale do Rio Verde de Três Corações/
Mestrado Profissional Sustentabilidade em Recursos Hídricos.

1. Escassez Hídrica. 2. Conflito. 3. Rio São Francisco I. Profa. Dra. Marília Carvalho de Melo, orient. III. Universidade Vale do Rio Verde de Três Corações. IV. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO (digitalizar ATA)



ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE MESTRADO APRESENTADA POR JEANE DANTAS DE CARVALHO, COMO PARTE DOS REQUISITOS PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE NO PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM SUSTENTABILIDADE EM RECURSOS HÍDRICOS.

Aos três dias do mês de julho de dois mil e vinte, reuniram-se, remotamente, a Comissão Julgadora, constituída pelos professores doutores: Profa. Dra. Márcia Carvalho de Melo (Orientadora/UninCór), Prof. Dr. Wazzer Lismar Miranda (Título/IF Balsas), Prof. Dr. Paulo Henrique Ferreira Galvão (Título/UFG), Profa. Dra. Wanderlene Ferreira Nacif (Título/SEMAD) e Prof. Dr. Felipe Bernardes Silva (Título/UninCór), para examinar o(a) candidato(a) Jeane Dantas de Carvalho na defesa de seu trabalho de conclusão de curso intitulado: "AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DO USO DE RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS EM SITUAÇÃO DE ESCASSEZ HÍDRICA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO". O(A) Posicionista da Comissão, Profa. Dra. Márcia Carvalho de Melo, iniciou os trabalhos às 08:00, solicitando ao(a) candidato(a) que apresentasse, resumidamente, os principais pontos do seu trabalho. Concluída a exposição, os examinadores arguíram alternadamente o(s) candidato(a) sobre diversos aspectos da pesquisa e da dissertação. Após a arguição, que terminou às 11:30, a Comissão reuniu-se para avaliar o desempenho do(a) candidato(a), tendo chegado ao seguinte resultado: Profa. Dra. Márcia Carvalho de Melo (aprovada), Prof. Dr. Wazzer Lismar Miranda (aprovada), Prof. Dr. Paulo Henrique Ferreira Galvão (APROVADA), Profa. Dra. Wanderlene Ferreira Nacif (aprovada) e Prof. Dr. Felipe Bernardes Silva (aprovada). Em vista deste resultado, o(s) candidato(s) Jeane Dantas de Carvalho foi considerado(a) aprovada, fazendo jus ao título de Mestre pelo Programa de Mestrado Profissional em Sustentabilidade em Recursos Hídricos. Sendo verdade, eu, Prof. Francislaine Santos Silva do Rosário, Secretária Geral da UninCór, confesso e levo a presente ata, que assino juntamente com os Membros da Banca Examinadora.

Três Cuações, 03 de julho de 2020.

Novo título (sugerido pelo banco)

Marcia Carvalho de Melo
Profa. Dra. Márcia Carvalho de Melo (UninCór)

Wazzer Lismar Miranda
Prof. Dr. Wazzer Lismar Miranda (IF Balsas)

Paulo Henrique Ferreira Galvão
Prof. Dr. Paulo Henrique Ferreira Galvão (UFG)

Wanderlene Ferreira Nacif
Profa. Dra. Wanderlene Ferreira Nacif (SEMAD)

Felipe Bernardes Silva
Prof. Dr. Felipe Bernardes Silva (UninCór)

Francislaine Santos Silva do Rosário
Prof. Francislaine Santos Silva do Rosário
Secretária Geral - UninCór

Aos meus filhos Hanna e João, presentes de Deus, motivo da minha alegria diária. Ao meu marido Breno, meu grande amor, que acredita em mim, me apoia e me faz crer que tudo vai ser melhor sempre. Aos meus pais Júlio (*in memoriam*) e Mariêta, que me ensinaram o sentido da palavra generosidade e sempre me disseram que não há idade nem um tempo definido para correr atrás dos nossos sonhos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por me iluminar e sempre me mostrar o caminho certo.

À minha família, meus filhos, Hanna e João, razão da minha vida, agradeço o sorriso, o melhor abraço, a compreensão diária, meu marido Breno, agradeço o estímulo e a fé constantes, o carinho, o companheirismo. A vocês três, agradeço imensamente o amor e a presença incansável em todos os momentos.

Aos meus pais, por me terem dado educação, valores e por me terem ensinado a acreditar em sonhos. A meu pai (in memoriam), que onde quer que esteja, eu sei que continua a me amar e a acreditar em mim. Pai, meu amor eterno. À minha mãe, torcedora inigualável, pelas suas orações, incentivo, meu amor incondicional.

Aos demais familiares, meu irmão Gerson, meu padrinho Pe. João de Deus, e amigos, pelo carinho, apoio e pela torcida.

À minha orientadora, Marília, pela orientação, ensinamentos, por não ter permitido que eu interrompesse o processo e pela confiança.

Ao meu coorientador, Wezer, especialmente pelo incentivo a ingressar no mestrado.

À Universidade Vale do Rio Verde (UninCor) e a todos os professores que participaram desta jornada, agradeço pelo aprendizado.

À Luiza, pelo apoio, pela disponibilidade e paciência, com que me auxiliou na elaboração deste trabalho.

Aos amigos do mestrado, com um carinho muito especial para “turma do “Bonde”, alegria e apoio constantes durante todo esse percurso.

A todos que de alguma forma, direta ou indiretamente, contribuíram para a conclusão deste trabalho.

*“Foi o tempo que dedicaste à tua
rosa, que a fez tão importante ”.*

Saint-Exupéry

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Quantitativo de portarias de outorga vigentes até o ano de 2017 no Estado de Minas Gerais.....	47
Tabela 2 - Q7,10 da porção mineira das bacias hidrográficas de domínio da união.....	48
Tabela 3 - Demanda de outorga superficial por bacia hidrográfica federal.....	49
Tabela 4 – Resumo dos critérios estabelecidos na Deliberação Normativa CERH 49/2015.....	58
Tabela 5- Quantificação de número de dias no ano de ocorrência vazões abaixo de 50% ou 70% da Q7,10.....	69
Tabela 6 – Quantificação de formalizações de processos de regularização pelo uso da água e ano e UPGRH.....	75

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Revisão de conceitos de seca e suas consequências associadas.....	33
Quadro 2 – Identificação de diferentes tipos de seca.....	36
Quadro 3 – Experiência de aumento de demanda pelo uso de água subterrânea em função da pouca disponibilidade de água superficial.....	40
Quadro 4 – Requerimentos de processos autorizativos de uso de recursos hídricos na porção mineira da bacia hidrográfica do rio são Francisco - 2009 a 2018.....	59

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Localização da UPGRHs na Bacia Hidrográfica do rio São Francisco.....	46
Figura 2 – Distribuição das estações pluviométricas do INMET, objeto do estudo.....	54
Figura 3 – Distribuição das estações fluviométricas da ANA, objeto do estudo.....	57
Figura 4 – Distribuição espacial da Normal Climatológica.....	61
Figura 5 – Anomalia de Precipitação períodos 2008/2009 a 2017/2018.....	63
Figura 6 – Anomalia de Precipitação nas UPGRHs SF1 a SF4 entre os anos 2009-2018.....	65
Figura 7 – Anomalia de Precipitação nas UPGRHs SF5 a SF8 entre os anos 2009-2018.....	66
Figura 8 – Anomalia de Precipitação nas UPGRHs SF9 a SF10 entre os anos 2009-2018.....	67
Figura 9 – Intervalos da quantidade de dias em estado de restrição para os anos de 2014 a 2018, na porção mineira da bacia hidrográfica do São Francisco.....	72
Figura 10 – Requerimentos de processos autorizativos de uso de recursos hídricos na bacia hidrográfica do rio São Francisco de 2009 a 2018.....	74
Figura 11 – Comparativo anual das UPGRH SF1 a SF4 dos requerimentos de processos de regularização pelo uso da água, superficiais e subterrâneos.....	77
Figura 12 – Comparativo anual das UPGRH SF5 a SF8 dos requerimentos de processos de regularização pelo uso da água, superficiais e subterrâneos.....	78
Figura 13 – Comparativo anual das UPGRH SF9 a SF10 dos requerimentos de processos de regularização pelo uso da água, superficiais e subterrâneos.....	79
Figura 14 – Gráfico da Correlação entre os dados de anomalia de precipitação, escassez e requerimentos de processos autorizativos na UPGRH SF1.....	80
Figura 15 – Gráfico da Correlação entre os dados de anomalia de precipitação, escassez e requerimentos de processos autorizativos na UPGRH SF2.....	82
Figura 16 – Gráfico da Correlação entre os dados de anomalia de precipitação, escassez e requerimentos de processos autorizativos na UPGRH SF3.....	82
Figura 17 – Gráfico da Correlação entre os dados de anomalia de precipitação, escassez e requerimentos de processos autorizativos na UPGRH SF4.....	83

Figura 18 – Gráfico da Correlação entre os dados de anomalia de precipitação, escassez e requerimentos de processos autorizativos na UPGRH SF5.....	84
Figura 19 – Gráfico da Correlação entre os dados de anomalia de precipitação, escassez e requerimentos de processos autorizativos na UPGRH SF6.....	84
Figura 20 – Gráfico da Correlação entre os dados de anomalia de precipitação, escassez e requerimentos de processos autorizativos na UPGRH SF7.....	85
Figura 21 – Gráfico da Correlação entre os dados de anomalia de precipitação, escassez e requerimentos de processos autorizativos na UPGRH SF8.....	86
Figura 22 – Gráfico da Correlação entre os dados de anomalia de precipitação, escassez e requerimentos de processos autorizativos na UPGRH SF9.....	86
Figura 23 – Gráfico da Correlação entre os dados de anomalia de precipitação, escassez e requerimentos de processos autorizativos na UPGRH SF10.....	87

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
CERH-MG	Conselho Estadual de Recursos Hídricos
CBH	Comitê de Bacia Hidrográfica
CODEVASF	Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba
COMPESA	Companhia Pernambucana de Saneamento
ECP	Estado de Calamidade Pública
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IGAM	Instituto Mineiro de Gestão das Águas
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
OMM	Organização Meteorológica Mundial
ONU	Organização das Nações Unidas
OCP	Operação Carro Pipa
MENA	Oriente Médio e Norte da África
MMA	Ministério do Meio Ambiente
PERH	Plano Estadual de Recursos Hídricos
PRH-SF	Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco
PNRH	Plano Nacional de Recursos Hídricos
RMBH	Região Metropolitana de Belo Horizonte
SE	Situação de Emergência
SEGRH-MG	Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SEMAD	Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável
SIAGAS	Sistema de Informação de Águas Subterrâneas

SIAM	Sistema Integrado de Informações Ambientais
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura
UPGRH	Unidade de Planejamento de Gestão de Recursos Hídricos

RESUMO

Tendo em vista que na última década as situações de escassez hídrica têm-se tornado mais evidentes, observa-se que essa situação afeta, de forma mais intensa, a disponibilidade hídrica superficial, levando os usuários de recursos hídricos a privilegiar a utilização da água subterrânea como fonte complementar ou suplementar para atendimento às suas necessidades. Em Minas Gerais a Bacia Hidrográfica do rio São Francisco é uma das importantes bacias hidrográficas que banham o Estado, compreendendo as regiões Norte, Noroeste, Central, Oeste e Metropolitana de Belo Horizonte e possui uma preponderância de uso de água subterrânea. Considerando-se este cenário, visando verificar se na bacia hidrográfica do rio São Francisco, no período de 2009 a 2018, ocorreu aumento de requerimentos de uso de água subterrânea em função da ocorrência de escassez hídrica, este trabalho buscou avaliar o comportamento das chuvas entre o período 2009 e 2018, assim como as ocorrências de escassez hídrica e o quantitativo de requerimentos de usos de água subterrâneas em comparação com os requerimentos de água superficial. Para mensurar o comportamento das chuvas foram utilizados dados de precipitação acumulada de 210 estações pluviométricas do INMET, considerando a série histórica, entre 2009 e 2018. Para a avaliação da condição de escassez hídrica foi utilizado o critério da DN CERH-MG nº 49/2015, que define situação crítica de escassez hídrica e estado de restrição de uso de recursos hídricos superficiais nas porções hidrográficas no Estado de Minas Gerais, as estações fluviométricas utilizadas para análise foram da ANA, com dados disponíveis para o período de 2009 a 2018, sendo um total de 45 estações. Para o levantamento de dados das solicitações de outorgas superficiais e subterrâneas na bacia hidrográfica durante os anos de 2009 a 2018 foram utilizados dados do Igam, através do Sistema Integrado de Informações Ambientais – SIAM. A partir dos resultados obtidos, foi possível realizar a correlação para verificação da influência da anomalia de precipitação e da escassez hídrica nas solicitações de regularização pelo uso da água na bacia hidrográfica do rio São Francisco no período de 2009 a 2018. Ao final constatou-se um aumento de requerimentos de autorizações para uso de águas subterrâneas do estado nos anos de maior ocorrência de dias com situação crítica de escassez hídrica, embora a bacia, de uma forma geral, tenha uma preponderância para o uso da mesma.

Palavras-chave: Escassez hídrica 1. Água subterrânea 2. Rio São Francisco 3.

ABSTRACT

In view of the last decade, the situation of water scarcity has becoming more evident, it is observed that these situations affect, in a more intensity, the superficial water disponibility, inducing the users of water resources to use underground water as a complementary or supplementary source to meet their needs. In Minas Gerais state, the São Francisco River Basin is one of the main hydrographic basins, including the North, Northwest, Central, West and Metropolitan regions of Belo Horizonte and has a preponderance of underground water use. In this scenario, the São Francisco River basin was selected to verify if there was an increase in the requirements of groundwater use in due to the occurrence of water scarcity from 2009 to 2018. This work seeks to evaluate the behavior of gloves during this period, as scarcity and quantitative requirements of groundwater uses compared to surface water requirements. Data from 210 INMET pluviometric stations were used to measure or glove behavior, considering a historical series between 2009 and 2018. For an assessment of the water scarcity condition used by the method of DN-CERH-MG 49/2015, which defines the critical situation of water scarcity and the condition of restricted use of surface water resources in hydrographic portions in the State of Minas Gerais, as fluviometric stations used for analysis were from ANA, with data available for the period from 2009 to 2018, totaling 45 stations. For collecting data on requests for surface and underground grants in the hydrographic basin during the years 2009 to 2018, IGAM data were used, through the Sistema Integrado de Informações Ambientais – SIAM. From the results obtained, it was possible to perform a correlation to verify the influence of the anomaly of use and water scarcity in requests for regularization by the use of the São Francisco River water basin in the period from 2009 to 2018. At the end, it was found an increase in requests for authorizations for the use of groundwater in cases of years of greater occurrence of situations with water scarcity, although the basin, in general, has a preponderance for its use.

Keywords: *Water scarcity. Underground water. São Francisco River.*

SUMÁRIO

RESUMO.....	14
1. INTRODUÇÃO.....	18
2. REFERENCIAL TEÓRICO	22
2.1 Regularização de Uso de Recursos Hídricos no Estado de Minas Gerais.....	25
2.2 Disponibilidade Hídrica Superficial e Subterrânea	28
2.3 Evento Crítico de seca e sua influência na Disponibilidade hídrica.....	31
2.4 Experiências de aumento de demanda pelo uso de água subterrânea em função da pouca disponibilidade de água superficial	38
3. ESTUDO DE CASO: BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO E SUA PORÇÃO MINEIRA.....	44
4. MATERIAL E MÉTODOS	50
4.1. Procedimentos Metodológicos.....	50
4.2. O Processo da Pesquisa.....	50
4.2.1 Análise da precipitação na Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco	52
4.2.2 Espacialização da normal climatológica	54
4.2.3 Espacialização da anomalia de precipitação	55
4.2.4 Análise de vazão na bacia hidrográfica do rio São Francisco no período de 2009 a 2018.....	55
4.2.4.1 Seleção das estações fluviométricas.....	55
4.2.4.2 Avaliação da condição de escassez hídrica de acordo com a Deliberação Normativa CERH/MG nº 49/2015	57
4.2.4.3 Análise de requerimentos de processos autorizativos de uso de recursos hídricos.....	58
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	60
5.1. Normal Climatológica.....	60
5.2. Anomalia da Precipitação.....	61
5.3. Análise do estado das vazões	68

5.4. Análise comparativa de requerimentos de processos autorizativos de uso de recursos hídricos na bacia hidrográfica do rio São Francisco.....	74
5.5. Verificação da influência da anomalia de precipitação e da escassez hídrica e nas solicitações de regularização pelo uso da água	80
6. CONCLUSÃO	89
REFERÊNCIAS	90
ANEXO.....	99
ANEXO A – Estações pluviométricas selecionadas para análise de dados de precipitação.....	99
ANEXO B – Estações pluviométricas selecionadas para análise de dados de precipitação por período chuvoso, considerando o período de estudo	105
ANEXO C – Estações fluviométricas separadas por ano com as respectivas porcentagens de falhas encontradas	111
ANEXO D - Faixas de ocorrência da anomalia de precipitação nas UPGRHs	113

1. INTRODUÇÃO

“A água é essencial à vida, porém, é necessário que seja fornecida à população e aos demais seres vivos de forma permanente, em quantidade e qualidade adequadas”. (BRITO, SILVA E PORTO, 2007). Ainda assim, de acordo com os autores citados, desde o início do século XX, regiões do planeta enfrentam uma severa crise hídrica, tanto para o consumo da população como para o desenvolvimento social, pois a população mundial aumentou mais de três vezes, enquanto o consumo de água aumentou em nove vezes, aproximadamente.

Essa tendência parece prevalecer quando se observa que projeções futuras demonstram um aumento de 30% na demanda de água até 2050 decorrente da semelhante projeção de demanda crescente de alimento, energia e produção industrial para atendimento da população mundial (WWAP, 2012; WWAP, 2016; WWAP, 2019; SILVA E; PEREIRA, 2019; ALCAMO et al., 2000).

Em complementação aos autores acima, Postel, (1992); Gleick (1993a) apud Villar (2016) haviam descrito que o conhecimento de crise hídrica surgiu no início dos anos 1990 e, desta forma, foi ganhando destaque na literatura científica, nas organizações internacionais e na concepção das políticas de gestão hídrica.

Diversos fatores são apontados pela literatura como possíveis causas para a crise estabelecida. Segundo o Relatório Mundial das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos - WWDR4 “a água é o principal meio pelo qual a mudança climática influi sobre o ecossistema terrestre e, portanto, sobre os meios de subsistência e o bem-estar das sociedades”. O WWDR4 (2012) também afirmou que era esperado que a mudança climática interferisse na disponibilidade dos recursos hídricos, com alterações na distribuição das precipitações, da umidade do solo, do derretimento do gelo e dos glaciares, e dos fluxos das águas superficiais e subterrâneas.

Outro fator que contribui para a crise hídrica é a ocorrência de eventos hidrológicos extremos, que, no caso das estiagens, tendem a ser mais severas e prolongadas impactando os usos nos diversos setores (ARNELL, 1999; VÖRÖSMARTY et al., 2000; BATES et al., 2008; LU et al., 2019; MAJONE et al., 2019).

Esse cenário não é diferente no Brasil. De acordo com Brito, Silva e Porto (2007), apesar do Brasil estar incluído entre os países de maior reserva de água doce, ou seja, 13,8% do deflúvio médio mundial, com uma disponibilidade hídrica per capita variando

de 1.835 m³/hab./ano na bacia hidrográfica do Atlântico Leste e 628.938 m³/hab./ano na bacia hidrográfica Amazônica, algumas outras regiões, como o Semiárido, devido às suas dimensões geográficas e diversidade climática, sofrem sérios problemas de escassez hídrica.

Mattiuzi (2018) aprofundando a discussão sobre a escassez hídrica no Brasil cita, como exemplo, algumas situações críticas como na região nordeste, devido ao clima semiárido e a baixa concentração de água superficial; na região sudeste, que segundo a autora apresenta problemas graves de quantidade e qualidade de água devido às altas taxas de urbanização e industrialização, e na região sul, que utiliza grandes quantidades de água para a irrigação de culturas como milho, soja e, principalmente, arroz.

ANA (2018) corrobora informando que a demanda por uso de água no Brasil tem sido crescente, com aumento estimado próximo a 80% no total retirado de água nas últimas duas décadas. Complementa ainda, afirmando que esta situação leva a uma alta vulnerabilidade, pois gera um balanço hídrico desfavorável, associado a baixos investimentos em infraestrutura hídrica, principalmente dos sistemas de produção de água.

De acordo com o Igam (2018), no estado de Minas Gerais, foram realizadas decretações de Situação de Emergência em decorrência da seca, no período de 2014 a 2017, abrangendo 276 municípios mineiros com a publicação de 714 Decretos no total. Em 112 municípios a decretação foi recorrente nos quatro anos monitorados. Em razão disso, vários municípios entraram em estado de racionamento para o abastecimento de água entre os anos de 2015 e 2017.

Na bacia hidrográfica do rio São Francisco foram observadas condições mais restritivas de disponibilidade hídrica. Entretanto, o relatório afirma que o fato não se configurou necessariamente cenários de emergência e/ou racionamento (IGAM, 2018). Na mesma linha, segundo ANA (2018) nas bacias hidrográficas do São Francisco, Parnaíba e em parcela significativa do Tocantins-Araguaia, 2017 foi considerado um ano muito seco a extremamente seco.

De forma generalizada quando se fala em carência de disponibilidade hídrica, observa-se que a referência são as águas superficiais, que são utilizadas como as fontes mais comuns de captação. Observa-se que com a escassez da disponibilidade hídrica superficial, o uso da água subterrânea passou a ser visto como um recurso fundamental para em diversas regiões do mundo.

De acordo com o WWDR4 (2012),

As águas subterrâneas são essenciais para os meios de vida e para a segurança alimentar de mais de um bilhão de habitações rurais nas regiões mais pobres da África e da Ásia, e para o suprimento doméstico de água de grande parte da população do resto do mundo. Nos últimos 50 anos, o ritmo de extração de águas subterrâneas tem triplicado o que tem favorecido particularmente a produção de alimentos e o desenvolvimento rural.

Segundo Villar (2016), as águas subterrâneas têm se apresentado cada vez mais como parte da solução para a pouca disponibilidade hídrica, especialmente diante da necessidade de ampliar a disponibilidade e de enfrentar a variabilidade climática.

Percebe-se, portanto, um incremento no uso de água subterrânea de maneira geral. De acordo com ANA (2018), quando levantadas as informações sobre as fontes de abastecimento de água subterrânea, em julho de 2018, os poços cadastrados no Brasil totalizavam mais de 302 mil, o que representa um aumento anual de mais de 22% em relação à estimativa realizada no ano de 2008, para o período.

Segundo informações apresentadas pelo Instituto Trata Brasil (2019), a água subterrânea é o recurso natural mais extraído do subsolo brasileiro, sendo que o total de água bombeada, por mais de 2,5 milhões de poços tubulares, supera os 17.580 Mm³/ano, o que significa volume suficiente para abastecer a cada ano a população atual brasileira.

Em Minas Gerais esta tendência de uso de água subterrânea também se repete. Considerando as informações do Relatório Anual de Gestão e Situação dos Recursos Hídricos de Minas Gerais, até o ano de 2017 foram contabilizadas 7052 portarias de outorgas superficiais e 12879 subterrâneas vigentes, sendo que nos dados apresentados, observou-se que a bacia hidrográfica do São Francisco é a que possuía o maior quantitativo de outorgas vigentes, com um total de 2441 superficiais e 5631 subterrâneas (IGAM, 2018). Verificou-se que, no geral, o quantitativo de outorgas para uso de água subterrânea superou em mais de 50% o de água superficial.

Diante desse aumento da procura pelas águas subterrâneas observa-se que acompanhar e disciplinar seu uso se torna cada vez mais necessário, sendo o monitoramento uma ferramenta importante para apoiar o gerenciamento e a tomada de decisões.

É nesse contexto que essa pesquisa tem como objetivo geral avaliar o comportamento da demanda de uso da água subterrânea em relação à ocorrência de escassez hídrica, decorrentes de eventos extremos de seca, entre os anos de 2009-2018, na porção mineira da bacia hidrográfica do Rio São Francisco.

Como objetivos específicos para o trabalho de correlação de dados, buscar-se-á

- a. Identificar o comportamento das chuvas na bacia hidrográfica e período em estudo;
- b. Verificar a ocorrência de situações de escassez hídrica superficial;
- c. Avaliar o incremento do uso de água subterrânea por meio dos requerimentos de processos autorizativos de uso de recursos hídricos;
- d. Relacionar os dados meteorológicos com os de ocorrência de vazões e os de requerimentos de processos autorizativos na porção mineira da bacia hidrográfica do rio São Francisco, no período de 2009 a 2018.

A escolha da bacia hidrográfica do rio São Francisco como área de estudo do desta pesquisa baseou-se nas premissas apontadas sobre a crise hídrica, a utilização da água subterrânea de forma crescente, e que tanto a ANA quanto o IGAM descreveram que a bacia hidrográfica do São Francisco nos períodos monitorados entre os de 2014 e 2017, indicou uma situação crítica de seca, sendo que no estado de Minas Gerais é a bacia hidrográfica que possuía o maior quantitativo de usos outorgados vigentes, até o período analisado.

Este trabalho poderá propiciar ao órgão gestor de recursos hídricos capacidade de avaliar um eventual incremento de demanda da sociedade por regularização do uso das águas subterrâneas na bacia hidrográfica do rio São Francisco, possibilitando uma antecipação de ações de prevenção à super exploração de aquíferos e sustentabilidade dos usos. E, ainda, aos usuários das águas da bacia hidrográfica do rio São Francisco, uma avaliação de tendência da disponibilidade da demanda por água, permitindo a adoção de medidas antecipatórias para que o provimento de água para os respectivos processos produtivos não fique prejudicada.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

A água, elemento natural essencial ao ser humano e aos demais seres vivos, é um tema de muita atenção nos últimos anos. Esta afirmação foi corroborada por Zanatta e Coitinho (2002) quando disseram que “a água é o mais importante composto químico da natureza e essencial para qualquer atividade humana e imprescindível à sobrevivência de qualquer espécie”.

Segundo Rhoden et al, (2016), como a água é um recurso natural escasso, é essencial que o homem promova a sua conservação e preservação partindo de ações relevantes de cunho ambiental com vistas a manter a quantidade e qualidade da água em uma região para as gerações atuais e futuras.

Considerando o que os autores afirmam sobre a água ser um recurso natural escasso, é importante entender como a água está presente na natureza, ou seja, em contínua circulação, fenômeno denominado de ciclo da água.

Nesse ciclo, a água dos oceanos, rios e lagos, da camada superficial dos solos e das plantas evapora por ação dos raios solares. O vapor formado constitui as nuvens que, em condições adequadas, condensam-se e precipitam-se em forma de chuva, neve ou granizo. Parte da água das chuvas infiltra-se no solo. Outra parte escorre pela superfície até os cursos de água ou regressa à atmosfera pela evaporação, formando novas nuvens. A porção que se infiltra no solo abastece os aquíferos, reservatórios de água subterrânea que, por sua vez, alimentam os rios e os lagos. (MMA, 2005).

Rhoden et al., (2016) asseverou que

O ciclo hidrológico é o ciclo da água na natureza e está intimamente ligado à vida no planeta, portanto, é fundamental que o ciclo se complete em sua plenitude para que sempre haja possibilidade de chuva e de ciclagem da água, permitindo seu uso pleno pelos seres humanos, contribuindo para o desenvolvimento das populações, para a produção de alimentos e para o equilíbrio dos ecossistemas.

A água ocupa aproximadamente 70% da superfície do nosso planeta, entretanto 97,5% da água do planeta é salgada e da parcela de água doce, 68,9% encontra-se nas geleiras, calotas polares ou em regiões montanhosas, 29,9% em águas subterrâneas, 0,9% compõe a umidade do solo e dos pântanos e apenas 0,3% constitui a porção superficial de água doce presente em rios e lagos. (MMA, 2005).

Costa e Santos (2000), afirmam que apesar do Brasil possuir em seu território 8% da reserva de água doce do mundo, perto de 80% dessa água encontra-se na região

Amazônica, ficando os restantes 20% para o abastecimento de áreas do território onde se concentram 95% da população, desta forma, mesmo com grande potencial hídrico, a água é objeto de conflito em várias regiões do país.

Neste cenário, considerando que apenas 0,3% da água superficial está disponível para o consumo e que a água subterrânea representa 29,9% desta disponibilidade, sendo ela uma importante reserva, conclui-se que a água disponível para utilização é um recurso que deve ser bem gerenciado, de forma a garantir o direito da população ao seu acesso.

Segundo Herráiz (2009), apesar das possibilidades que as águas subterrâneas permitem e das tecnologias existentes, o recurso ainda não é adequadamente considerado no gerenciamento de muitos países como a Espanha por exemplo, o autor complementa destacando que muitos países também não têm hidrogeólogos suficientes e apresentam serias deficiências na proteção contra a contaminação.

Bolson e Haonat (2016), descreveram que a governança da água sugere o estabelecimento de um sistema de regras, normas e condutas que retratem os valores e visões de mundo daqueles indivíduos sujeitos a esse marco normativo, devendo ser descentralizada e considerando a unidade de gestão por bacia hidrográfica.

No Brasil foram estabelecidas normativas que trouxeram instrumentos como forma de gerir e regular os recursos hídricos.

O Código de Águas, em 1934, deu início à legislação brasileira em recursos hídricos. Sendo que o Código foi considerado um modelo centralizador, pois de acordo com Vasconcelos (2013), devido dar destaque ao aproveitamento hidráulico para fins energéticos em detrimento aos demais usos.

No ano de 1997, foi instituída, em nível nacional a Lei 9.433, Lei das Águas, trazendo uma nova visão da gestão integrada, descentralizada, com a participação dos usuários, o poder público e a sociedade civil organizada.

A Lei 9.433/1997 traz em seu artigo 5º a outorga de direito de uso dos recursos hídricos como um dos instrumentos de gestão. E em seu artigo 11, explicita que o regime de outorga de direitos de uso de recursos hídricos tem como objetivos assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso à água (BRASIL, 1997).

Segundo Vasconcelos (2013) a outorga é o mecanismo pelo qual o usuário recebe uma autorização ou uma concessão, para fazer uso do recurso hídrico, sendo que a outorga

de direito de uso da água e a cobrança pelo uso da água constituem relevante elemento para o controle do uso dos recursos hídricos e contribuem, para disciplinar esse uso.

No Plano Nacional de Recursos Hídricos - PNRH (2006) a definição está ainda mais completa quando explicita que através da outorga os órgãos de gerenciamento de recursos hídricos podem calcular a disponibilidade hídrica e as possibilidades de retirada de água em cada sistema hídrico. Podem ser calculados os volumes necessários de fluxos de retorno aos corpos d'água, assim como a qualidade dos efluentes possíveis de serem lançados nos corpos d'água receptores. Em termos quantitativos, a outorga visa atender as demandas, assim como garantir a manutenção dos fluxos ecológicos nos corpos d'água que mantenham as suas funções vitais e ambientais. Em termos qualitativos, a outorga visa controlar os volumes de efluentes lançados e a manutenção da conformidade dos parâmetros de qualidade e das classes de enquadramento de cada corpo d'água. (PNRH, 2006).

Considerando as premissas do instrumento outorga, para se avaliar a possibilidade de emissão da autorização pelo órgão outorgante (Estado ou União) é necessário entender dois conceitos básicos: demanda e disponibilidade hídrica.

Para Arsky e Santana (2013), demanda hídrica é a quantidade de água captada, que pode ser expressa em unidades de volume e que satisfaça os usos múltiplos pela população. Destaca ainda que em função de sua qualidade e quantidade, esses usos podem ser classificados como consuntivos e não consuntivos.

Arsky e Santana (2013), explicam que

O uso consuntivo ocorre quando parte da água captada é consumida no processo produtivo, não retornando ao curso de água. E o uso não consuntivo refere-se ao uso da água captada ou utilizada em determinada atividade é devolvida na mesma quantidade e qualidade, ou então a água é utilizada apenas como meio para determinada atividade.

No Brasil, em muitos estados, para a definição da disponibilidade hídrica em águas superficiais têm-se adotado vazões de referência para outorga. De acordo com Harris et al, 2000, aplicar o critério de vazão de referência é um procedimento adequado para proteção dos rios, pois as alocações para as derivações são realizadas partindo de uma vazão de base de pequeno risco. Observa-se que este conceito comumente é aplicado para as captações em águas superficiais (rios, lagos).

Mesmo considerando que a União e os estados tenham instrumentos que possam assegurar o controle de uso da água, existem fatores como o uso não eficiente da água,

usos irregulares, além de fatores de ordem natural como escassez pluviométrica, que podem influenciar na disponibilidade hídrica.

Segundo estudo realizado pela ANA (2010), o Brasil é um país rico em recursos hídricos. Entretanto, observa-se que há uma distribuição deste recurso de forma desigual, e que aspectos climáticos e locacionais da população têm causado graves crises de escassez hídrica em diversas de suas regiões.

Este cenário pode ser agravado, considerando segundo Cerqueira et al. (2015), a carência de chuvas tem conduzido o Brasil e, em particular, a região Sudeste, a uma situação difícil. A crise hídrica vivida no final de período úmido entre 2014/2015 foi inédita e trouxe sérias consequências econômicas e sociais, tendo sido observadas muitas dificuldades em setores como, geração de energia elétrica, no abastecimento das cidades e na agricultura.

De acordo com ANA (2014), a partir de 2012, vários municípios do Brasil têm apresentado reduções de pluviosidade, esboçando um cenário de escassez hídrica. Esse fenômeno climático tem causado impactos na oferta de água para o abastecimento público e outros usos, como irrigação e geração de energia elétrica.

Em Minas Gerais, Andrade; Nunes (2014) já haviam apresentado a questão da estiagem dizendo que em 2012 a seca se destacou como uma das piores dos últimos anos, pois o noticiário do estado revelava um cenário desolador, semelhante a cenários observados no início do século XX. Esta constatação é corroborada por Carvalho et al., (2017) que afirmaram que “frequentemente grande parte do Estado de Minas Gerais vem sendo atingida por eventos hidrometeorológicos extremos, causando danos à população, ao meio ambiente, aos bens vulneráveis e às atividades sociais e econômicas”.

2.1 Regularização de Uso de Recursos Hídricos no Estado de Minas Gerais

O estado de Minas Gerais instituiu a Lei Estadual nº 13.199/99 que dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, na qual devem ser observados, além de outros fatores, a gestão sistemática dos recursos hídricos, sem dissociação dos aspectos de quantidade e qualidade. (MINAS GERAIS, 1997).

No ano de 2000, Minas Gerais publicou a Lei nº 13.771, que trata da administração, a proteção e a conservação das águas subterrâneas de domínio do Estado e dá outras providências. (MINAS GERAIS, 2000).

As duas normas trouxeram a previsão do instrumento de gestão Outorga de Direito de Uso dos Recursos Hídricos, explicada no item 2.0 deste trabalho. No estado de Minas Gerais, de acordo com a Lei 13.199/99, os usos passíveis de outorga são: as acumulações, as derivações ou a captação de parcela da água existente em um corpo de água para consumo final, incluindo o abastecimento público, ou insumo de processo produtivo; a extração de água de aquífero subterrâneo para consumo final ou insumo de processo produtivo; o lançamento, em corpo de água, de esgotos e demais efluentes líquidos ou gasosos, tratados ou não, com o fim de sua diluição, transporte ou disposição final; o aproveitamento de potenciais hidrelétricos e outros usos e ações que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água existente em um corpo de água (MINAS GERAIS, 1999).

Segundo Moreira (2006) a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos é um dos principais instrumentos de gestão e planejamento de recursos hídricos, permitindo ao seu detentor, por um período preestabelecido, o direito de uso de determinada quantidade de água, condicionado a sua disponibilidade, de tal modo que assegure ao órgão gestor o controle quantitativo e qualitativo do seu uso, ao mesmo tempo em que garante ao usuário o direito de uso da água de forma pessoal e intransferível.

De acordo com o §2º, do art. 19, da Lei nº 13.199/99, “a outorga efetivar-se-á por ato do Instituto Mineiro de Gestão das Águas – Igam”. (MINAS GERAIS, 1999).

Para que o órgão gestor realize o controle através do instrumento Outorga, é necessária a definição de um critério de análise de forma a realizar a distribuição da água ao usuário, garantindo seu direito de acesso.

Essa informação foi afirmada por Cruz (2001), quando escreveu que os critérios para análise dos pedidos de outorga utilizados pelos órgãos gestores utilizam diferentes vazões mínimas de referência, bem como percentuais considerados outorgáveis.

Para Silva et al. (2006) a outorga segue critérios vinculados à disponibilidade hídrica, sendo estimada através do cálculo de vazões de referência, que representam o limite máximo de utilização da água em um curso d'água.

A vazão mínima de referência é o critério adotado para fins de outorga pelos órgãos gestores de recursos hídricos e influenciam diretamente na disponibilidade hídrica superficial.

Já para autorizar a exploração por meio de água subterrânea, de acordo com a Lei nº 13.771/2000, o usuário deverá operar a sua captação de modo a assegurar a capacidade

do aquífero evitando desperdício, cabendo ao Igam exigir a recuperação dos danos que vierem a ser causados. A norma também trouxe a previsão de que os poços e outras obras de captação de águas subterrâneas devem ser dotados de equipamentos hidrométricos, definidos pelo CERH-MG, e as informações por eles obtidas apresentadas àquele órgão, quando solicitadas (MINAS GERAIS, 2000).

De forma a cumprir a lei, tanto o CERH-MG como o Igam, publicam normas suplementares, como Deliberações Normativas - DN's e Portarias, de forma a dar diretrizes mais específicas, que podem ser verificadas a seguir.

A DN do CERH nº 34, de 16 de agosto de 2010, definiu o uso insignificante de poços tubulares localizados nas Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos - SF6, SF7, SF8, SF9, SF10, JQ1, JQ2, JQ3, PA1, MU1, considerando a baixa disponibilidade hídrica de água superficial na região do semiárido do Estado de Minas Gerais. (MINAS GERAIS, 2010).

A supracitada Deliberação definiu um valor diferente para a região do semiárido mineiro, visto que já havia uma normativa do CERH-MG que definia o uso insignificante para todo o estado de Minas Gerais, que é a DN nº 09/2004. (MINAS GERAIS, 2004). Entretanto, a Deliberação em questão só permite a captação de água subterrânea em poços ou cisternas manuais até 10m³/dia, enquanto que a DN nº 34/2010 autoriza captação por meio de poço tubular em área rural, menores ou iguais a 14.000 litros/dia, por propriedade ou unidade familiar. (MINAS GERAIS, 2010). A DN nº 34/2010, foi trabalhada de forma a atender à necessidade de acesso à água subterrânea no semiárido, pois as condições da região dificultam o afloramento de água com perfuração de poços rasos.

Para melhor entendimento sobre a diferença entre um poço profundo e um poço raso, verifica-se em Hirata (2019), que poço tubular “é uma perfuração realizada por meio de máquinas de forma vertical, cilíndrica, revestida com material em PVC aditivado ou em aço, em forma de tubos e filtros, para captar água subterrânea de um aquífero”. Hirata (2019) descreveu que o poço escavado (manual), “é perfurado e construído de forma manual e revestido por bloco cerâmico, tijolo ou anel de concreto para retirada de água do aquífero”. É um poço raso.

No ano de 2017 foi publicada a Deliberação Normativa Conjunta COPAM-CERH Nº 05, de 14 de setembro de 2017, que estabeleceu diretrizes e procedimentos para a definição de áreas de restrição e controle do uso das águas subterrâneas para o estado de Minas Gerais.

Em 2019 foram publicados o Decreto 47.705 e a Portaria Igam nº 48, que estabeleceram normas e procedimentos para a regularização dos recursos hídricos de domínio do Estado de Minas Gerais. (MINAS GERAIS, 2019). Essas normas trouxeram, dentre outras previsões, os critérios para outorga, os sistemas para monitoramento, tema que constava em normas anteriores, mas foi reforçado, de forma a garantir que o instrumento outorga permita o controle efetivo da utilização do recurso hídrico de maneira racional.

Ressalta-se a ênfase em monitoramento das recentes normas, uma vez que a necessidade de ampliação do monitoramento é identificada no estado, especialmente quando se trata da água subterrânea.

Verificando-se os relatórios de qualidade da água e de situação emitidos pelo Igam, observa-se uma carência de dados de monitoramento quali-quantitativo voltados para água subterrânea, considerando especialmente a sua crescente utilização no Estado.

O Relatório Anual de Gestão e Situação de Recursos Hídricos do Estado de Minas Gerais 2014/2017 apresenta a rede de monitoramento hidrológico com 152 estações operadas pelo Igam (IGAM, 2018). Dentre as estações apresentadas, não foram identificados pontos de monitoramento de água subterrânea. No mesmo relatório foram identificados pontos de monitoramento de qualidade de água subterrânea, totalizando 119 pontos distribuídos entre a região Norte de Minas, Aquífero Guarani, Aquífero Bauru e bacia hidrográfica do rio das Velhas (IGAM, 2018).

No Relatório de Monitoramento das Águas Superficiais nas Bacias Hidrográficas de Minas Gerais em 2015, Projeto: Sistema de Monitoramento da Qualidade das Águas Superficiais do Estado de Minas Gerais - Águas de Minas, o quantitativo total de estações de monitoramento de qualidade de água superficial é de 593 estações (IGAM, 2016).

Pelos relatórios emitidos pelo Igam, verifica-se que a rede de monitoramento de qualidade de água superficial apresenta-se em maior quantidade, sendo que em relação à rede quali-quantitativa subterrânea, há necessidade de incremento.

2.2 Disponibilidade Hídrica Superficial e Subterrânea

Shiknomalov (1998) afirma que as reservas de águas subterrâneas do mundo estão estimadas em 10.360.000 km³, sendo aproximadamente 100 vezes mais abundantes que a água doce superficial o que corresponde a 96% da água doce disponível para o consumo.

Segundo Feitosa et al. (2008) para a hidrogeologia, água subterrânea é aquela que circula na zona saturada do solo, os autores descrevem que um aquífero é definido como uma formação geológica que armazena e transmite água em quantidade o suficiente de forma que possa ser explorada e/ou explorada.

Feitosa et al. (2008) indicam que para verificar a disponibilidade hídrica dos recursos subterrâneos, considerando os usos múltiplos, destacando o uso humano, industrial ou agrícola, é importante analisar características físicas, físico-químicas e biológicas da água, ressaltando que tão importante quanto os parâmetros quantitativos são também os parâmetros de aspectos qualitativos da água.

As águas superficiais, de acordo com Albuquerque Filho, et al. (2011), são corpos de água restringidos em dimensões, quando comparados as águas subterrâneas, pois os aquíferos preenchem espaços vazios do subsolo, constituídos de camadas geológicas que podem atingir dezenas a centenas de metros de espessura e áreas de ocorrência que, também, podem alcançar de centenas a milhões de quilômetros quadrados. Os autores também afirmam que:

Ao mesmo tempo, esses volumes de água subterrânea, que naturalmente tendem a se apresentar em boa qualidade, também apresentam melhores condições de proteção a possíveis efeitos das mais diferentes intervenções antrópicas ou dos distintos tipos de uso e ocupação do solo, que possam alterar a qualidade e/ ou a quantidade da água.

Desta forma os mananciais subterrâneos têm assumido cada vez mais o papel de fonte estratégica de recurso hídrico, seja para as gerações atuais, mas, sobretudo, para as futuras gerações. (ALBUQUERQUE FILHO et al 2011).

Segundo Bruke (2003), nos países desenvolvidos, a água subterrânea é bastante utilizada para uso urbano, sendo superior a 70% em muitos países europeus, sendo quase 100% na Dinamarca e mais de 50% nos Estados Unidos. O uso da água subterrânea para irrigação excede 50% na maioria dos estados do oeste dos EUA. Na Espanha, um milhão de hectares são irrigados e representam cerca de 20% da água aplicada.

Zektser e Everett (2004) apud Doll (2009) estimaram que globalmente 50% do abastecimento doméstico de água, 40% das captações de água para a indústria e 20% do abastecimento de água para irrigação são oriundas de águas subterrâneas. No Brasil, em função da grande disponibilidade superficial, a realidade é um pouco distinta como é apresentado no Atlas de Abastecimento Urbano da Água, apenas 39 % do provimento de água para abastecimento é realizado por água subterrânea (ANA, 2010).

Segundo Doll (2009), as águas subterrâneas servem como grandes "reservatórios" naturais, pois permitem a retirada de água em momentos em que as águas superficiais

estão com baixa disponibilidade hídrica, ou seja, na estação seca ou durante longos períodos de secas interanuais.

Oliveira Júnior e Scanfone (2018) apresentaram um trabalho denominado “Fornecimento de água potável no semiárido brasileiro: alternativas possíveis”. O estudo realizou comparação dos custos da Operação Carro Pipa - OCP, da dessalinização e da perfuração de poços artesianos, vinculados ao atendimento em pequeno, médio e longo prazo. O estudo foi realizado, pois, segundo os autores, a estiagem e a seca atingem boa parcela do território brasileiro, sobretudo o semiárido nordestino, e a recorrência dos fenômenos tem diminuído a oferta de água potável ao longo dos anos. (OLIVEIRA JÚNIOR E SCANFONE 2018). A conclusão do estudo foi que a implantação de Poços Artesianos nos municípios atendidos pela OCP irá minimizar os custos atuais do Estado à distribuição de Água Potável no Semiárido Brasileiro em curto prazo e a dessalinização a médio e longo prazo. Indicando que em curto prazo o Exército Brasileiro passe a investir parte dos recursos da OCP em obras de perfuração de poços. (OLIVEIRA JÚNIOR E SCANFONE 2018).

Zektser e Everett (2004) apud Doll (2009) descreveram que na União Europeia a utilização de águas subterrâneas é de aproximadamente 70%, e em países semiáridos, como Índia, EUA, México e Austrália, mais de um terço da água de irrigação é bombeada do solo.

Mattiuzi (2018) descreveu que o abastecimento de água na cidade de Arkhangelsk na Rússia é realizado pelo rio Vaymuga, e que apresenta qualidade de água ruim. Entretanto, na região existe outro manancial disponível, o aquífero Permilovo. Foi realizado um estudo que sugeriu um sistema de água combinado por meio de baterias de poços colocadas nas margens do rio Vaymuga induzindo a infiltração de água do rio. Durante a época em que a vazão fica baixa, ocorre o bombeamento de água do aquífero para o abastecimento. Para avaliar o sistema, foi desenvolvido um modelo numérico de fluxo subterrâneo, no qual simularam os cenários de bombeamento e o impacto no nível aquífero e no rio. O resultado da modelagem indicou eficiência na compensação de bombeamento.

De acordo com o Instituto Trata Brasil (2019), embora os dados oficiais (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS 2016) tenham mostrado que em cidades maiores as águas superficiais são o recurso hídrico mais utilizado, é imprescindível avaliar o papel do abastecimento complementar de poços tubulares

privados nos centros urbanos. Os autores citam, como exemplo, a Região Metropolitana de São Paulo, onde 99% do abastecimento público é realizado por água superficial. Entretanto, no ano de 2015, foi estimada a existência de mais de 13 mil poços tubulares privados, que juntos extraíam mais de 11m³/s, sugerindo uma dependência de 18% das águas subterrâneas.

Segundo Velders et al. (2009) apud Famiglietti (2014), as águas subterrâneas atuam como a chave reserva estratégica em tempos de seca. Famiglietti (2014) complementa afirmando que, particularmente, durante eventos prolongados de pouca chuva e, em alguns casos, neve, como os que ocorrem no oeste dos Estados Unidos, nordeste do Brasil e Austrália, como uma poupança, as águas subterrâneas sustentam as sociedades.

2.3 Evento Crítico de seca e sua influência na Disponibilidade hídrica

O Programa Hidrológico Internacional da Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (Unesco), apresenta que na América do Sul encontra-se 26% do total de água doce disponível no planeta e apenas 6% da população mundial, enquanto o continente asiático possui 36% do total de água e abriga 60% da população mundial (MMA, 2005).

Paz; Teodoro; Mendonça (2000) destacaram no ano de 2000 vários países com ocorrência de problemas com a falta de água, como: Kuwait, Israel, Jordânia, Arábia Saudita, Líbia, Iraque, Bélgica, Argélia, Cabo Verde, Etiópia, Iraque, Hungria, México, Estados Unidos, França, Espanha e outros. Afirmam ainda que no Brasil a falta de água atinge mais frequentemente a região Nordeste. Entretanto, problemas sérios de abastecimento em outras regiões já eram identificados. Organismos internacionais alertam para o fato de que nos próximos 25 anos cerca de 2,8 bilhões de pessoas poderão viver em regiões com extrema falta de água, inclusive para o próprio consumo (PAZ; TEODORO; MENDONÇA 2000).

Segundo trecho do relatório IPCC (2014),

Mudanças em eventos meteorológicos e climáticos extremos têm sido observadas desde 1950 (...) associadas a influências humanas, incluindo uma diminuição em temperaturas extremas de frio, um aumento de temperaturas extremas quentes, um aumento nos níveis do mar (...) e aumento do número de eventos de precipitação pesadas em diversas regiões.

Em 2017, as Organizações das Nações Unidas confirmaram o problema de falta de água informando que dois terços da população mundial atualmente vivem em áreas que passam pela escassez de água por, pelo menos, um mês ao ano. Cerca de 500 milhões de pessoas vivem em áreas onde o consumo de água excede os recursos hídricos disponíveis (ONU, 2017).

A partir do ano de 2012, o Brasil vem passando por uma diminuição na oferta de água superficial, o que levou o Poder Público, ainda que de forma tímida, buscar formas de reduzir o consumo e restringir o acesso às águas (ANA, 2015).

A suscetibilidade climática vem se agravando, conforme Relatório de Conjuntura da ANA 2017,

As estiagens e secas observadas desde 2012 em diversas regiões do Brasil têm prejudicado de forma significativa a oferta de água para abastecimento público e para setores usuários que dependem do armazenamento e/ou dos volumes de água em reservatórios, como a irrigação, a geração de energia hidrelétrica e a navegação. (ANA, 2017).

De acordo com Cirilo (2015), o cenário da crise hídrica se instalou em diversas partes das áreas mais habitadas do Sudeste. O autor usou como exemplo a cidade de São Paulo, dizendo que os mananciais nem sempre tem conseguido acumular água suficiente para atender às demandas.

Seja em um contexto de temporariedade ou permanente, a seca traz consequências às condições de uso da água, entretanto nem toda situação de seca tem a mesma característica e nem tão pouco as mesmas consequências. Assim é importante avaliar a relação do conceito de seca e as suas consequências associadas, conforme apresentado no Quadro 1.

Quadro 1 - Revisão de conceitos de seca e suas consequências associadas

AUTOR	CONCEITO DE SECA E SUAS CONSEQUÊNCIAS ASSOCIADAS
Organização Meteorológica Mundial – OMM (2006)	Seca é uma deficiência na precipitação.
Campos; Studart (2001)	Seca relaciona-se ao ponto de vista do observador, ou seja, embora a causa primária das secas esteja na carência ou falta de regularidade das chuvas, existem sequências de causas e efeitos que podem resultar diferenciados tipos de secas.
Silva et al. (2013)	Secas são consideradas fenômenos naturais severos, intensamente influenciadas pelas características fisiográficas, tais como, rocha, solo, topografia, vegetação e condições meteorológicas.
Freitas (2013)	Seca é um fenômeno natural, sendo diferenciada das demais catástrofes naturais, pois ela se inicia em uma determinada região, de forma lenta, com duração prolongada, podendo afetar áreas extensas, enquanto que as outras ocorrências naturais como, cheias, furacões e terremotos, iniciam e terminam repentinamente.
Kobiyama et al. (2006)	Seca é considerada como um dos desastres naturais de maior ocorrência e impacto no mundo, ocorrendo durante longos períodos, afetando extensas áreas.
Lindner et al. (2007)	Seca ocorre durante um dado período quando a precipitação verificada nesse período é inferior a um dado limiar.

Cirilo (2015)	Seca é um dos mais complexos fenômenos naturais e outra característica que distingue as secas é a sua duração. As secas usualmente requerem um mínimo de 2 a 3 meses para se estabilizar, mas podem continuar por vários anos consecutivos.
Marengo et al. (2016)	As secas fazem parte da variabilidade natural do clima na região, e ocorreram no passado, estão ocorrendo no presente e de acordo com as projeções de mudanças climáticas, é provável que continuem e intensifiquem no futuro.

Fonte: Autor (2020).

Os conceitos apresentados pelos autores são convergentes quanto à seca ser um fenômeno natural, influenciado pela precipitação. Também se assemelham identificando que a seca não é um fenômeno pontual, mas que ocorre em um determinado período podendo ser prolongada. Embora haja convergência entre os autores quanto à influência da precipitação, alguns autores afirmam que a causa não é exatamente a ausência da precipitação, mas a sua irregularidade.

Desta forma, identificar a ocorrências de seca e caracterizá-la avaliando os riscos que estão associados, é um dos importantes instrumentos de planejamento relacionados com a gestão de recurso hídricos. O Quadro 2 apresenta a forma de classificação de tipos diferentes.

Quadro 2 – Identificação de diferentes tipos de seca

AUTOR	TIPOS DIFERENTES DE SECA
SECA METEOROLÓGICA	
Pires (2003)	Seca meteorológica é explicada com base no grau de secura e na duração do período seco comparados a um estado normal, ou seja, é caracterizada pelo déficit da precipitação em relação ao valor normal. Seria a falta de água ocorrida pelo desequilíbrio entre a precipitação e a evaporação, com a interferência de outros elementos como a velocidade do vento, temperatura, umidade do ar e insolação.
Campos; Sturdart (2001)	Seca meteorológica é a ocorrência, em um determinado espaço e tempo, de uma insuficiência no total de chuvas em relação aos padrões normais que determinaram as necessidades. Os autores atribuíram a esse tipo de seca a circulação global da atmosfera resultando na redução na produção agrícola e no fornecimento de água, seja para abastecimento, seja para outros usos.
SECA HIDROLÓGICA	
Campos; Sturdart (2001)	Seca hidrológica pode ser entendida como a carência de águas nos rios ou reservatórios para atendimento das demandas de águas já estabelecidas em uma dada região. Uma sequência de anos com deficiência no escoamento superficial ou, também, uma má gestão dos recursos hídricos acumulados nos açudes, pode ser a causa dessa seca. O resultado gerado é o racionamento, ou colapso, em sistemas de abastecimento d'água das cidades ou das áreas de irrigação.
Pires (2003)	Está relacionada com a diminuição dos níveis médios de água em reservatórios de superfície e subterrâneos por certo período de tempo e que geralmente ocorre no fim de um período muito longo de seca meteorológica.

	A seca hidrológica traz efeitos negativos como a redução de abastecimento de água nos centros urbanos, industriais, nos sistemas de irrigação e na produção de energia elétrica.
SECA SOCIOECONÔMICA OU SOCIAL	
Fernandes et al. (2009)	Seca socioeconômica relaciona-se com o impacto da seca sobre as atividades humanas, incluindo os diretos e indiretos na produção agrícola e outras atividades econômicas. Ocorre quando o déficit de água provoca a falta de bens ou serviços (energia elétrica, alimentos, entre outros), resultante de uma má distribuição das chuvas, de um aumento no consumo, ou ainda de uma má gestão dos recursos hídricos.
Campos; Sturdart (2001)	Esta seca é entendida como carência ou distribuição irregular das chuvas e pode ser identificada como uma deficiência da umidade, em termos do sistema radicular das plantas, afetando a produção agrícola. Citam, como exemplo, o semiárido nordestino onde os efeitos da seca provocam severas perdas econômicas e grandes transtornos sociais como fome, migração e desagregação familiar.

Fonte: Autor (2020).

Segundo a OMM (2006), as secas meteorológicas ocorrem com uma maior frequência que as demais, em virtude do tempo necessário para que os impactos gerados pelo déficit de chuva sejam percebidos no meio, como redução da umidade do solo. Destaca-se ainda que, quando essa condição de seca persiste, pode-se chegar um momento em que as secas hidrológicas e socioeconômicas ocorram simultaneamente, produzindo efeitos associados e, conseqüentemente, mais graves para a sociedade.

Avaliando os diferentes tipos de secas pode-se afirmar que o Brasil tem vivenciado com mais frequência nos últimos 07 (sete) anos a seca meteorológica, o que conseqüentemente leva a seca hidrológica, como referenciado pela OMM.

Este fato é confirmado no Relatório de Avaliação dos Resultados da Gestão nº 201702527, quando diz que a partir do ano de 2012, o Brasil vem passando por uma diminuição na oferta de água, pois se verifica que embora, historicamente, as estiagens prolongadas sejam mais associadas ao Nordeste, esses eventos têm ocorrido também de forma mais intensa em outras regiões do Brasil. (BRASIL, 2018).

Considerando a revisão realizada em que se destaca a disponibilidade hídrica superficial e subterrânea e a atuação da exploração de água subterrânea como complemento para atendimento as demandas que originalmente eram superficiais, e a avaliação de como os eventos de seca podem afetar a disponibilidade hídrica, na sequência serão apresentadas experiências brasileiras e internacionais que apontam a utilização de água subterrânea para suprir a carência de água superficial.

2.4 Experiências de aumento de demanda pelo uso de água subterrânea em função da pouca disponibilidade de água superficial

Em muitas regiões, sujeita a escassez hídrica, tanto em quantidade como em qualidade, águas subterrâneas são a fonte de cerca de um terço da captação global de água e fornecem água potável para uma grande parte da população mundial. (DÖLL e KUNDZEWICZ, 2009).

Para os autores Bolgova et al. (2012), a deficiência de recursos hídricos superficiais disponíveis nas estações secas pode ser compensada pelo uso de águas subterrâneas. ANA (2015) apud Villar (2016) afirma que a degradação das águas superficiais e as mudanças climáticas tendem a aumentar a extração das águas subterrâneas.

Segundo informações levantadas por Villar (2016), a demanda subterrânea tem se destacado em termos de volume, número de municípios atendidos ou população atendida nos estados do Amazonas, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Maranhão, Pará, Paraná, Piauí, Rio Grande do Norte, Rio Grande do Sul, Roraima, São Paulo e Tocantins.

O Quadro 3 apresenta algumas experiências nacionais e internacionais de aumento de demanda pelo uso da água subterrânea em função da pouca disponibilidade superficial.

Quadro 3 – Experiência de aumento de demanda pelo uso de água subterrânea em função da pouca disponibilidade de água superficial

ESTADO/PAÍS	EXPERIÊNCIA
EXPERIÊNCIAS NACIONAIS	
Pernambuco	O estado enfrenta sérios problemas de escassez de água principalmente nos meses de estiagem. Segundo Silva et al. (2003), a estiagem dos anos de 1998 e 1999 provocou uma grande corrida aos poços nessa época, observado, principalmente, pelo aumento dos pleitos de outorga de águas subterrâneas na Região Metropolitana do Recife (RMR). O autor destaca que é comum a adoção de poços tubulares como complemento ao abastecimento fornecido pela Companhia Pernambucana de Saneamento - Compesa ou até de forma exclusiva em hotéis, clubes, condomínios, estabelecimentos comerciais.
Distrito Federal	Segundo Campos, Gaspar e Gonçalves, 2007, diversos fatores contribuíram para o aumento da demanda de água subterrânea no Distrito Federal. Sendo a expansão urbana irregular em áreas não alcançadas pelo sistema integrado de abastecimento da concessionária de serviço público de saneamento básico, CAESB (Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal) a principal causa e os outros fatores seriam indústria e irrigação, assim como a procura por uma alternativa mais econômica e de melhor qualidade, substitutiva ao uso da água superficial.
São Paulo	No Estado de São Paulo, o abastecimento urbano é realizado por captações totalmente subterrâneas em 320 municípios, captações mistas (superficiais e subterrâneas), em 250 municípios e, em 71 municípios, é utilizado o sistema integrado para este uso (ANA, 2013). Além de o abastecimento ser realizado através de poços, há também captações particulares.

	<p>De acordo com Villar (2016), quando ocorre uma situação de diminuição de oferta de água superficial, os usuários buscam garantir o acesso à água, optando por soluções individuais, como a perfuração de um poço. Bertolo et al. 2015 apud Villar (2016), alertam que a última estimativa de poços em operação na Bacia Hidrográfica do Alto Tiete catalogou 12 mil poços profundos, porém só 4.931 eram cadastrados no DAEE. Ainda de acordo com a autora estima-se que o número de poços irregulares tenha aumentado em decorrência da estiagem de 2013, 2014 e 2015.</p> <p>Conicelli (2014) apud Jacobi, Cibim, e Souza (2015) confirmaram a informação dizendo que aquela época a maioria dos poços artesanais localizados na Região Metropolitana de São Paulo - RMSP eram irregulares, por falta de consciência por parte dos usuários do impacto da sua captação em todo o sistema hídrico, e também pelo fato dos poços estarem dentro de propriedades privadas, o que dificultaria a fiscalização e controle.</p>
Paraíba	<p>No trabalho apresentado por Santos (2017) o autor informa que as cidades Paraibanas sofrem pela falta de água e por este motivo contam com abastecimento de forma racionada pelas adutoras duas a três vezes por semana ou a cada quinze dias, havendo também outras formas dependendo da disponibilidade hídrica. O autor também comenta sobre o ano de 2012 onde aponta o ano com o início de um ciclo de seca, com 180 municípios dos 223 do estado em situação crítica, sendo utilizada como saída emergencial a perfuração de poços.</p>
EXPERIÊNCIAS INTERNACIONAIS	
Santiago (Chile)	<p>Segundo Astaburuaga (2004) Santiago passou por longa seca entre os anos de 1770 e 1782 e como resultado dessa longa seca, foi realizada a construção do Canal de San Carlos, do rio Maipo ao rio Mapocho, para</p>

	<p>irrigar as extensas esplanadas secas do sul de Santiago. Após muitas dificuldades, os sucessos imediatos desse trabalho de irrigação em um único século conseguiram irrigar nada menos que um milhão de hectares, quase os mesmos que são irrigados hoje e com os mesmos canais.</p> <p>No início do século XX, o Estado iniciou obras para expandir a cobertura de irrigação, e paralelamente a construir os poucos reservatórios anuais no país. Entretanto, dada à depleção das águas superficiais em relação aos novos direitos da água há época, o crescimento da irrigação passou a ser fornecido a partir das águas subterrâneas, através de poços profundos.</p>
Espanha	<p>Segundo Stefano et al, (2015), na Espanha, as águas subterrâneas atendem cerca de um quinto do total da demanda de água sendo mais de um terço usados para irrigar (0,9 milhões de 3,3 milhões de hectares), outra parte para abastecimento de água que atendem cerca de 13 milhões de habitantes (28% da população da Espanha), também fornecem quase um quarto da demanda industrial e são fundamentais para o funcionamento hidrológico dos rios e zonas úmidas. Os autores complementam ainda dizendo que as águas subterrâneas se tornaram um recurso estratégico para o desenvolvimento socioeconômico em muitas áreas na Espanha.</p> <p>Ainda de acordo com Stefano et al, (2015), os impactos de usos urbanos e industriais no estado das águas subterrâneas em termos absolutos são pequenos, dada a magnitude da demanda e a extensão limitada das áreas afetadas pela sua poluição e que medidas preventivas, mapeamento da vulnerabilidade e sistemas de monitoramento bons são talvez as ferramentas mais eficazes para combater os impactos das utilizações em massas de água subterrâneas.</p>

Oriente Médio e Norte da África (MENA)	<p>Segundo Khater (2002) o Oriente Médio e o Norte da África denominados MENA, que compreendem 26 países (Argélia, Bahrein, Comores, Chipre, Djibuti, Egito, Irão, Iraque, Israel, Jordânia, Kuwait, Líbano, Líbia, Mauritânia, Marrocos, Omã, Palestina, Qatar, Arábia Saudita, Somália, Sudão, Síria, Tunísia, Turquia, Emirados Árabes Unidos e Iêmen), correspondem a 6% da população mundial e têm cerca de 1,4% dos recursos hídricos do mundo. O autor indica que a disponibilidade de água doce per capita em 50% dos países do MENA estão abaixo dos 500 m³/ano e que a escassez de água na região é agravada pela escassez hídrica e poluição.</p> <p>De acordo com Khater (2002) as águas subterrâneas são a principal fonte de água em 54% dos países do MENA, havendo desta forma uma ocorrência de superexploração que vem sendo agravada com o tempo.</p>
--	---

Fonte: Autor (2020).

Considerando as afirmativas dos autores, pode-se verificar através do levantamento realizado em alguns estados brasileiros e Países (Quadro 3) que o aumento de utilização de água subterrânea como alternativa complementar a falta do recurso hídrico superficial vem sendo realizado há alguns anos, em decorrência, em sua maioria, pelo fator escassez como destacado em Pernambuco, São Paulo, Paraíba, Chile, MENA.

Analisando os dados apresentados da ocorrência de eventos como seca e estiagem, que podem influenciar na disponibilidade hídrica superficial, o que pode acarretar na utilização da água subterrânea como fonte hídrica complementar ou suplementar. Dessa forma, será apresentada a bacia hidrográfica do rio São Francisco no estado de Minas Gerais, escolhida como estudo caso, para identificar se no período delimitado na presente pesquisa, de 2009 a 2018, houve aumento de demanda de solicitações de uso de recurso hídrico subterrâneo em função da ocorrência de escassez hídrica no estado de Minas Gerais.

3. ESTUDO DE CASO: BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO E SUA PORÇÃO MINEIRA

O Rio São Francisco tem sua nascente no estado de Minas Gerais e segue atravessando o estado da Bahia. Em seguida, faz divisa entre os estados da Bahia e Pernambuco e, por fim, representando a divisa entre os estados de Alagoas e Sergipe, desaguando no Oceano Atlântico. (Santos et al, 2017).

De acordo com o Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco – PRH-SF, sua extensão é de 2.863 Km com área de drenagem de mais de 639.219 Km². O rio integra as regiões Nordeste e Sudeste do Brasil, percorrendo 505 municípios, nos estados de Minas Gerais, Goiás, Bahia, Pernambuco, Alagoas e Sergipe, além do Distrito Federal. (PRH-SF, 2016).

Apresenta como principais reservatórios: Sobradinho (1.050 MW); Itaparica (1.500 MW); Paulo Afonso 1, 2, 3 e 4 (3.845 MW); e Xingó (3.000 MW). Além da produção de energia elétrica, os usos múltiplos dos reservatórios incluem: aquicultura; irrigação; suprimento de água; turismo e recreação; pesca comercial e pesca esportiva. (CODEVASF, 2001).

Dentre as características da bacia hidrográfica destaca-se o fato de que ocupa uma parte significativa do Polígono das Secas, constituindo um território reconhecido pela

legislação como sujeito a períodos críticos de prolongadas estiagens e situa-se, majoritariamente, na região Nordeste, porém estende-se até o norte de Minas Gerais. (SILVA e CLARKE, 2004).

De acordo com os autores Guimarães, Reis e Landau (2010), a Bacia hidrográfica do São Francisco é uma das importantes bacias hidrográficas localizadas em Minas Gerais, fundamental para o Estado, pois drena as águas de uma área equivalente à sua metade, compreendendo as regiões Norte, Noroeste, Central, Oeste e Metropolitana de Belo Horizonte. Complementaram ainda que, além do Rio São Francisco, são importantes formadores da bacia hidrográfica os rios Pará, Paraopeba, das Velhas, Paracatu e Verde Grande.

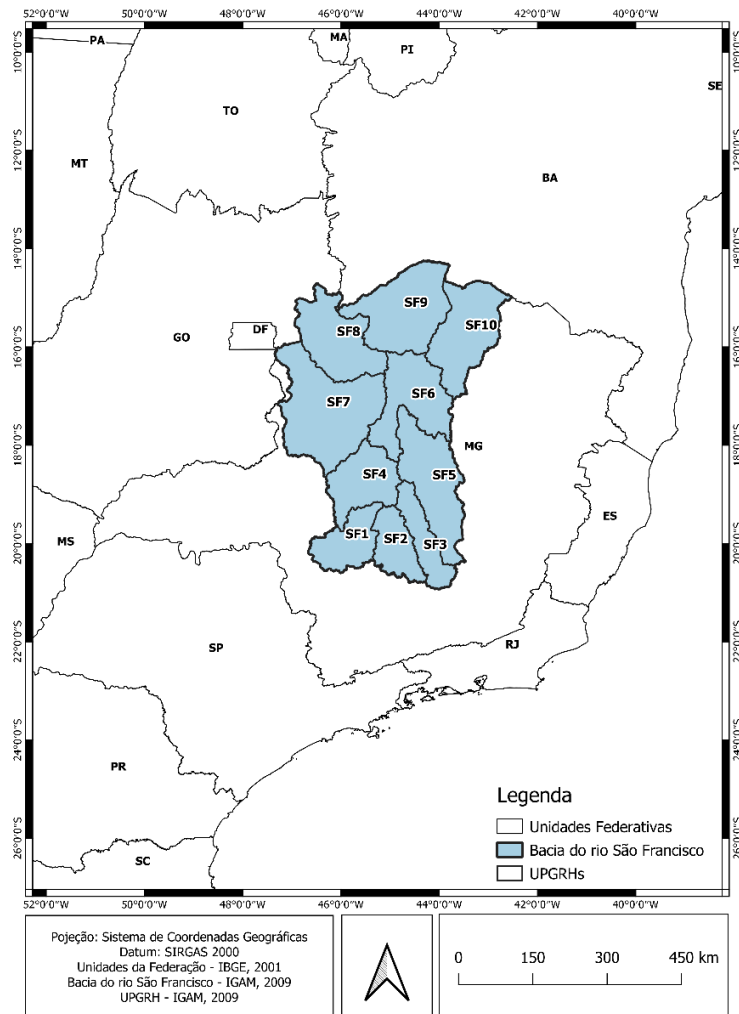
O Plano Estadual de Recursos Hídricos - PERH do estado de Minas Gerais destaca os rios Urucuaia, Paracatu, Velhas, e Paraopeba como os principais formadores do Alto São Francisco, sendo que o rio das Velhas, na margem direita, juntamente com o Paraopeba, drenam a Região Metropolitana de Belo Horizonte – RMBH (PERH, 2011).

Observa-se que tanto os autores, como os planos citados, destacam a importância da Bacia hidrográfica do São Francisco para o estado de Minas Gerais.

A bacia hidrográfica está dividida em quatro regiões fisiográficas: Alto, Médio, Submédio e Baixo São Francisco que, foram subdivididas, para fins de planejamento, em trinta e quatro sub-bacia hidrográficas. Complementarmente, a bacia hidrográfica do rio São Francisco foi subdividida em 12.821 microbacias, tendo como finalidade a caracterização, por trechos, os principais rios da região. Silva, Galvíncio e Almeida (2010).

Em Minas Gerais a bacia hidrográfica do rio São Francisco está subdividida em 10 Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos - UPGRH, sendo elas: SF1 – Bacia Hidrográfica dos Afluentes do Alto São Francisco, SF2 – Bacia Hidrográfica do Rio Pará, SF3 - Bacia Hidrográfica do Rio Paraopeba, SF4 - Bacia Hidrográfica do Entorno da Represa de Três Marias, SF5 - Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas, SF6 – Bacia Hidrográfica dos Rios Jequitaí e Pacuí, SF7 – Bacia Hidrográfica do Rio Paracatu, SF8 - Bacia hidrográfica Mineira do Rio Urucuaia, SF9 – Bacia Hidrográfica dos Afluentes Mineiros do Médio São Francisco e SF10 - Bacia Hidrográfica do Rio Verde Grande, conforme figura 1. (MINAS GERAIS, 2010).

Figural - Localização das UPGRHs na Bacia Hidrográfica do rio São Francisco.



Fonte: Autor (2020).

A bacia hidrográfica do São Francisco tem como uma das suas características a diversidade dos usos da água. Dentre os principais usos, verifica-se a irrigação, abastecimento, industrial, e ainda se encontram usos de menor expressão, como navegação, lazer, turismo, dentre outros.

Em relação à caracterização do clima, apresenta variabilidade climática associada à transição de um clima úmido e subúmido (alto São Francisco) para um clima árido e semiárido (submédio São Francisco). O clima regional é fortemente influenciado pelo regime pluviométrico, apresentando precipitações médias anuais entre 400 e 1.500 mm, com temperatura média anual de 20 a 26,5 °C, baixo índice de nebulosidade e, por consequência, grande incidência da radiação solar (FGV, 1998).

Em relação à precipitação o PRH-SF, corrobora com o estudo da Fundação, apresentando os dados de precipitação médios com valores mais elevados no Alto e

Médio São Francisco (aproximadamente 1400 mm/ano) e mais baixos no Submédio São Francisco (aproximadamente 400 mm/ano). (PRH-SF, 2016).

Quanto à demanda de recursos hídricos na bacia hidrográfica, de acordo com o PRH-SF, a vazão de retirada para atendimentos aos principais usos na bacia hidrográfica é de 309,4 m³/s, ainda de acordo com o Plano se comparado com os dados apresentados no PRH-SF 2004-2013 (ano 2000), a vazão consumida aumentou de 105% m³/s para 215,8 m³/s. O plano indica que o aumento entre 2000 e 2010 pode ser explicado pela expansão dos perímetros irrigados dentro da bacia hidrográfica (PRH-SF, 2016).

Na bacia hidrográfica do São Francisco até o ano de 2016 o Sistema de Informação de Águas Subterrâneas - SIAGAS havia inventariado 37.500 poços, sendo 83% distribuídos entre as regiões do Médio e Submédio. Esta quantidade de poços pode ser explicada porque grande parte da bacia hidrográfica está inserida no semiárido, outro motivo são as atividades humanas, destacando a agricultura e agropecuárias nas bacias hidrográficas dos rios Verde e Jacaré, bacia hidrográfica do rio das Velhas e áreas urbanizadas no Alto São Francisco. (PRH-SF, 2016).

Segundo o Relatório Anual de Gestão e Situação dos Recursos Hídricos de Minas Gerais, foram contabilizadas 7052 portarias de outorgas superficiais e 12879 portarias de outorgas subterrâneas vigentes até o ano de 2017 conforme Tabela 1. (IGAM, 2018).

Tabela 1 – Quantitativo de portarias de outorga vigentes até o ano de 2017 no Estado de Minas Gerais

BACIA HIDROGRÁFICA FEDERAL	QUANTIDADE DE PORTARIAS SUPERFICIAIS	QUANTIDADE DE PORTARIAS SUBTERRÂNEAS
Rio Doce	744	955
Rio Grande	1709	2434
Rio Jequitinhonha	383	286
Rio Pardo	52	85
Rios Piracicaba e Jaguari	30	71
Rio Paranaíba	1351	2838
Rio Paraíba do Sul	289	470
Rio São Francisco	2441	5631
Bacia hidrográficas do Leste (porção mineira dos rios Mucuri, São Mateus, Barunhem, Jucuruçu, Itanhem, Peruípe e Itaúnas)	47	65
Bacia hidrográficas do Leste (rios Itabapoana e Itapemirim)	11	4

Fonte: Igam, 2018, adaptado pelo autor.

Avaliando a Tabela 1, verifica-se que o maior quantitativo de outorgas é na porção mineira da bacia hidrográfica do rio São Francisco, contabilizando um total de 8072 Portarias vigentes até o ano de 2017.

O Relatório Anual de Gestão e Situação dos Recursos Hídricos de Minas Gerais, também apresentou a $Q_{7,10}$ (Tabela 2) da porção mineira das bacias hidrográficas de domínio da União. IGAM (2018). A $Q_{7,10}$, vazão mínima de sete dias de duração e dez anos de recorrência é a vazão de referência adotada no estado de Minas Gerais. (PERH, 2011).

Tabela 2 - $Q_{7,10}$ da porção mineira das bacias hidrográficas de domínio da União

BACIA HIDROGRÁFICA FEDERAL	ÁREA DA PORÇÃO MINEIRA (Km ²)	$Q_{7,10}$ (m ³ /s)
Rio Doce	71.251,20	219,4
Rio Grande	77.069,63	366,6
Rio Jequitinhonha	65.750,82	18,4
Rio Pardo	12.728,79	0,6
Rios Piracicaba e Jaguari	1.159,46	1,9
Rio Paranaíba	70.637,77	208,2
Rio Paraíba do Sul	20.717,69	91,0
Rio São Francisco	234.558,26	382,6
Bacias hidrográficas do Leste (porção mineira dos rios Mucuri, São Mateus, Barunhem, Jucuruçu, Itanhem, Peruípe e Itaúnas)	22.759,51	13,0
Bacias hidrográficas do Leste (rios Itabapoana e Itapemirim)	666,02	2,8

Fonte: Igam, 2018, adaptado pelo autor.

Observa-se que a bacia hidrográfica do rio São Francisco é a que possui maior extensão de área na porção mineira com 234.558,26 Km², entretanto a $Q_{7,10}$ que é de 382,6 m³/s possui valor próximo ao da bacia hidrográfica do rio Grande 366,6 m³/s que possui uma extensão aproximadamente três vezes menor correspondendo a 77.069,63 km².

Em relação à vazão outorgada, verifica-se que o maior quantitativo de uso está na porção mineira da bacia hidrográfica do rio São Francisco contabilizando 217,02 m³/s (Tabela 3). (IGAM, 2018).

Tabela 3 - Demanda de outorga superficial por bacia hidrográfica federal

BACIA HIDROGRÁFICA FEDERAL	Vazão (m ³ /s)
Rio Doce	21,82
Rio Grande	34,01
Rio Jequitinhonha	7,02
Rio Pardo	1,79
Rios Piracicaba e Jaguari	0,67
Rio Paranaíba	91,60
Rio Paraíba do Sul	8,10
Rio São Francisco	217,02
Bacias hidrográficas do Leste (porção mineira dos rios Mucuri, São Mateus, Barunhem, Jucuruçu, Itanhem, Peruípe e Itaúnas)	0,98
Bacias hidrográficas do Leste (rios Itabapoana e Itapemirim)	0,19

Fonte: Igam, 2018, adaptado pelo autor.

Realizando-se uma análise das informações apresentadas nas tabelas para o estado de Minas Gerais, pode-se dizer que a bacia hidrográfica do rio São Francisco merece atenção, pois possui grande extensão em área quando comparada às demais bacias hidrográficas. A $Q_{7,10}$, não é tão alta, quando se compara a extensão de área e a demanda de vazão outorgada, sendo também a bacia que detém o maior quantitativo de portarias de outorga.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Procedimentos Metodológicos

A pesquisa realizada foi de caráter bibliográfico, de levantamento de dados e teve natureza descritiva e explicativa, de abordagem quali-quantitativa. Seu objetivo foi identificar comportamentos a partir da ocorrência de fenômenos naturais.

4.2. O Processo da Pesquisa

Para a realização da presente pesquisa foram estabelecidas três etapas metodológicas descritas a seguir.

1) Coleta de dados:

- a. Para os dados de chuva foram utilizadas estações pluviométricas do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET no período de 1981 a 2010, considerando uma série histórica de 30 anos;
- b. Para os dados de vazão foram utilizadas as estações fluviométricas da Agência Nacional de Águas - ANA, para o período de 2009 a 2018;
- c. Para avaliação do incremento do uso de água subterrânea em relação ao uso de água superficial foram utilizados os dados de requerimentos de processos autorizativos de uso de recursos hídricos (solicitações de outorgas superficiais e subterrâneas) na bacia hidrográfica do rio São Francisco durante os anos de 2009 a 2018, por meio do Sistema Integrado de Informações Ambientais – SIAM.

2) Tratamento de dados:

- a. O processo de consistência de dados das estações pluviométricas foi realizado variando a quantidade de estações de ano para ano, tendo em vista as falhas nas séries de dados, sendo descartadas as estações com falha mensal no ano analisado;
- b. O critério adotado para o tratamento de dados foi à seleção de estações fluviométricas com dados disponíveis para o período de 2009 a 2018, sendo descartadas as estações que apresentaram mais de 15% de falhas no período de 10 anos. Para a delimitação das áreas de drenagem das estações, foi utilizado o shapefile de bacia hidrográfica Ottocodificada do IGAM,

disponível na IDE-Sisema, o qual foi trabalhado no software SIG, QGIS Versão 3.4.13.

- c. Para a seleção dos dados de requerimentos de processos autorizativos de uso de recursos hídricos (outorga de direito de uso de recursos hídricos), foram adotados os seguintes critérios: Base de dados: SIAM; Data de formalização: de 2009 a 2018; Dados considerados: Usos outorgáveis (desconsiderados os usos insignificantes); Tipos processuais: Superficial ou subterrâneo; Status do processo Considerado: Aguardando digitalização, Aguardando informação complementar, Análise técnica concluída, Em análise técnica, Processo formalizado, Outorga Deferida, Outorga Renovada, Outorga Retificada, Outorga Vencida; Autorização de Perfuração Concedida. Desconsiderados: Autorização de Perfuração Indeferida; Outorga Indeferida/Arquivada, Cadastro Efetivado/Não Efetivado; Certidão Vencida; Inepto. Foram realizados ajustes de coordenadas, para tanto sendo necessária consulta nas portarias de outorgas ou nos documentos digitalizados disponíveis. Foram contabilizados um total de 21.207 dados de requerimentos na bacia hidrográfica.
- 3) Avaliação da correlação entre o incremento de uso de água subterrânea com escassez hídrica:
- a. A primeira análise será realizada objetivando-se identificar o comportamento das chuvas na bacia hidrográfica no período em estudo.
 - b. Em seguida, será verificada a ocorrência de situações de escassez hídrica superficial por meio da análise dos dados de vazões, aplicando-se o critério da Deliberação Normativa nº49/2015.
 - c. Posteriormente, identificar-se-á os resultados de requerimentos de processos autorizativos superficiais e subterrâneos de uso de recursos hídricos para o mesmo período e local.
 - d. A partir desses resultados, será realizada a correlação dos dados de precipitação com os de ocorrência de vazões e os dados de requerimentos de processos autorizativos na porção mineira da bacia hidrográfica do rio São Francisco, pela Unidade de Planejamento de Recursos Hídricos -

UPGRH, no período de 2009 a 2018. Esta correlação se dará da seguinte forma:

- i. Avaliação comparativa dos dados meteorológicos com os de ocorrência de vazões para cada UPGRH, de forma a identificar se nos períodos indicados de precipitação negativa houve ocorrência de dias de escassez hídrica.
- ii. Avaliação comparativa dos dados meteorológicos com os de ocorrência de vazões e os requerimentos de processos autorizativos para cada UPGRH na porção mineira da bacia hidrográfica do rio São Francisco, no período de 2009 a 2018, de forma a identificar se no período indicado houve aumento de requerimentos de uso de água subterrânea em decorrência da escassez hídrica.

O detalhamento completo das etapas de desenvolvimento do trabalho está descrito e identificado nos itens 4.2.1 ao 4.2.4.2 do trabalho.

4.2.1 Análise da precipitação na Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco

Para realizar a análise de precipitação na bacia hidrográfica do rio São Francisco foram realizados os seguintes levantamentos: Espacialização da Normal Climatológica, que é a média das variáveis atmosféricas registradas em períodos de 30 anos e o cálculo e espacialização da anomalia de precipitação, que é a precipitação observada em relação a normal climatológica, para o período 2009 a 2018.

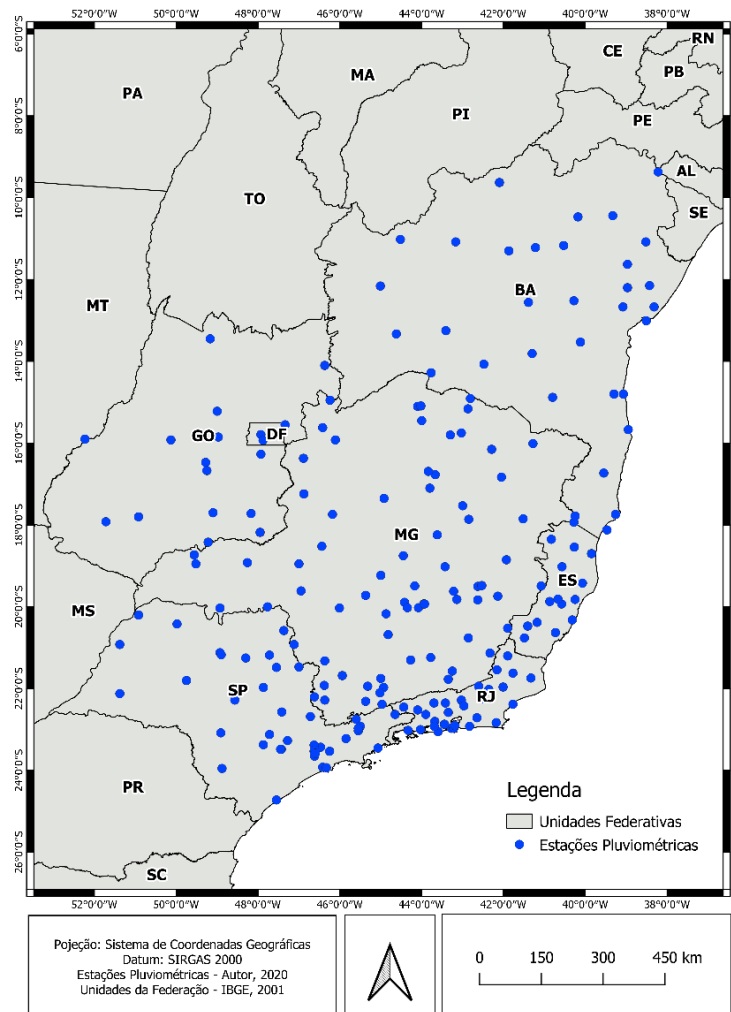
Os dados de Normal Climatológica e da anomalia de precipitação da bacia hidrográfica de estudo foram obtidos junto ao Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, disponíveis no sitio eletrônico do Instituto.

Ainda que a bacia hidrográfica de estudo esteja limitada ao estado de Minas Gerais, para o processo de interpolação, foram utilizados dados de precipitação acumulada de 210 estações do INMET, listadas no Anexo A distribuídas pelos estados limítrofes com Minas Gerais, para o período 2009 a 2018. Para uma melhor representatividade das bordas do recorte, este processo foi necessário porque parte das estações apresentam falhas.

De acordo com Andrade, Azevedo e Freitas (2008), um dos grandes problemas, que na maioria das vezes surge durante os estudos de análise pluviométrica, são a quantidade e a qualidade de dados disponíveis, principalmente em zonas em que a densidade espacial de estações não é adequada ou não se dispõe de registros suficientes quanto à série histórica.

Para estes indicadores foram utilizadas estações dos estados da Bahia, Espírito Santo, Goiás, Rio de Janeiro, São Paulo e Minas Gerais, além do Distrito Federal, distribuídas conforme figura 2.

Figura 2 - Distribuição das estações pluviométricas do INMET, objeto do estudo.



Fonte: Autor (2020)

4.2.2 Espacialização da normal climatológica

De acordo com Reboita e Kruche (2018), a definição de Normais Climatológicas surgiu porque necessitava-se comparar os dados observados em diferentes partes do globo. Os autores complementaram que *as normais correspondem às médias das variáveis atmosféricas registradas em períodos de 30 anos.* (REBOITA E KRUCHE, 2018). Considerando a definição apresentada foi utilizado o estudo de normal climatológica mais recente do INMET compreendendo o período de referência entre os anos de 1981 e 2010.

O processo de espacialização dos dados foi desenvolvido utilizando a ferramenta de interpolação do software SIG livre e gratuito, QGIS Versão 3.4.13. O método de interpolação espacial de dados utilizado foi o IDW - *Inverse Distance Weighting*, ou a

interpolação pelo inverso do quadrado da distância. Este método considera o valor de cada ponto ponderado pelo inverso da distância entre ele e o ponto de interesse, aonde pontos distantes contribuem com menor peso para o valor final (SHERMAN et al, 2011).

4.2.3 Espacialização da anomalia de precipitação

De posse das médias históricas, conhecidas como Normais Climatológicas, foi possível uma comparação com os valores observados nas estações, para fins de cálculos de desvio da variável precipitação.

As estações utilizadas para o cálculo de anomalia foram as do INMET, variando a quantidade de estações de ano para ano, tendo em vista as falhas nas séries de dados, sendo descartadas as estações com falhas no ano analisado. Considerando que a anomalia de precipitação foi realizada para período chuvoso e os dados são mensais, foram descartadas as estações que apresentaram pelo menos uma falha mensal. A relação das estações utilizadas em cada ano está disponível no Anexo B.

4.2.4 Análise de vazão na bacia hidrográfica do rio São Francisco no período de 2009 a 2018

Para obtenção dos dados de vazão foi realizada uma análise dos dados disponíveis de vazão para o período entre 2009 e 2018, no banco de dados do portal Hidroweb da Agência Nacional de Águas (ANA) e em seguida fez-se uma avaliação das condições críticas de escassez nas estações selecionadas tomando-se como base a classificação definida Deliberação Normativa CERH/MG nº 49, de 25 de março de 2015, alterada pela DN CERH/MG nº 50, de 09 de outubro de 2015, que traz as diretrizes e critérios para a declaração de escassez hídrica.

4.2.4.1 Seleção das estações fluviométricas

As estações fluviométricas utilizadas no estudo em questão foram selecionadas a partir do inventário da Agência Nacional de Águas - ANA, tomando-se como critério de escolha estações cuja área de abrangência gerasse maior representatividade de cada UPGRH, para aferimento do comportamento daqueles trechos em estudo.

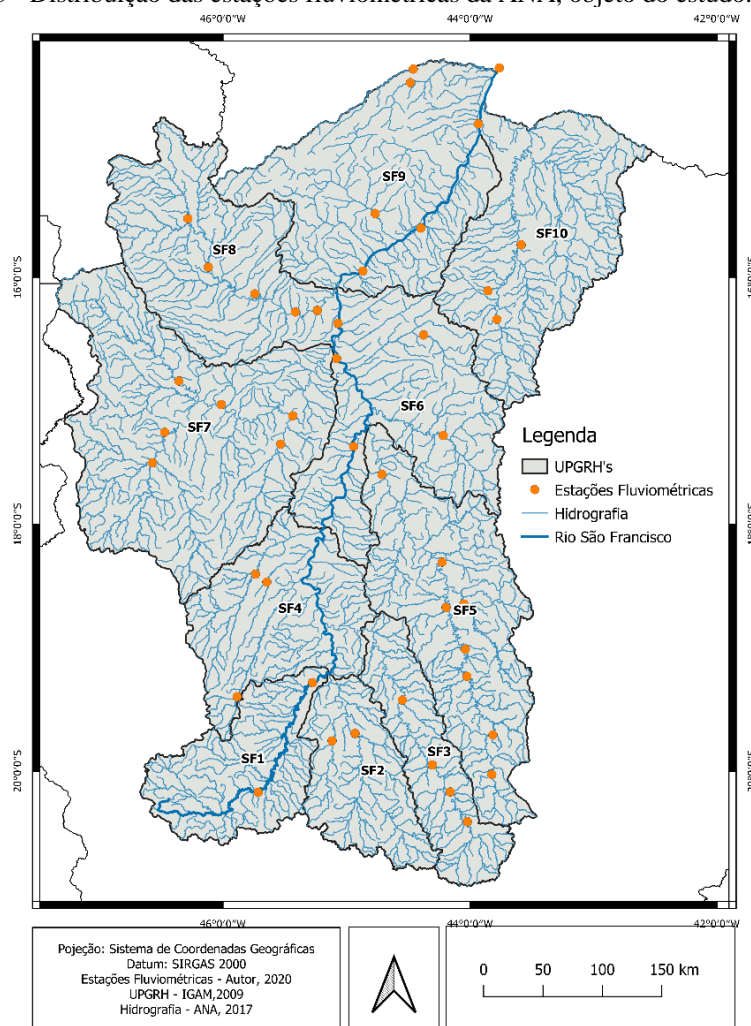
Outro critério adotado foi à seleção de estações com dados disponíveis para o período de 2009 a 2018. Os dados das referidas estações foram obtidos do banco de dados do portal Hidroweb da ANA.

A delimitação das áreas de drenagem das estações foi realizada utilizando o shapefile de bacia hidrográfica Ottocodificada do IGAM, disponível na IDE-Sisema, o qual foi trabalhado no software SIG, QGIS Versão 3.4.13, utilizando a ferramenta de filtro para a delimitação e a ferramenta “dissolve” para a obtenção de um único polígono.

Ressalta-se que, principalmente, entre o período de 2015 a 2018 foi identificado um número significativo de falhas nas séries de dados de algumas estações. Neste sentido, foram descartadas as estações que apresentaram mais de 15% de falhas no período de 10 anos. E, para aquelas estações cuja substituição não era possível, dada a inexistência, foram consideradas as estações cujos dados estavam sem falhas, ainda que por períodos mais curtos de dias no ano.

O Anexo C apresenta a relação das estações utilizadas e as falhas identificadas e a figura 3 apresenta a distribuição das estações fluviométricas utilizadas para o estudo desenvolvido, sendo um total de 45.

Figura 3 - Distribuição das estações fluviométricas da ANA, objeto do estudo.



Fonte: Autor (2020)

4.2.4.2 Avaliação da condição de escassez hídrica de acordo com a Deliberação Normativa CERH/MG nº 49/2015

Como os dados obtidos no item 3.3.4.1 foi possível avaliar a ocorrência de situação de escassez hídrica e estado de restrição de uso conforme determina a Deliberação Normativa CERH/MG nº 49/2015.

Com base na referida DN considera-se Estado de Restrição de Uso, o estado de escassez hídrica caracterizado pelo período de tempo em que o estado de vazão ou o estado de armazenamento dos reservatórios indicarem restrições do uso da água em uma porção hidrográfica.

Os critérios utilizados para a classificação do estado de restrição de uso é quando a média das vazões diárias de 7 (sete) dias consecutivos observadas no (s) posto (s) de monitoramento fluviométrico de referência estiver (em) inferior a 50% (cinquenta por

cento) da $Q_{7,10}$ nas bacias hidrográficas do Estado ou inferior a 70% da $Q_{7,10}$ para as bacias hidrográficas dos Rios Jequitaí, Pacuí, Urucuia, Pandeiros, Verde Grande, Pará, Paraopeba e Velhas, (MINAS GERAIS, 2019). A Tabela 4 apresenta o resumo dos critérios.

Tabela 4 – Resumo dos critérios estabelecidos na Deliberação Normativa CERH nº 49/2015

ESTADO	CONDIÇÃO DE VAZÃO	USO DA ÁGUA
Atenção	$100\% Q_{7,10} < Q < 200\% Q_{7,10}$	Condições estabelecidas na outorga
Alerta	$100\% Q_{7,10} < Q < 70\% Q_{7,10}$ ou $100\% Q_{7,10} < Q < 50\% Q_{7,10}$	Condições estabelecidas na outorga
Restrição	$< 50\%$ ou $< 70\% Q_{7,10}$	Restrição do uso outorgado

Fonte: Autor (2020).

Considerando os critérios, foi realizada uma avaliação das informações hidrológicas partindo das definições da DN CERH/MG nº 49/2015, quantificando a ocorrência de vazões abaixo de 50% ou 70% da $Q_{7,10}$ por sete dias consecutivos. As $Q_{7,10}$ das estações utilizadas para a classificação dos dados foram obtidas com base na série histórica de cada estação através do software SisCAH1.0 – Sistema Computacional para Análises Hidrológicas, desenvolvido pelo Grupo de Pesquisas em Recursos Hídricos, da Universidade Federal de Viçosa, utilizando o modelo probabilístico de Weibull. (SOUSA et al. 2009).

4.2.4.3 Análise de requerimentos de processos autorizativos de uso de recursos hídricos

Na sequência, para avaliar uma possível correlação entre situações de escassez e aumento de uso de água subterrânea, quantificaram-se os requerimentos de processos autorizativos de uso de recursos hídricos na bacia hidrográfica do rio São Francisco.

Foi necessário o levantamento de dados das solicitações de outorgas superficiais e subterrâneas na bacia hidrográfica durante os anos de 2009 a 2018. Os dados de outorgas superficiais foram utilizados para identificação dos quantitativos totais e seus percentuais na relação com os dados subterrâneos. Todas essas informações foram fornecidas pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas – Igam, através do Sistema Integrado de Informações Ambientais – SIAM com os seguintes critérios: Base de dados: SIAM; Data de formalização: de 2009 a 2018, conforme Quadro 4.

Quadro 4 - Requerimentos de processos autorizativos de uso de recursos hídricos na porção mineira da bacia hidrográfica do rio São Francisco - 2009 a 2018.

DADOS CONSIDERADOS	DADOS DESCONSIDERADOS
Usos outorgáveis	Usos insignificantes
Superficial ou subterrâneo	Autorização de Perfuração Indeferida
Aguardando digitalização	Outorga Indeferida
Aguardando informação complementar	Cadastro Efetivado
Análise técnica concluída	Cadastro Não Efetivado
Em análise técnica	Certidão Vencida
Processo formalizado	Inepto
Outorga Deferida	
Outorga Renovada	
Outorga Retificada	
Autorização de Perfuração Concedida	
Usos outorgáveis	

Fonte: Autor (2020).

Posteriormente, foi realizada uma consistência das informações, com a adequação das coordenadas, por meio de consulta nas Portarias de outorgas ou nos documentos digitalizados disponíveis no sítio eletrônico do IGAM.

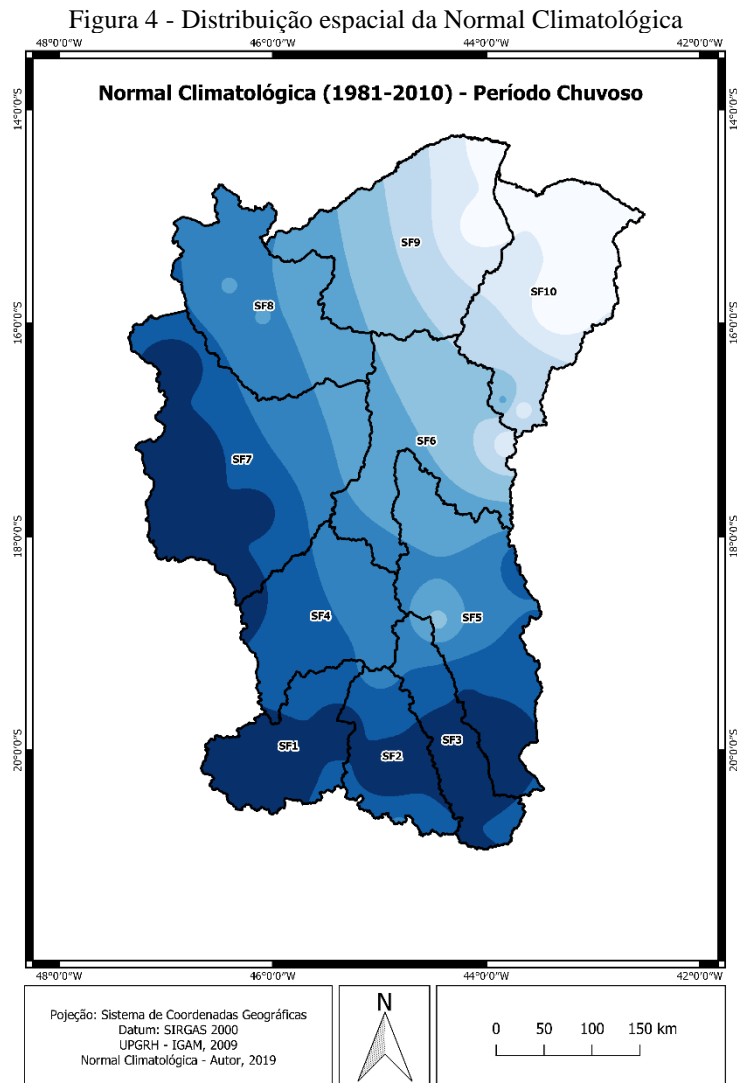
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir serão apresentados os resultados encontrados a partir da pesquisa realizada. A análise da precipitação na bacia hidrográfica foi realizada em duas etapas a avaliação da normal climatologia e da anomalia de precipitação.

5.1. Normal Climatológica

Segundo Alves et al. (2002) e Paiva (1997) apud Minuzzi (2007), “o período chuvoso na região Sudeste do Brasil concentra-se entre os meses de outubro a março, quando ocorrem mais de 80% do total anual de chuvas”.

Na bacia hidrográfica do rio São Francisco, climatologicamente, o total de precipitação ocorrida no período chuvoso pode ser observada conforme distribuição espacial apresentada na Figura 4.



Fonte: Autor (2020).

Nota-se que, pela distribuição espacial do padrão climatológico, o acumulado de chuva no período chuvoso decresce de sudoeste para nordeste da bacia hidrográfica, variando de 765 mm e 1247 mm, sendo os maiores valores em parte das Unidades de Planejamento SF1, SF2, SF3, SF4, SF5 e SF7 e os menores totais no nordeste das UPGRH's SF9 e SF10.

5.2. Anomalia da Precipitação

A anomalia de precipitação como variação do observado em relação a Normal Climatológica está apresentada na Figura 5. Conforme legenda da figura os valores em torno da média estão nas áreas em branco, acima da climatologia, ou seja, com anomalia positivas representam as áreas em tons de azul e nas áreas em tons de vermelho, com

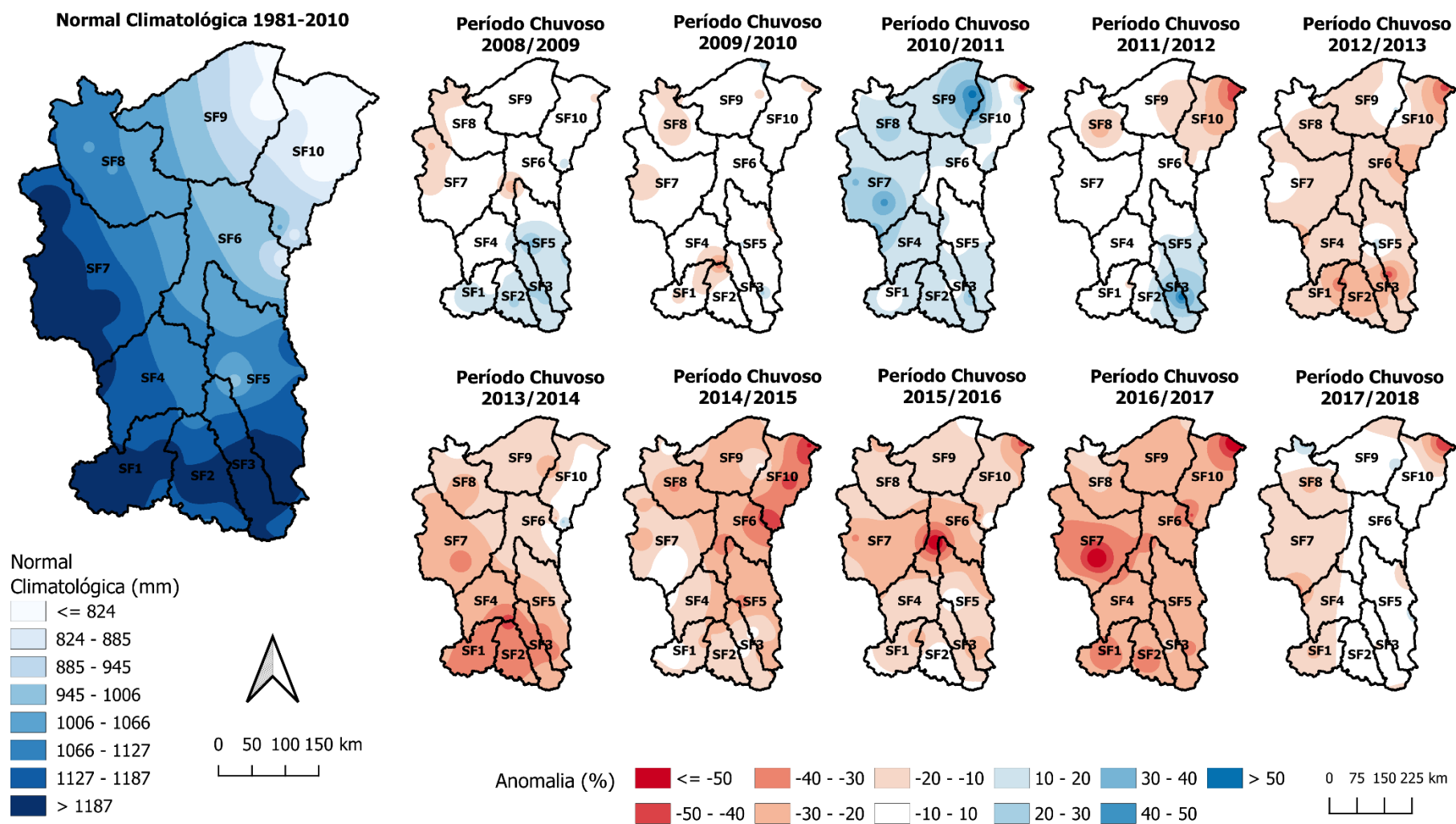
anomalia negativa, isto é, abaixo da climatologia, sendo os valores apresentados em forma percentual.

Pode-se observar que nos períodos chuvosos de 2008/2009, 2009/2010, 2010/2011 e 2011/2012, no geral, a precipitação ficou dentro da normal climatológica, ou bem próxima a normal na maior parte da bacia hidrográfica do rio São Francisco, destacando para o período de 2010/2011 em que a maior parte da bacia hidrográfica de estudo registrou precipitações acima da média, principalmente no Norte, na UPGRH SF9, médio São Francisco, onde ocorreram as maiores anomalias positivas.

Nota-se que no período chuvoso de 2011/2012, começou a ocorrer, na porção nordeste, UPGRH SF10, bacia hidrográfica do rio Verde Grande, anomalias negativas mais acentuadas.

A partir do período chuvoso subsequente, 2012/2013, iniciou-se um severo estado de escassez de chuva em toda a bacia hidrográfica do São Francisco, com uma evolução de anomalias negativas de chuva em praticamente todas as Unidades de Planejamento. O ápice aconteceu no período de 2016/2017, ano no qual, basicamente, toda a área da bacia hidrográfica apresentou regime de chuva abaixo da média, sendo as piores anomalias negativas registradas nas Unidades SF7 e SF10.

Figura 5 - Anomalia de Precipitação – períodos 2008/2009 a 2017/2018



Fonte: Autor (2020).

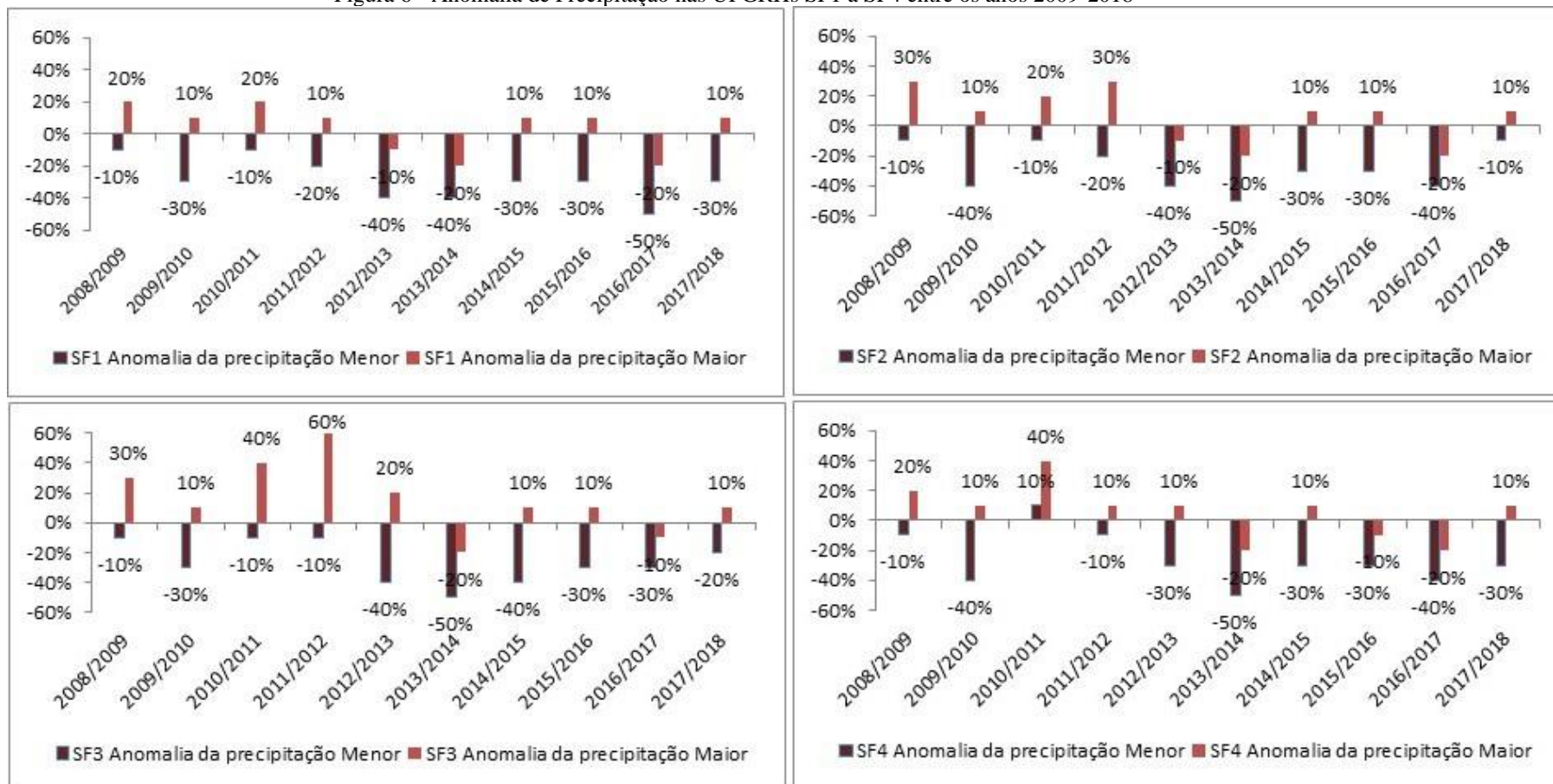
O Anexo D e as Figuras 6 a 8 apresentam as faixas de ocorrência da anomalia nas UPGRHs.

Para essa avaliação, foram consideradas as informações da ocorrência de anomalias nas UPGRHs em análise, sendo considerado a menor e maior ocorrência de precipitação na UPGRH no ano analisado, partindo-se da normal climatológica esperada para a Região.

Destaca-se que em todas as Unidades houveram ocorrências de anos com anomalias totalmente negativas, como SF1 e SF2 os períodos chuvosos 2012/2013 2013/2014 e 2016/2017, na UPGRH SF4 os períodos foram 2013/2014; 2015/2016 e 2016/2017. A UPGRH SF6 teve três períodos consecutivos abaixo da normal de 2013/2014 até 2016/2017, assim como a UPGRH SF7 em os períodos 2013/2014, 2015/2016 e 2016/2017 que foram totalmente de anomalias negativas.

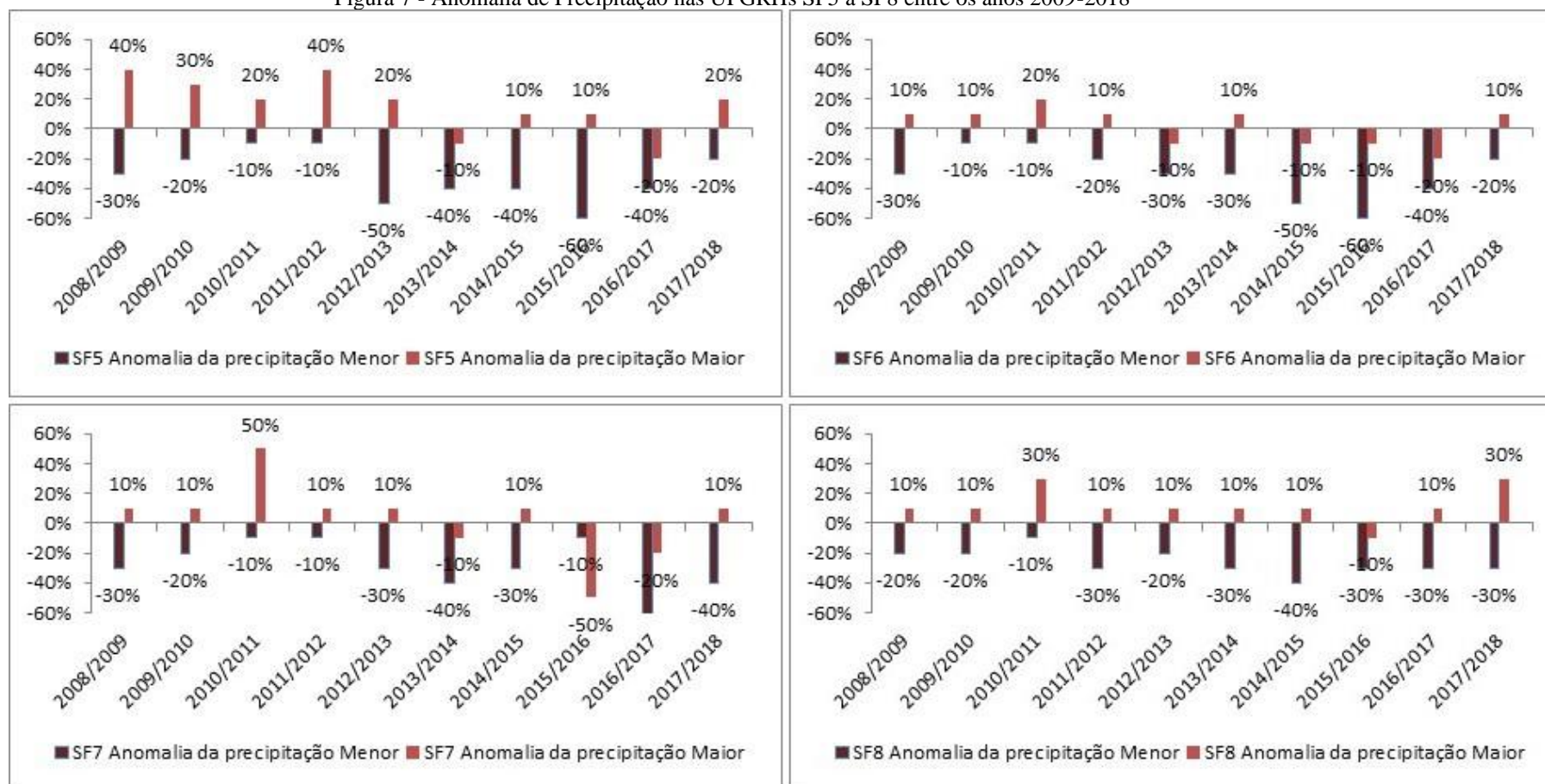
Fazendo uma análise da porção mineira da bacia hidrográfica do rio São Francisco, observa-se que de todos os períodos analisados, durante os períodos chuvosos 2012/2013 até o período 2016/2017, ou seja, 5 períodos chuvosos consecutivos, houve um considerável de déficit de chuva, este período começou a ser interrompido em 2017/2018, quando começaram a retornar anomalias positivas, ainda que em pequenas proporções, em todas as UPGRHs.

Figura 6 - Anomalia de Precipitação nas UGRHs SF1 a SF4 entre os anos 2009-2018



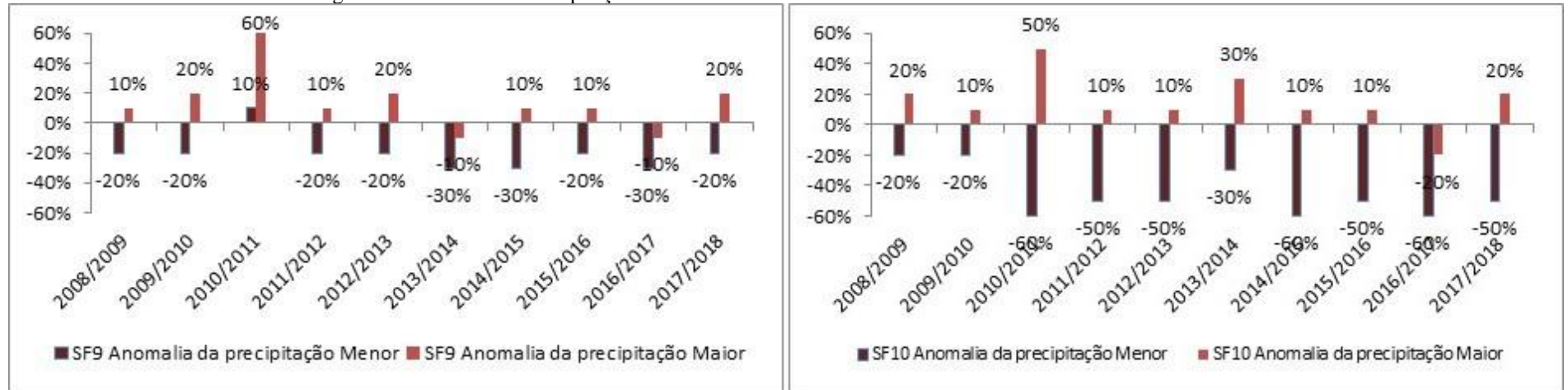
Fonte: Autor (2020).

Figura 7 - Anomalia de Precipitação nas UGRHs SF5 a SF8 entre os anos 2009-2018



Fonte: Autor (2020).

Figura 8 - Anomalia de Precipitação nas UPGRHs SF9 a SF10 entre os anos 2009-2018



Fonte: Autor (2020).

5.3. Análise do estado das vazões

O período severo de escassez de chuvas, iniciado no período chuvoso de 2012-2013, gerou um reflexo direto nas vazões, apresentando os primeiros registros de dias classificados com escassez hídrica, ou seja, com as vazões médias diárias de 7 (sete) dias consecutivos abaixo de 50 ou 70% da $Q_{7,10}$, no período analisado, que ocorreram no ano de 2014.

A Tabela 5 mostra a quantificação de número de dias no ano de ocorrências de vazões abaixo de 50 ou 70% de $Q_{7,10}$, conforme UPGRH e critério estabelecido da DN CERH nº 49/2015, nas estações analisadas.

Tabela 5 - Quantificação de número de dias no ano de ocorrência vazões abaixo de 50% ou 70% da Q_{7,10}

Código da Estação	Estação Fluviométrica	UPGRHs abrangidas pela área de contribuição da estação	Localização da Estação	Critério de restrição (% Q_{7,10})	2014	2015	2016	2017	2018	Total
40050000	Iguatama	SF1	SF1	50%	0	0	0	0	0	0
40100000	Porto das Andorinhas	SF1	SF1	50%	0	0	0	0	0	0
40330000	Velho da Taipa	SF2	SF2	70%	178	77	66	187	118	626
40400000	Alvaro da Silveira	SF2	SF2	70%	95	114	66	148	16	439
40710000	Belo Vale	SF3	SF3	70%	20	0	3	48	0	71
40740000	Alberto Flores	SF3	SF3	70%	16	0	0	0	0	16
40800001	Ponte Nova do Paraopeba	SF3	SF3	70%	7	3	0	86	0	96
40850000	Ponte da Taquara	SF3	SF3	70%	18	0	24	92	0	134
40930000	Barra do Funchal	SF4	SF4	50%	16	0	8	32	0	56
40975000	Fazenda São Félix	SF4	SF4	50%	0	0	0	14	0	14
41075001	Porto do Passarinho	SF4	SF4	50%	39	0	0	43	0	82
41199998	Honório Bicalho	SF5	SF5	70%	6	0	0	1	0	7
41780002	Presidente Juscelino Jusante	SF5	SF5	70%	2	26	47	45	0	120
41260000	Pinhões	SF5	SF5	70%	79	0	0	0	0	79
41410000	Jequitibá	SF5	SF5	70%	0	1	0	0	0	1
41600000	Pirapama	SF5	SF5	70%	0	0	0	8	0	8
41650002	Ponte do Licínio Jusante	SF5	SF5	70%	22	44	48	75	14	203
41818000	Santo Hipólito	SF5	SF5	70%	22	42	55	51	0	170
41990000	Várzea da Palma	SF5	SF5	70%	0	9	0	21	0	30
42187000	Ponte dos Ciganos	SF6	SF6	70%	45	51	0	178	107	381
42089998	Fazenda Espírito Santo	SF6	SF6	70%	0	0	0	7	1	8
42290000	Ponte da BR-040 Paracatu	SF7	SF7	50%	0	0	0	93	20	113
42850000	Cachoeira das Almas	SF7	SF7	50%	0	0	0	40	8	48

Código da Estação	Estação Fluviométrica	UPGRHs abrangidas pela área de contribuição da estação	Localização da Estação	Critério de restrição (% Q_{7,10})	2014	2015	2016	2017	2018	Total
42395000	Santa Rosa	SF7	SF7	50%	0	0	0	82	0	82
42860000	Cachoeira do Paredão	SF7	SF7	50%	0	0	7	65	0	72
42600000	Porto dos Poções	SF7	SF7	50%	0	0	0	0	0	0
42690001	Porto da Extrema	SF7	SF7	50%	0	0	21	106	3	130
43300000	Fazenda Carvalho	SF8	SF8	70%	0	0	54	57	1	112
43429998	Arinos Montante	SF8	SF8	70%	0	0	36	60	0	96
43670000	Vila Urucuia	SF8	SF8	70%	0	10	64	78	9	161
43880000	Santo Inácio	SF8	SF8	70%	10	15	43	55	18	141
43980002	Barra do Escuro	SF8	SF8	70%	8	0	35	73	11	127
44250000	Usina do Pandeiros Montante	SF9	SF9	70%	0	28	30	138	15	211
45131000	São Gonçalo	SF9	SF9	70%	20	49	41	135	34	279
45220000	Capitânea	SF9	SF9	70%	0	49	39	68	12	168
44630000	Capitão Enéas	SF10	SF10	70%	0	0	0	0	0	0
44350000	Bom Jardim	SF10	SF10	70%	0	32	46	102	15	195
44640000	Fazenda Alegre	SF10	SF10	70%	0	0	0	80	9	89
41135000	Pirapora Barreiro	SF1, SF2, 2F3, SF4 e SF6	SF6	50%	5	16	37	11	56	125
				70%	104	59	110	104	139	516
42210000	Cachoeira da Manteiga	SF5 e SF6	Divisa (SF6 e SF7)	70%	30	10	10	0	21	71
43200000	São Romão	SF6, SF7 e SF8	Divisa (SF6 e SF8)	50%	0	0	0	0	0	0
				70%	0	0	0	0	0	0
41200000	São Francisco	SF6, SF8 e SF9	SF9	70%	14	0	0	0	0	14
44290002	Pedras de Maria da Cruz	SF9	SF9	70%	105	9	156	195	156	621

Código da Estação	Estação Fluviométrica	UPGRHs abrangidas pela área de contribuição da estação	Localização da Estação	Critério de restrição (% Q_{7,10})	2014	2015	2016	2017	2018	Total
44500000	Manga	SF9	Divisa (SF9 e SF10)	70%	13	0	0	0	0	13
45298000	Carinhanha	SF9 e SF10	Bahia	70%	10	0	0	0	0	10

Fonte: Autor (2020).

Conforme resultados apresentados na Tabela 5, pode-se observar que a estação Velho do Taipa, na UPGRH SF2, apresentou a maior ocorrência dentre as estações analisadas, registrando 626 dias de vazões inferiores a 70% da $Q_{7,10}$, em um período de 5 anos de dados.

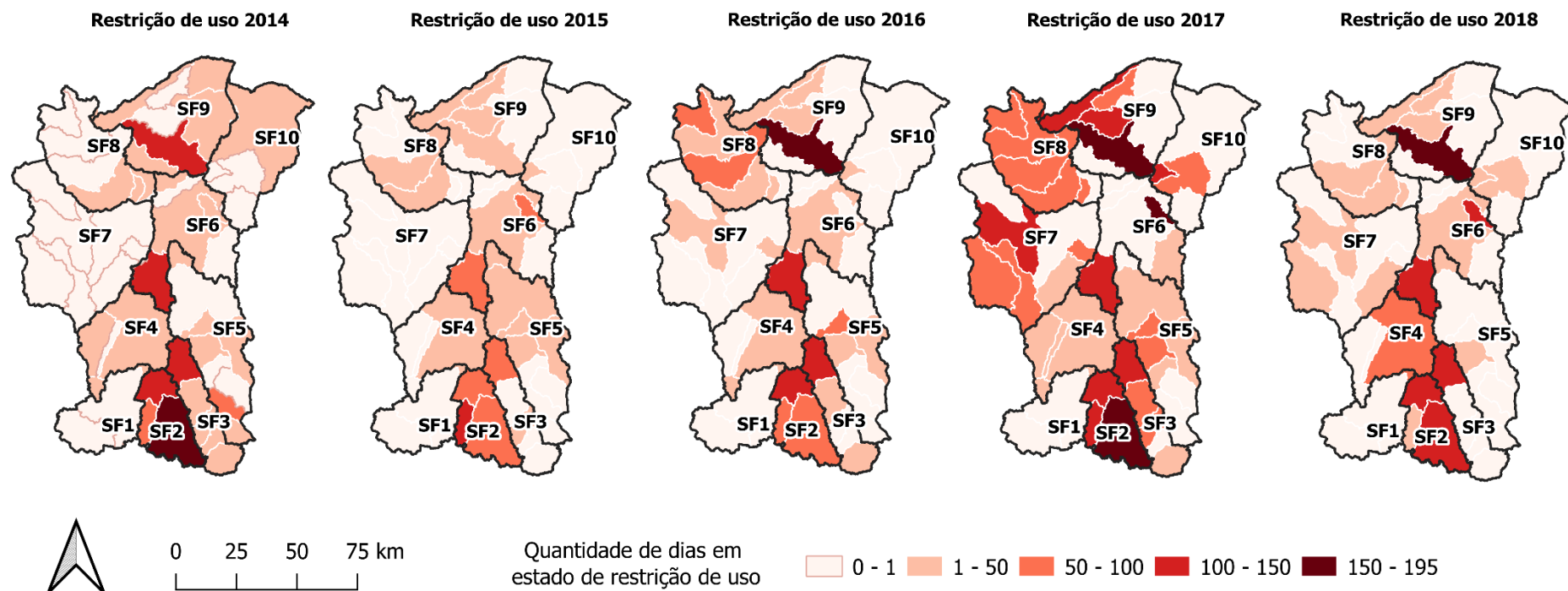
As estações Pedras de Maria da Cruz na UPGRH SF9, Pirapora Barreiro nas UPGRHs SF1, SF2, SF3, SF4 e SF6, Estação Álvaro da Silveira na UPGRH SF2 e Ponte dos Ciganos na UPGRH SF6, na sequência de maiores ocorrências, contabilizaram 621, 516, 439 e 381 dias com ocorrências de vazões abaixo de 70% da $Q_{7,10}$, respectivamente.

Já as estações Iguatama e Porto das Andorinhas na UPGRH SF1, Porto dos Poções na UPGRH SF7, Capitão Enéas na UPGRH SF10 e São Romão na UPGRHs SF6, SF7 e SF8 não apresentaram registros de dias em estado de restrição de uso no período compreendido entre os anos de 2009 a 2018.

A Figura 9 apresenta os intervalos das ocorrências de vazões inferiores a 50% e 70% da $Q_{7,10}$, por UPGRH, na porção mineira da bacia hidrográfica do São Francisco, no período em estudo, situação esta que caracteriza a quantidade de dias em Estado de Restrição de Uso, conforme DN CERH nº 49/2015. Ressalta-se que foram geradas as figuras apenas a partir dos anos que se constatou alguma situação de restrição, desta forma foram considerados os de 2014 até 2018.

A espacialização das áreas de influência das estações avaliadas, Figura 9, bem como a evolução da ocorrência de vazões inferiores a 50% ou 70% da $Q_{7,10}$ entre 2009 e 2018, demonstram que, comparando a avaliação apresentada quanto à precipitação, onde há a indicação de que no período chuvoso 2012/2013, iniciou-se um estado de escassez de chuva em toda a bacia hidrográfica do São Francisco, com uma evolução de anomalias negativas de chuva em praticamente todas as Unidades de Planejamento, com o ápice no período de 2016/2017, onde, basicamente, toda a área da bacia hidrográfica apresentou regime de chuva abaixo da média. Verifica-se que, considerando os anos entre 2014 e 2018, as UPGRHs que compreendem a bacia hidrográfica do rio São Francisco, apresentaram situação de ocorrência de vazões abaixo de 50% ou 70% da $Q_{7,10}$, entre os intervalos apresentados de 0-1, 1-50, 50-100, 100-150, 150-195.

Figura 9 - Intervalos da quantidade de dias em estado de restrição para os anos de 2014 a 2018, na porção mineira da bacia hidrográfica do São Francisco.

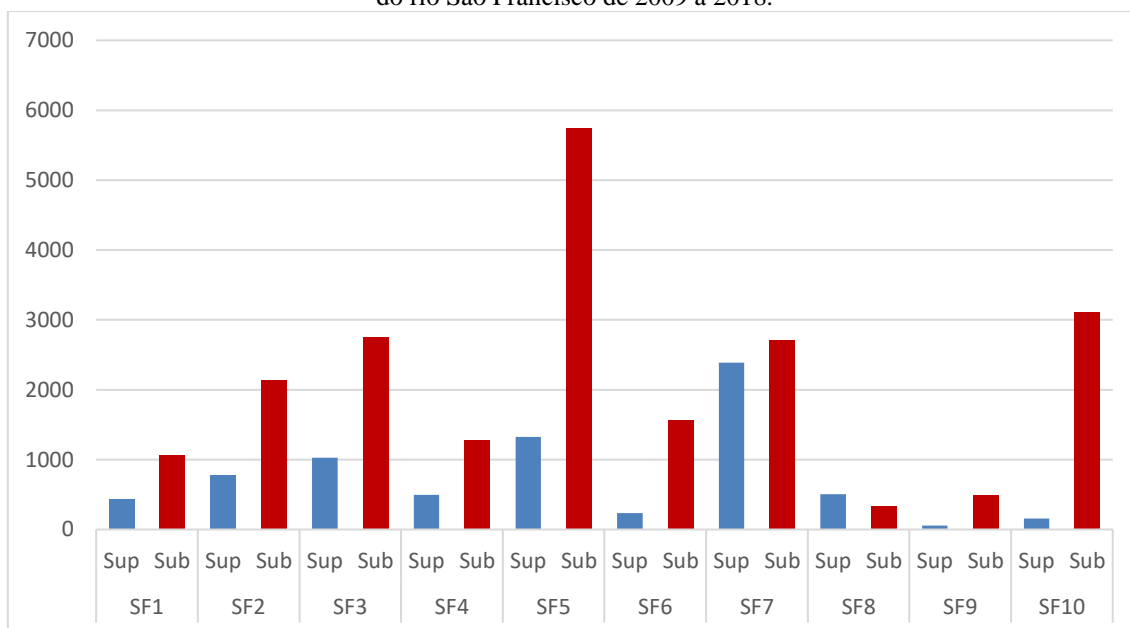


Fonte: Autor (2020).

5.4. Análise comparativa de requerimentos de processos autorizativos de uso de recursos hídricos na bacia hidrográfica do rio São Francisco

Na análise dos requerimentos de processos autorizativos de uso de recursos hídricos na bacia hidrográfica do rio São Francisco, de forma geral, observa-se uma prevalência de pedidos de uso de água subterrânea em relação às águas superficiais, com exceção das UPGRHs SF7 e SF8, onde o uso de água superficial equivale, conforme figura 10.

Figura 10 – Requerimentos de processos autorizativos de uso de recursos hídricos na bacia hidrográfica do rio São Francisco de 2009 a 2018.



Fonte: Autor (2020).

A bacia hidrográfica do rio das Velhas, UPGRH SF5, foi a unidade de planejamento que apresentou o maior quantitativo de solicitações de águas subterrâneas, 5740 requerimentos, seguida das bacias hidrográficas dos rios Verde Grande e Paraopeba, com 3115 e 2756 solicitações, respectivamente, conforme Tabela 6.

Nota-se que em todas as UPGRHs, com exceção da UPGRH SF8, o número de requerimentos de processos de regularização pelo uso das águas subterrâneas, no período analisado, é maior que as solicitações de autorização para águas superficiais.

Tabela 6 – Quantificação de formalizações de processos de regularização pelo uso da água e ano e UPGRH

UPGRH/ANO	SF1		SF2		SF3		SF4		SF5		SF6		SF7		SF8		SF9		SF10		TOTAL	
	Sup	Sub	Sup	Sub	Sup	Sub	Sup	Sub	Sup	Sub	Sup	Sub	Sup	Sub	Sup	Sub	Sup	Sub	Sup	Sub	Sup	Sub
2009	58	111	75	186	133	284	50	67	158	647	12	102	173	201	28	22	5	46	14	224	706	1890
2010	54	129	69	198	132	293	48	78	227	643	19	112	143	127	24	11	3	29	9	175	728	1795
2011	29	68	83	204	142	290	39	113	155	608	20	97	113	123	33	16	1	37	22	215	637	1771
2012	55	99	91	228	105	258	26	142	168	611	21	105	261	132	35	36	0	58	12	240	774	1909
2013	81	98	156	228	128	299	78	136	139	594	45	120	234	221	60	49	3	33	20	336	944	2114
2014	62	160	102	303	120	377	80	161	115	583	23	157	330	246	72	44	4	46	34	410	942	2487
2015	27	94	52	250	87	338	51	99	113	728	38	275	299	259	57	24	10	45	23	480	757	2592
2016	33	81	47	177	75	263	41	143	113	476	17	209	243	343	58	36	18	70	15	391	660	2189
2017	27	88	61	204	66	214	60	127	78	474	20	199	329	579	71	24	10	61	6	398	728	2368
2018	14	139	38	160	39	140	23	211	58	376	18	184	264	487	67	77	0	72	3	246	524	2092
Total	440	1067	774	2138	1027	2756	496	1277	1324	5740	233	1560	2389	2718	505	339	54	497	158	3115	7400	21207

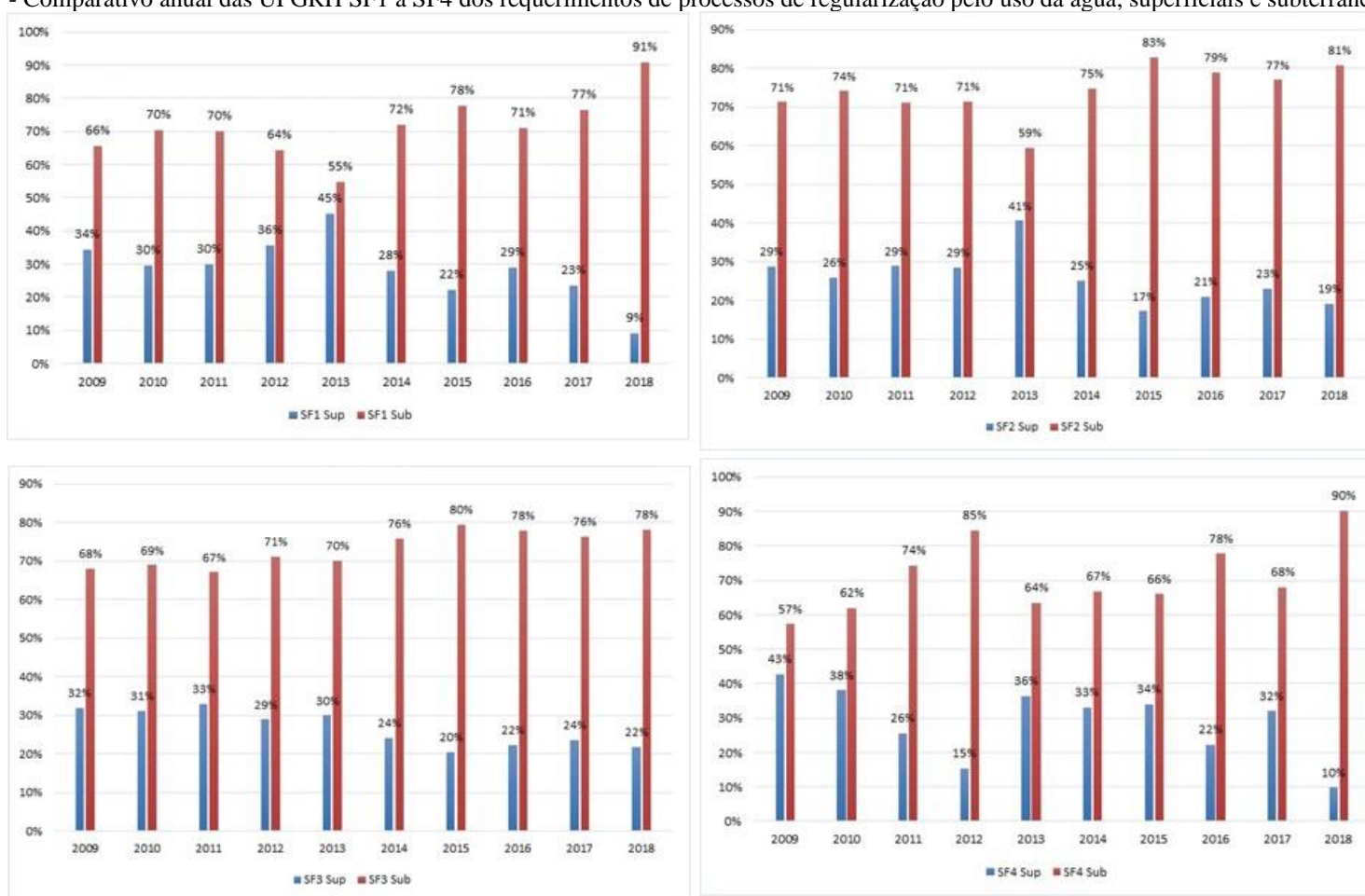
Fonte: Autor (2020).

As Figuras 11 a 13 apresentam os dados por UPGRH dos requerimentos de regularização pelo uso da água, superficiais e subterrâneas. Os dados foram levantados a partir do número total de processos autorizativos requeridos na UPGRH e no ano em análise.

As UPGRHs SF1, SF2 e SF3 tiveram aumento proporcional nos pedidos de processos de regularização de uso da água, com pico para o ano de 2014, sendo que SF3 teve redução dos pedidos em 2017. As UPGRHs SF4, SF9 e SF10 tiveram aumento proporcional leve, com pico para os anos de 2014 e 2018, sendo que SF9 teve pico de requerimentos em 2016 e SF10 em 2015. As UPGRHs SF5 e SF6 tiveram aumento proporcional leve, com pico para o ano de 2015. A UPGRH SF7 teve aumento proporcional elevado durante o período de 2016 a 2018, com pico para o ano de 2017. A UPGRH SF8, apesar dos requerimentos de uso de águas superficiais serem constantemente superiores aos de água subterrânea, houve aumento durante o período de 2014 a 2018, com pico para o ano de 2017.

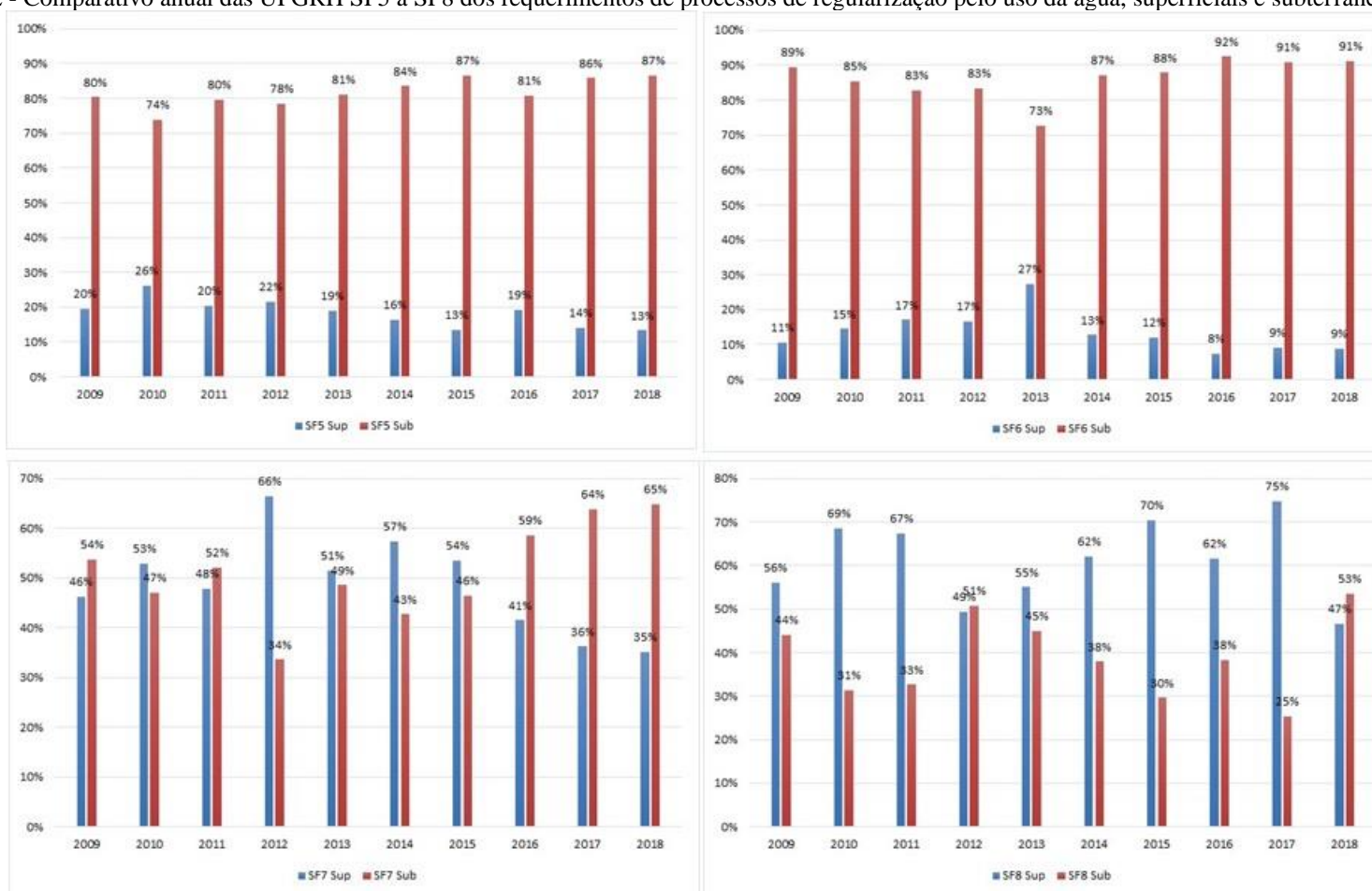
Analisando os dados apresentados, é possível notar uma diminuição geral de requerimentos de processos autorizativos superficiais e, em algumas bacias hidrográficas, coincidentes com o aumento de requerimentos do tipo subterrâneo. As UPGRHs SF8 e SF9 foram exceção nesta análise. Este quadro se observa principalmente a partir do ano de 2014.

Figura 11 - Comparativo anual das UPGRH SF1 a SF4 dos requerimentos de processos de regularização pelo uso da água, superficiais e subterrâneos.



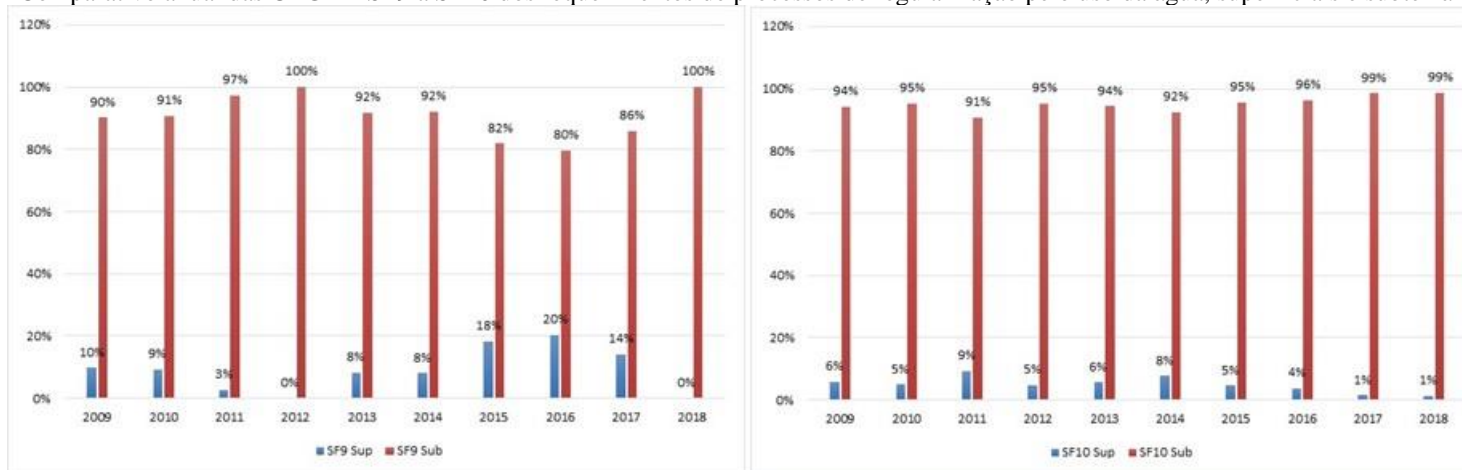
Fonte: Autor (2020).

Figura 12 - Comparativo anual das UPRGH SF5 a SF8 dos requerimentos de processos de regularização pelo uso da água, superficiais e subterrâneos.



Fonte: Autor (2020).

Figura 13 - Comparativo anual das UPGRH SF9 a SF10 dos requerimentos de processos de regularização pelo uso da água, superficiais e subterrâneos.



Fonte: Autor (2020).

5.5. Verificação da influência da anomalia de precipitação e da escassez hídrica e nas solicitações de regularização pelo uso da água

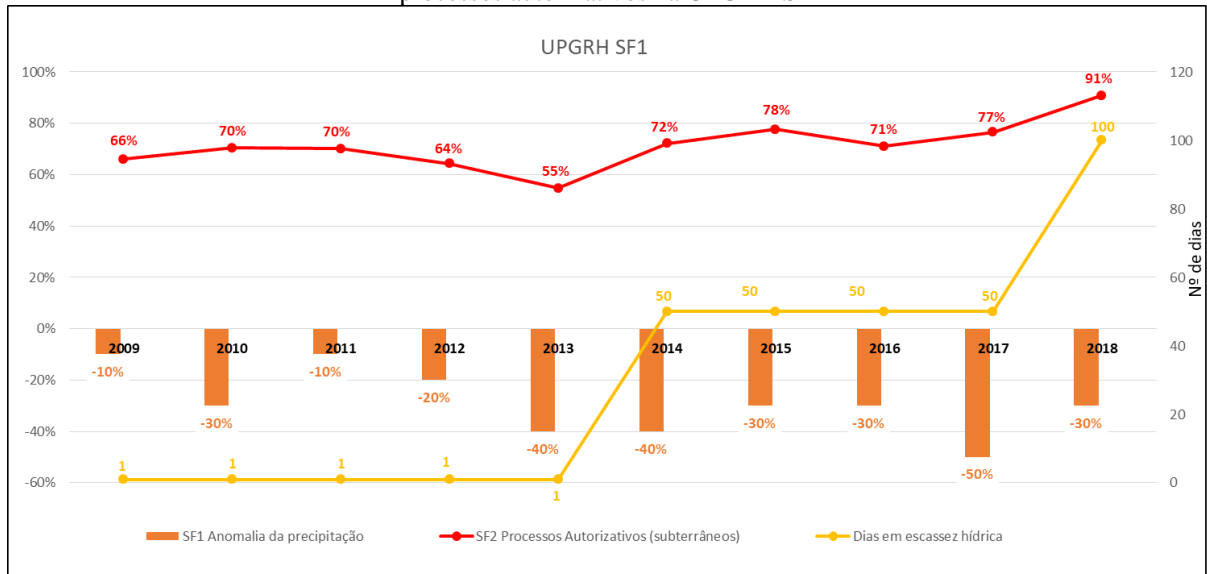
Para fins de verificação da influência da anomalia de precipitação e da ocorrência de dias em escassez hídrica nas solicitações de regularização pelo uso da água na bacia hidrográfica em estudo, foram realizadas avaliações conjuntas das informações.

As informações de anomalia de precipitação foram separadas considerando a mínima e a máxima ocorrência, partindo-se da normal climatológica esperada para a região. As informações de escassez foram contabilizadas levando-se em consideração a faixa relativa ao número de dias de ocorrência de estado de restrição, conforme classificação da DN CERH nº49/2015. Já a informação relativa aos processos autorizativos, foram identificados os percentuais de requerimentos do tipo subterrâneo em relação ao total requerido no ano.

Nos gráficos gerados, representados nas figuras 14 a 23, quando se avalia a anomalia de precipitação mínima, ou seja, ocorrências de chuva abaixo da normal climatológica esperada para a bacia, o número máximo de dias em escassez hídrica e o percentual de requerimentos de água subterrânea para cada UPGRH da bacia em estudo, observa-se que em períodos de maiores dias em escassez hídrica, há uma prevalência para utilização de água subterrânea.

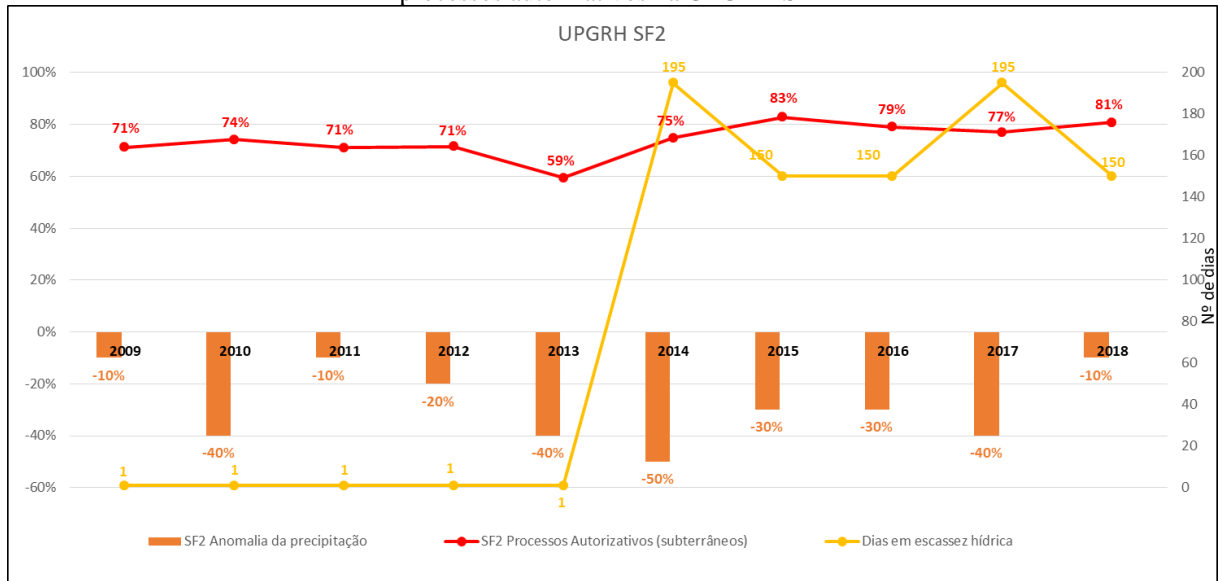
Na UPGRH SF1 (Figura 14) na análise realizada, o ano de anomalia negativa foi mais intenso em 2013 e o reflexo da escassez foi percebido no ano de 2014, quando houve ocorrência de situação de restrição entre 0 e 50 dias. Observa-se, ainda, que houve um aumento de requerimentos de 2013 para 2014 superior a 23%. Esta situação se manteve até 2017, quando atingiu a maior anomalia (-50%), com reflexo na situação de escassez hídrica no ano de 2018, atingindo a faixa de 0 a 100 dias de restrição, e 91% de requerimentos de processos autorizativos subterrâneos.

Figura 14 – Gráfico da correlação entre os dados de anomalia de precipitação, escassez e requerimentos de processos autorizativos na UPGRH SF1



A UPGRH SF2 (Figura 15) as anomalias negativas se destacaram nos anos de 2010, 2013, 2014 e 2017. O reflexo da escassez ficou entre anos de 2014 a 2018, com ocorrências de situação de restrição entre 1 e 195 dias. Verifica-se, ainda, que houve um aumento de requerimentos para uso de água subterrânea entre os anos 2014 e 2015, com queda em 2016 e 2017, e novo aumento em 2018. Os anos de 2014 e 2017 foram críticos em relação às anomalias e situações de escassez, cujos reflexos de requerimentos de processos autorizativos podem ter se dado nos anos subsequentes.

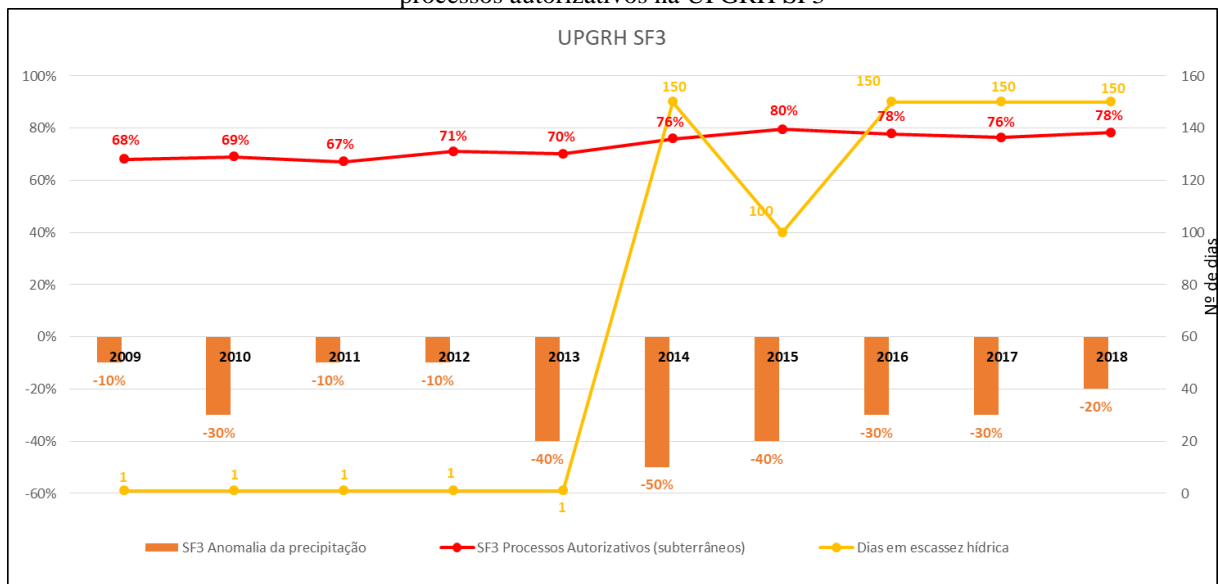
Figura 15 – Gráfico da correlação entre os dados de anomalia de precipitação, escassez e requerimentos de processos autorizativos na UPGRH SF2



Fonte: Autor (2020).

Observando o gráfico da UPGRH SF3 (Figura 16), verifica-se que os anos de 2013, 2014 e 2015 foram marcados por anomalias mais negativas. As ocorrências de situações de escassez hídrica iniciaram no ano de 2014 e permaneceram até ano de 2018. Tais questões podem ter influenciado no aumento de requerimentos de processos autorizativos percebidos, com pico no ano de 2015 quando chegaram a 80% dos pedidos.

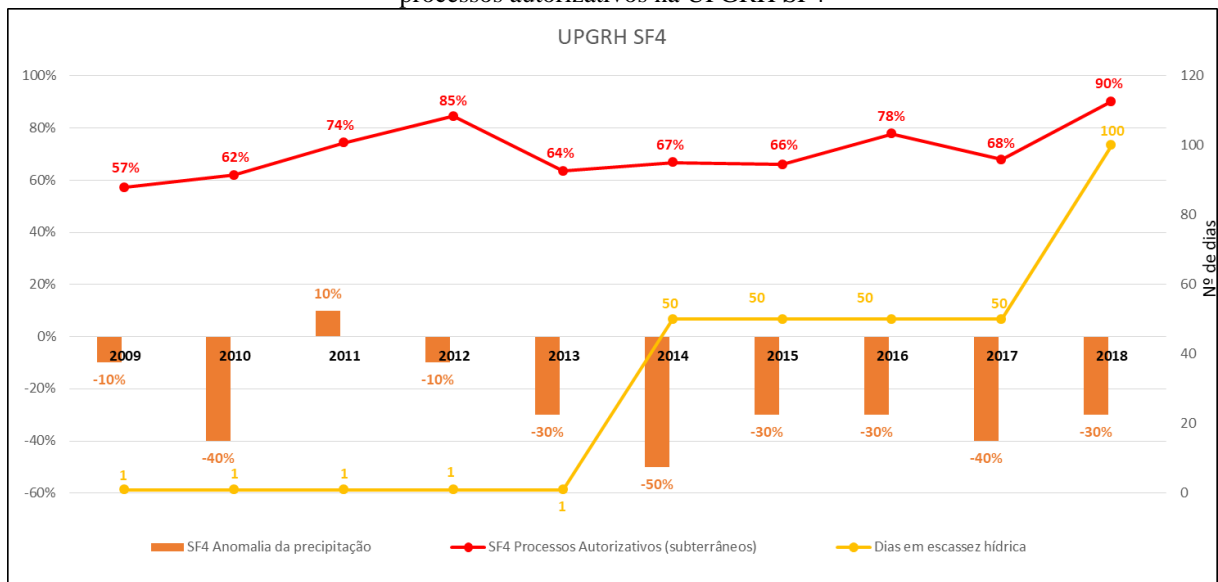
Figura 16 – Gráfico da correlação entre os dados de anomalia de precipitação, escassez e requerimentos de processos autorizativos na UPGRH SF3



Fonte: Autor (2020).

A UPGRH SF4 (Figura 17) os anos de anomalias negativas maiores foram 2010, 2014, e 2017. O reflexo na situação de escassez foi percebido nos anos de 2014 a 2018. Os requerimentos de processos autorizativos oscilaram nos anos avaliados sendo razoavelmente significativos, entretanto houve um destaque no ano de 2018 que chegou ao patamar de 90%.

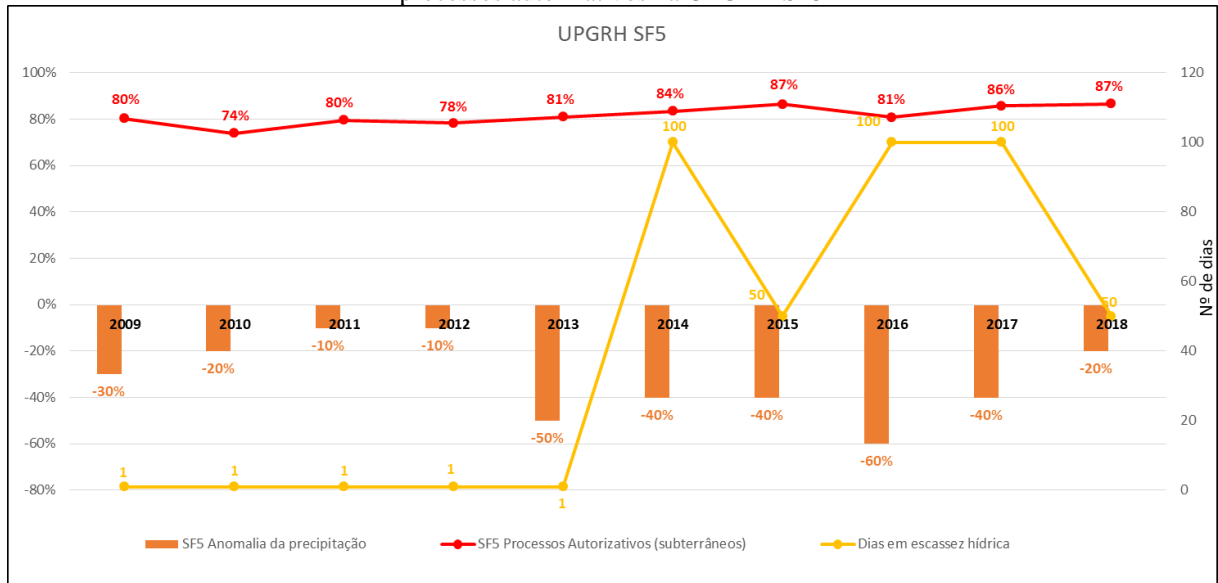
Figura 17 – Gráfico da correlação entre os dados de anomalia de precipitação, escassez e requerimentos de processos autorizativos na UPGRH SF4



Fonte: Autor (2020).

Na UPGRH SF5 (Figura 18) as anomalias negativas entre os anos de 2013 e 2016 atingiram-se picos de negativos à ordem de -50% e -60%, respectivamente. Com a ocorrência de anomalias negativas entre os anos de 2014 e 2017 e de intervalo de dias de situação de escassez, os requerimentos de processos autorizativos tiveram um aumento de solicitação, ainda que percentualmente pequeno, nos anos de 2015, 2017 e 2018.

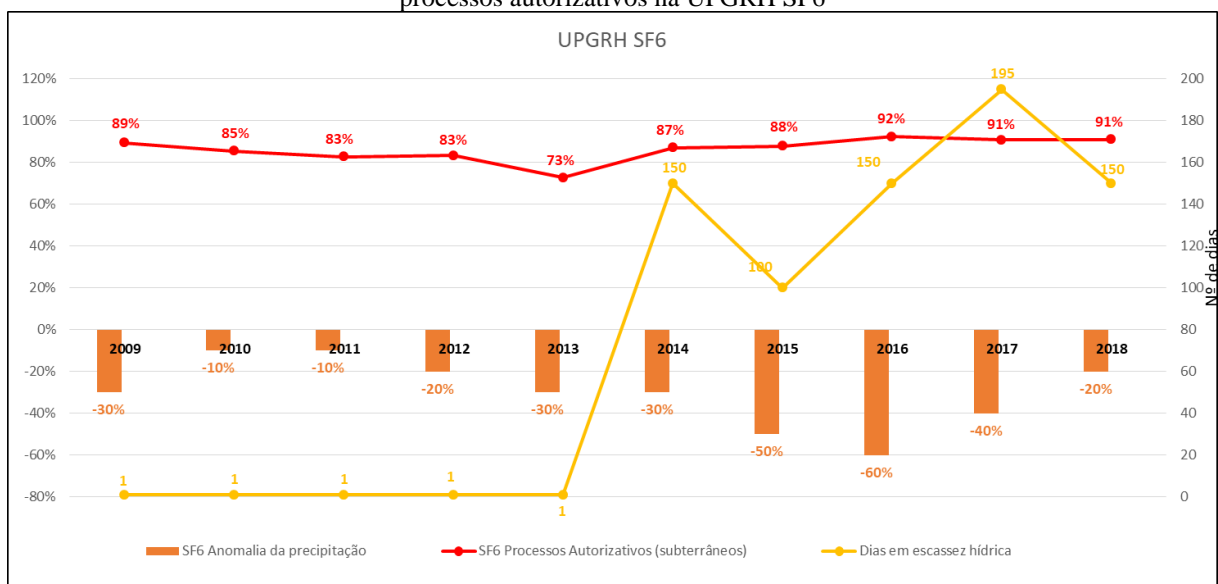
Figura 18 – Gráfico da correlação entre os dados de anomalia de precipitação, escassez e requerimentos de processos autorizativos na UPRGH SF5



Fonte: Autor (2020).

A UPRGH SF6 (Figura 19) demonstrou que os anos de 2015, 2016 e 2017 foram bem críticos para a Unidade de Planejamento, pois foram de anomalias negativas foram bem abaixo da normal. Os intervalos de dias de situação de escassez tiveram ocorrências entre 0 e 195 do ano de 2014 até o ano de 2018, sendo que os requerimentos de processos autorizativos subterrâneos, que já eram preponderantes na UPRGH, tiveram um crescimento maior a partir 2016.

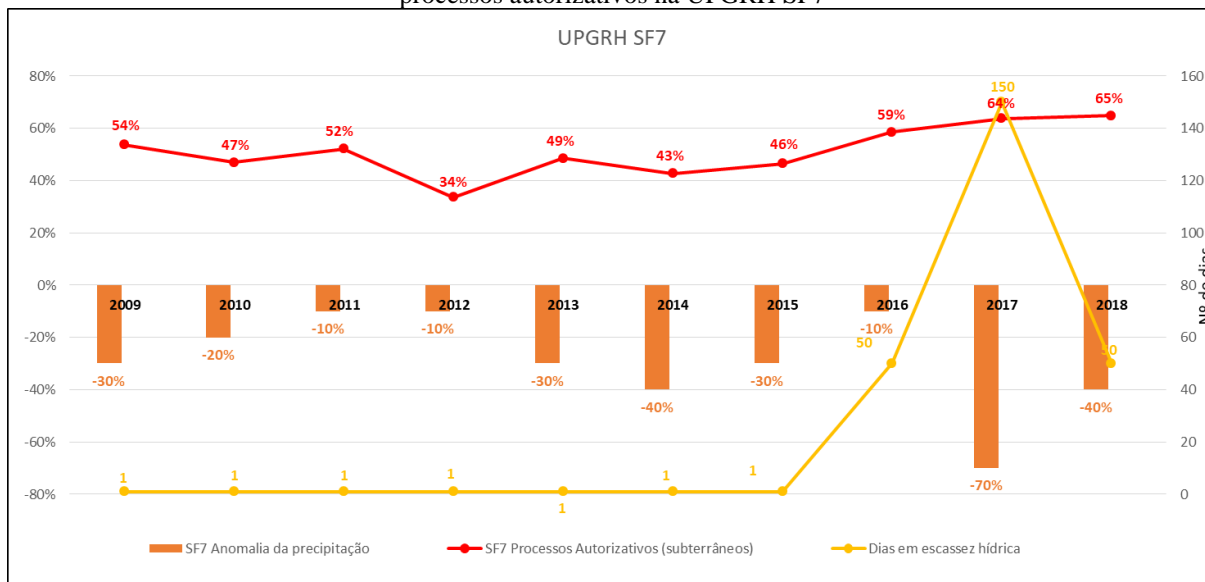
Figura 19 – Gráfico da correlação entre os dados de anomalia de precipitação, escassez e requerimentos de processos autorizativos na UPRGH SF6



Fonte: Autor (2020).

Na UPGRH SF7 (Figura 20), o ano de 2017 foi bem crítico, com -70% abaixo da normal, intervalo de dias de situação de escassez com pico de 150 dias, assim como o aumento de requerimentos de uso de água subterrânea de 68%.

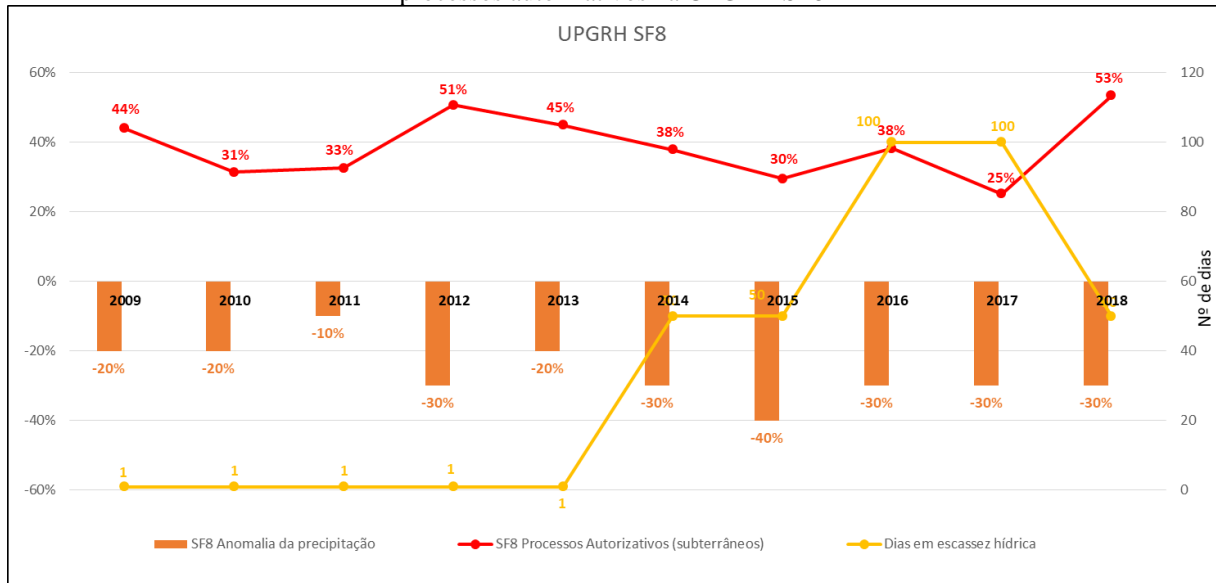
Figura 20 – Gráfico da correlação entre os dados de anomalia de precipitação, escassez e requerimentos de processos autorizativos na UPGRH SF7



Fonte: Autor (2020).

A UPGRH SF8 (Figura 21) demonstrou apresentar anomalias negativas mais intensa no ano de 2015. Os intervalos de dias de situação de escassez tiveram ocorrências entre 0 e 100 entre os anos 2014 e 2018. Os requerimentos de processos autorizativos subterrâneos não apresentavam destaque nessa UPGRH, sendo sempre proporcionalmente inferiores aos superficiais. Entretanto, no ano de 2018 houve um crescimento de mais de 50% de requerimentos processos autorizativos subterrâneos.

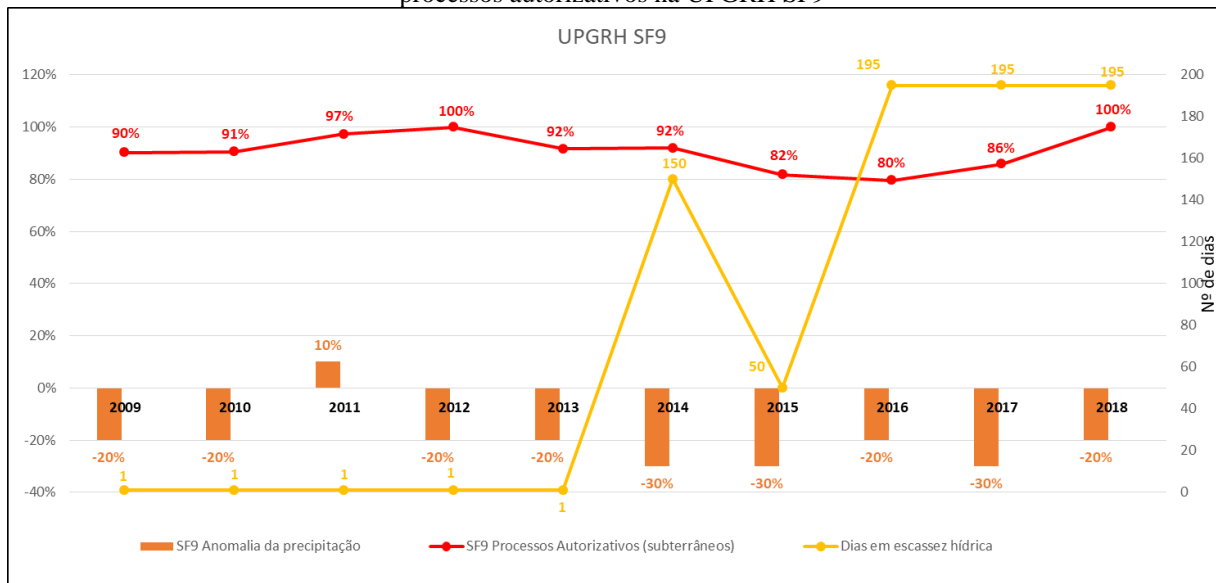
Figura 21 – Gráfico da correlação entre os dados de anomalia de precipitação, escassez e requerimentos de processos autorizativos na UPGRH SF8



Fonte: Autor (2020).

A UPGRH SF9 (Figura 22) entre os anos de 2012 e 2018 foram de anomalias totalmente negativas. Os intervalos de dias de situação de escassez tiveram ocorrências entre 0 e 195 entre os anos 2014 e 2018. A UPGRH apresentou preponderância quanto aos requerimentos de processos autorizativos subterrâneos ao longo dos anos, tendo um decréscimo entre 2015 e 2017 em relação a 2014, voltando a crescer em 2018, atingindo os 100% das solicitações.

Figura 22 – Gráfico da correlação entre os dados de anomalia de precipitação, escassez e requerimentos de processos autorizativos na UPGRH SF9

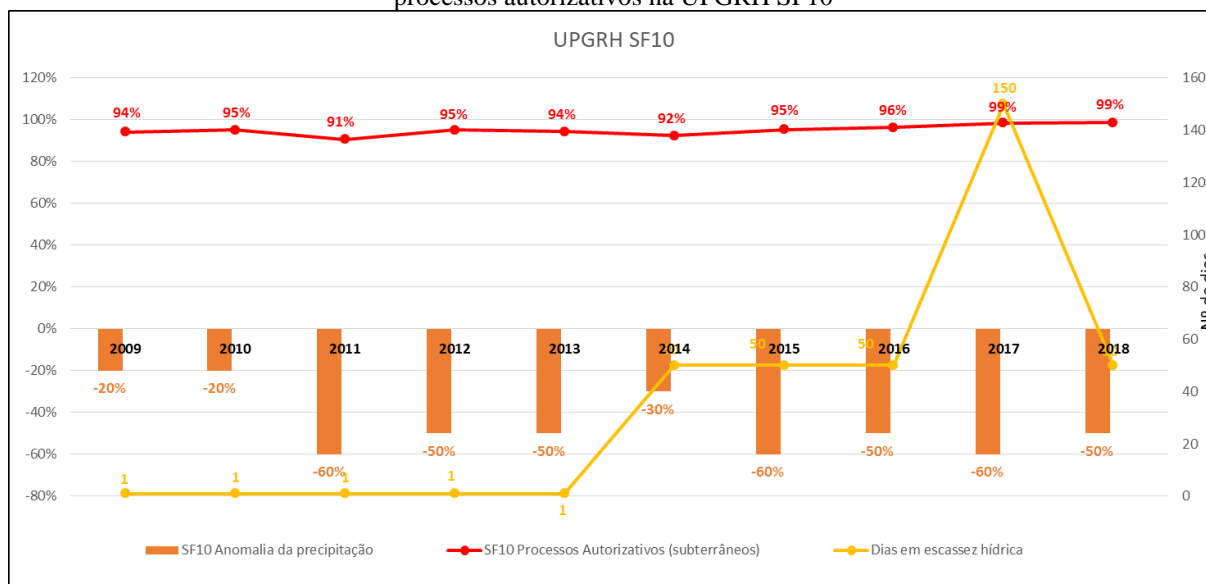


Fonte: Autor (2020).

Observa-se que a SF10 (Figura 23) é uma UPGRH com anomalias negativas que se sobressaem, sendo o ano de 2017 o mais crítico. Os intervalos de dias de situação de escassez

tiveram ocorrências entre 0 e 150 entre os anos 2014 e 2018. A UPGRH apresentou preponderância quanto aos requerimentos de processos autorizativos subterrâneos ao longo dos anos.

Figura 23 – Gráfico da correlação entre os dados de anomalia de precipitação, escassez e requerimentos de processos autorizativos na UPGRH SF10



Fonte: Autor (2020).

Por meio da avaliação dos resultados da análise conjunta das três variáveis (1) anomalia de precipitação mínima, (2) maior número de dias com situação de escassez hídrica e (3) requerimentos de processos autorizativos de uso de águas subterrâneas, pôde-se constatar que o período de anos mais críticos quanto à anomalia iniciou-se em 2012/2013, sendo a pior situação para a bacia o período 2016/2017, e os dias de restrição de uso se deram a partir de 2014.

Analisando-se os requerimentos de água subterrânea, observa-se que o ano subsequente que iniciou o período crítico de anomalias negativas (2012/2013), o ano de 2014, 6 (seis) das 10 (dez) UPGRHs que compõem a bacia hidrográfica do rio São Francisco, as Unidades SF1, SF2, SF3, SF4, SF5 e SF6 apresentaram aumento de requerimentos. Nas UPGRHs SF1, SF2, SF3, SF4, SF8 e SF9, o mesmo ocorreu no ano de 2018, após o período considerado na análise como a pior situação da bacia, que se refere ao período de 2016/2017.

De acordo com o levantamento realizado pelo IBGE (2017), tem ocorrido longos e anômalos períodos de estiagem pelo país. Neste documento foram destacados os anos de 2013 a 2017, onde o país passou por períodos de seca prolongados e atípicos, o que afetou boa parte do seu território, traduzindo-se em uma crise hídrica intensa. O que confirma a análise realizada.

Esta avaliação também pode ser confirmada quando se verifica o Relatório Anual de Situação do Instituto Mineiro de Gestão das Águas – Igam, que descreveu o período de 2014 a 2017 como um período que trouxe à tona os problemas da gestão compartilhada dos recursos hídricos no Brasil, diante da ocorrência de um período de escassez que poderia ocasionar um colapso hídrico, provocado em parte pelos eventos extremos de secas agravados em diversas regiões do Brasil, incluindo Minas Gerais (IGAM, 2018).

Também pode ser corroborado pelo estudo apresentado pela ANA (2018) que destacou a análise dos dados das estações pluviométricas em 2017 mostrando que as bacias hidrográficas do São Francisco e Atlântico Sudeste foram onde mais se concentraram estações cuja seca esteve entre as 3 piores já registradas no histórico de monitoramento.

6. CONCLUSÃO

No estudo realizado verificou-se que a escassez hídrica é uma realidade que merece atenção.

Observou-se que na bacia hidrográfica do rio São Francisco no estado de Minas Gerais, de acordo com a análise de anomalia de precipitação a partir do período chuvoso 2012/2013, iniciou um severo estado de escassez de chuva, que persistiu nos períodos chuvosos seguintes, sendo a pior condição na porção mineira da bacia hidrográfica do rio São Francisco em 2016/2017. Na avaliação da caracterização da situação de escassez hídrica, o período crítico iniciou-se no ano de 2014 abrangendo as 10 UPGRHs existentes na bacia hidrográfica.

A relação de causa e consequência ente a influência do regime de precipitações e o volume de água nos cursos hídricos foi demonstrada na bacia estudada, tendo em vista que o período chuvoso que apresentou maior déficit pluviométrico foi o de 2016/2017 e o ano que registrou maior número de dias em estado de restrição de uso foi o de 2017.

O reflexo da caracterização da escassez hídrica no aumento dos requerimentos autorizativos de uso de água subterrânea bacia hidrográfica do São Francisco, teve maior pico entre os anos de 2014 e 2018, sendo o mesmo período de caracterização da escassez hídrica,

O cenário constatado na pesquisa reforça a importância do monitoramento hidrológico e hidrogeológico na bacia hidrográfica do São Francisco. Adicionalmente os resultados propiciam um indicativo dos locais onde o monitoramento deverá ser intensificado, considerando o número de requerimentos de uso de água subterrânea e a condição de dias em escassez, sendo as UPGRHs que merecem mais atenção a SF1, SF2, SF5, SF6, SF9 e a SF10.

Espera-se que através do monitoramento com a identificação das áreas críticas, possibilite a orientação de políticas de proteção das águas subterrâneas na bacia.

REFERÊNCIAS

ALCAMO, J., T. HENRICH, and T. RÖSCH. World water in 2025: Global modeling and scenario analysis for the World Commission on Water for the 21st Century, Kassel World Water Ser. Rep. 2, **Cent. for Environ.Syst. Res.**, Univ. of Kassel, Kassel, Germany. 2000

ANA. Agência Nacional das Águas. **HIDROWEB v1.0.0.19**. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/medicoes_historicas_abas.jsf#>. Acesso em: 05 jun. 2019.

ANA. Agência Nacional das Águas. Atlas Brasil: abastecimento urbano de água: panorama nacional. Brasília, 2v.65 p. 2010.

ANA. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil**: 2013. Brasília: ANA, 2013.

Disponível em:

<http://arquivos.ana.gov.br/institucional/spr/conjuntura/ANA_Conjuntura_Recursos_Hidricos_Brasil/ANA_Conjuntura_Recursos_Hidricos_Brasil_2013_Final.pdf>. Acesso em: 29 ago. 2019.

ANA. **Conjuntura dos Recursos Hídricos**: Informe 2014. Brasília: ANA, 2015. Disponível em: <http://conjuntura.ana.gov.br/docs/conj2014_inf.pdf>. Acesso em: 29 ago. 2019.

ANA. Agencia Nacional de Águas. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil - Encarte Especial sobre a Crise Hídrica**. 2014. Disponível em <<http://conjuntura.ana.gov.br/docs/crisehidrica.pdf>>. Acesso em: 29 ago. 2019.

ANA. **Conjuntura dos Recursos Hídricos**: Informe 2017. Brasília: ANA, 2017. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/relatorio-conjuntura-2017.pdf/view>>. Acesso em: 02 set. 2019.

ANA. Agência Nacional das Águas. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2018**: informe anual / Agência Nacional de Águas. -- Brasília: ANA, 2018. 72p. Disponível em:<<http://arquivos.ana.gov.br/portal/publicacao/Conjuntura2018.pdf>> Acesso em: 02 set. 2019.

ALBUQUERQUE FILHO, J. L.; BARBOSA, C. M.; AZEVEDO, G.S. E CARVALHO, A. M. O Papel das Águas Subterrâneas como Reserva Estratégica de Água e Diretrizes para a sua Gestão Sustentável. Associação Portuguesa de Recursos Hídricos. **Revista Recursos Hídricos**, v. 32, n. 2, 53-61p. 2011.

ANDRADE, C. D.; AZEVEDO, J. P. S.; FRIETAS, M. A. V. Análise pluviométrica da bacia 90ransfronteira do rio Madeira. **XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 20 p. 2008.

ANDRADE, J. A.; NUNES, M.A. Acesso à água no Semiárido Brasileiro: uma análise das políticas públicas implementadas na região. **Revista espinhaço**, 3 (2): p. 28-39. 2014.

ARNELL, N. W. Climate change and global water resources. **Global Environmental Change** 9 (1999) S31} S49. Department of Geography, University of Southampton, Southampton S017 1BJ, UK Received 3 June 1999 49 p. 1999.

ARSKYI, IGOR C. E SANTANA, VITOR L. **Parâmetros de Demanda Hídrica no Semiárido**. Convivência com o Semiárido Brasileiro: Autonomia e Protagonismo Social. Fundação de Apoio da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – FAURGS/REDEgenteSAN/Instituto Brasileiro de Desenvolvimento e Sustentabilidade – IABS/Agência Espanhola de Cooperação Internacional para o Desenvolvimento – AECID/Ministério do Desenvolvimento Social e Combate à Fome - MDS / Editora IABS, Brasília-DF, Brasil, p. 169-177. 2013.

ASTABURUAGA, R. El agua en las zonas áridas de Chile. ARQ, n. 57 **Zonas áridas / Arid zones**, Santiago, julio, 2004, p. 68 – 73. Disponível em <<http://dx.doi.org/10.4067/S0717-69962004005700018>>. Acesso em 28 nov. 2019.

BATES, B.C., Z.W. KUNDZEWICZ, S. WU, J.P. Palutikof, Eds., 2008: Climate Change and Water. **Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC Secretariat**, Geneva, 210 pp.2008.

BRASIL. IBGE, **Perfil do Municípios Brasileiros**, 2017. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/sociais/saude/10586-pesquisa-de-informacoes-basicas-municipais.html?=&t=downloads> Acesso em: 13/01/2020

BRASIL. **Lei n. 9.433, de 08 de janeiro de 1997**. Dispõe sobre a Política Nacional de Recursos Hídricos e dá outras providências. Brasília, DF, janeiro, 1997.

BRITO; L. T. L; PORTO, E. R; SILVA, A. S. Disponibilidade de água e gestão dos recursos hídricos. **Embrapa Semi Árido**. Petrolina. PE. 2007. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPATSA/36533/1/OPB1514.pdf>>. Acesso em: 12/11/2019

BOLGOVA, M. V.; SHTENGELOVB, R. S.; MASLOVB, A. A.; FILIMONOVAB, E. A. **Assessing the Efficiency of Combined Use of Surface Water and Groundwater for Process Water Supply to Kalininskaya NPP**. 2012, *Published in Vodnye Resursy*, Vol. 39, No. 2, p. 218–226. 2012.

BOLSON, S. H., HAONAT, A. I. A Governança da Água, a Vulnerabilidade Hídrica e os Impactos das Mudanças Climáticas no Brasil. **Veredas do Direito**, Belo Horizonte, v.13, n.25. pp.223-248. 2016

BURKE, J.J. **Groundwater for irrigation: productivity gains and the need to manage hydro–environmental risk**. En: M.R. Llamas and E. Custodio (eds.), *Intensive Use of Groundwater. Challenges and opportunities*. Balkema Publishers. Lisse, the Netherlands: p.59–92. 2003.

CAMPOS, J.E.G.; GASPAR, M.T.P.; GONÇALVES, T.D. **Gestão de recursos hídricos subterrâneos no DF: diretrizes, legislação, critérios técnicos, sistema de informações geográficas e operacionalização**. Brasília: ADASA, 2007.

CAMPOS, J. N. B.; STUDART, T. M. C. Secas No Nordeste Do Brasil: Origens, Causas e Soluções. IV Dialógo Interamericano de Gerenciamento de Águas. **Associação Brasileira de Recursos Hídricos - ABRH**: Foz do Iguaçu 2001. 10p.

CARVALHO, J. D.; MELO, M. C.; PINHEIRO, L. R. R.; SPUZA, P. S. Metodologia utilizada para o monitoramento hidrometeorológico referente ao abastecimento público da Região Metropolitana de Belo Horizonte - RMBH no ano de 2015. **3º Congresso Internacional RESAG**. 15 p. 2017. Disponível em: <<http://www.resag.org.br/congressoresag2017/anais/trabalhos/aprovado?q=monitoramento>>. Acesso em 10 ago. 2019.

CERQUEIRA, G. A. et al. A Crise Hídrica e suas Consequências. Brasília: Núcleo de Estudos e Pesquisas/CONLEG/Senado, abril/2015 (**Boletim do Legislativo nº 27, de 2015**). Disponível em: www.senado.leg.br/estudos. Acesso em: 10 ago. 2019.

CIRILO, A. J. Crise hídrica: desafios e superação. **Revista USP**. São Paulo. n. 106 p. 45-58. julho/agosto/setembro. 2015.

CONSUMO SUSTENTÁVEL: **Manual de educação**. Brasília: Consumers International/MMA/ MEC/IDEC, 2005. 160 p.

COSTA, ANA C. M. E SANTOS, MARCO A. A Gestão dos Recursos Hídricos no Brasil e a Questão da Água Subterrânea. **1st Joint World Congress on Groundwater**, 14p. 2000.

CODEVASF. **Almanaque Vale do São Francisco**, edição 1, 412 p., 2001.

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

DOOL, PETRA. **Vulnerability to the impact of climate change on renewable groundwater resources: a global-scale assessment**. Environ. Res. Lett. 4. (035006) 12 p. Doi: 10.1088/1748-9326/4/3/035006. 2009. Acesso em: 10 ago. 2019.

FAMIGLIETTI, J. S. The global groundwater crisis, **Nat. Clim. Change**, 4 (11), p. 945–948, Doi:10.1038/nclimate2425. 2014. Acesso em: 10 ago. 2019.

FERNANDES, D. S. et al. **Índices para a Quantificação da Seca**. Embrapa Arroz e Feijão Santo Antônio de Goiás, GO. 2009. 48 p.

FEITOSA, F. A. C. et al. Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações. 3. Ed. rev. e ampl. Rio de Janeiro: CPRM: LABHID. 812p. 2008.

FGV – Fundação Getúlio Vargas. **Plano Nacional de Recursos Hídricos Volume IV – Recursos Hídricos na Bacia do Rio São Francisco**. 168p. 1998.

FREITAS, Marcos A. S. Sistema de Alerta, Monitoramento e Mitigação de Impactos de Eventos Críticos (Secas e Cheias) para o Brasil. **XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**: Associação Brasileira de Recursos Hídricos – ABRH. Brasília, DF. 8 p. 2013.

GUIMARÃES, D.P.; REIS, R.J.; LANDAU, E.C. Índices pluviométricos em Minas Gerais. Sete Lagoas: **Embrapa Milho e Sorgo, Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento** 30, 88 p. 2010.

HARRIS, N. M.; GURNELL, A. M.; HANNAH, D. M.; PETTS, G. E. **Classification of river regimes: a context for hydroecology**. In: John Wiley & Sons, Hardcover: Hydrological Processes, v.14, p. 2831-2848. 2000.

HERRÁIZ, SAHUQUILLO ANDRÉS. La Importancia de las Aguas Subterráneas. **Rev.R.Acad.Cienc.Exact.Fís.Nat.** (Esp) Vol. 103, Nº. 1, pp 97-114, 2009. Disponível em: https://www.dipucadiz.es/export/sites/default/desarrollo_sostenible/.galeria_de_ficheros/docu_cursos_jornadas/jornada-agua-subterranea/informacion_general/Importancia-de-las-aguas-subterraneas.pdf, Acesso em: 28 dez. 2019.

IGAM. INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. **Qualidade das águas superficiais de Minas Gerais em 2015: resumo executivo**. Belo Horizonte, 179 p. 2016.

IGAM. INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. **Relatório Anual de Gestão e Situação dos Recursos Hídricos de Minas Gerais -2014/2017**. Belo Horizonte-MG, 135 p.2018.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **A revolução silenciosa das águas subterrâneas no Brasil: uma análise da importância do recurso e os riscos pela falta de saneamento**. 19 p. 2019. Disponível em: http://www.tratabrasil.org.br/images/estudos/itb/aguas-subterraneas-e-saneamento-basico/Estudo_aguas_subterraneas_FINAL.pdf. Acesso em: 28 dez. 2019.

IPCC – **Climate Change 2014: Synthesis Report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.). IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp. 2014.

JACOBI, P. R.; CIBIM, J. C.; SOUZA, A. N. Crise da água na Região Metropolitana de São Paulo – 2013- 2015. **Geosp – Espaço e Tempo (Online)**, v. 19, n. 3, p. 422-444, mês. 2016. ISSN 2179-0892. Disponível em: URL: <http://www.revistas.usp.br/geosp/article/view/104114>. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geosp.2015.104114>. Acesso em: 22 set. 2019.

KHATER, A.R. Intensive groundwater use in the Middle East and North Africa. **Research Institute for Groundwater**, National Water Research Center, El Kanater, Egypt, p. 355-386. 2002.

KOBIYAMA, M. et al. **Prevenção de Desastres Naturais: Conceitos Básicos**. Curitiba: Ed. Organic Trading, 2006. 109p. Disponível em: http://www.ceped.ufsc.br/sites/default/files/projetos/Livro_Prevencao_de_Desastres_Naturais.pdf.> Acesso em: 11 maio. 2018.

KUNDZEWICZ, Z. W., DÖLL, P. Will groundwater ease freshwater stress under climate change? **Hydrological Sciences Journal**, 54:4. DOI:10.1623/hysj.54.4.665. pp. 665-675. 2010. Acesso em: 20 de ago. 2019.

LINDNER, A. E. et al. **Análise dos Desastres Naturais de Excesso e de Escassez Hídrica Decretados na Bacia Rio do Peixe, SC/Brasil**. Jornadas Internacionales sobre Gestión del Riesgo de Inundaciones y Deslizamientos de Laderas. Brasil, maio 2007. 22 p.

LU, S., BAI, X., LI, W., WANG, N. Impacts of climate change on water resources and grain production. **Technological Forecasting & Social Change**. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.01.015>. pp. 76-84. 2019. Acesso em: 03 de jan. 2020.

MAJONE, B., VILLA, F., DEIDDA, R., BELLIN, A. Impact of climate change and water use policies on hydropower potential in the south-eastern Alpine region. **Science of the Total Environment**. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.05.009>. p. 16. 2015. Acesso em: 03 jan. 2020.

MARENGO, J. A; CUNHA, A. P.; ALVES, L. M. **A seca de 2012-15 no semiárido do Nordeste do Brasil no contexto histórico**. Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN), São Paulo, Brasil, Centro de Ciências do Sistema Terrestre – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CCST/INPE), São Paulo, Brasil, 6p. 2016. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/311058940_A_seca_de_2012-15_no_semiarido_do_Nordeste_do_Brasil_no_contexto_historico>. Acesso em: 15 jul. 2018.

MATTIUZI, C. D. P. **Gestão Integrada dos Recursos Hídricos: Alocação Otimizada com Uso Conjunto de Água Superficial e Subterrânea para Redução de Escassez Hídrica na Bacia do Rio Santa Maria/RS**. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 93 f. 2018.

MINAS GERAIS. **Lei n. 13.199, de 29 de janeiro de 1999**. Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e dá outras providências. Belo Horizonte, MG, janeiro, 1999.

MINAS GERAIS. **Lei n. 13.771, de 11 de dezembro de 2000**. Dispõe sobre a administração, a proteção e a conservação das águas subterrâneas de domínio do Estado e dá outras providências. Belo Horizonte, MG, dezembro, 2000.

MINAS GERAIS. **Deliberação Normativa do CERH n. 09, de 16 de junho de 2004**. Define os usos insignificantes para as circunscrições hidrográficas no Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte, MG, junho, 2004.

MINAS GERAIS. **Deliberação Normativa do CERH n. 34, de 16 de agosto de 2010**. Define o uso insignificante de poços tubulares localizados nas Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos que menciona e dá outras providências. Belo Horizonte, MG, agosto, 2010.

MINAS GERAIS. **Deliberação Normativa do CERH n. 36, de 23 de dezembro de 2010**. Padroniza a utilização dos nomes, siglas e códigos das Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UPGRH) do Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte, MG, dezembro, 2010.

MINAS GERAIS. **Deliberação Normativa do CERH n. 49, de 25 de março de 2015**. Define diretriz e critérios gerais para a definição de situação crítica de escassez hídrica e estado de restrição de uso de recursos hídricos superficiais nas porções hidrográficas no Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte, MG, agosto, 2015.

MINAS GERAIS. **Deliberação Normativa Conjunta COPAM- CERH n. 05, de 14 de setembro de 2017.** Estabelece diretrizes e procedimentos para a definição de áreas de restrição e controle do uso das águas subterrâneas e dá outras providências. Belo Horizonte, MG, setembro, 2017.

MINAS GERAIS. **Decreto n. 47.705, de 05 de setembro de 2019.** Estabelece normas e procedimentos para a regularização de uso de recursos hídricos de domínio do Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte, MG, setembro, 2019.

MINAS GERAIS. **Portaria Igam n. 48, de 4 de outubro de 2019.** Estabelece normas suplementares para a regularização dos recursos hídricos de domínio do Estado de Minas Gerais e dá outras providências. Belo Horizonte, MG, outubro, 2019.

MINUZZI, R. B.; SEDIYAMA, G. C.; BARBOSA, E. M.; MELO JÚNIOR, J. C. F. Climatologia do comportamento do período chuvoso da região sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, vol.22 n.3 São Paulo Dec. 2007. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0102-77862007000300007>>. Acesso em: 20 de ago. 2019.

MOREIRA, M. C. **Gestão de recursos hídricos: sistema integrado para otimização da outorga de uso da água.** 96 f. 2006. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

OLIVEIRA JÚNIOR, D. C.; SCANFONE, L. **Fornecimento de Água Potável no Semiárido Brasileiro: alternativas possíveis.** 16 p. 2018. Disponível em: <<https://bdex.eb.mil.br/jspui/bitstream/123456789/3147/1/DORNELES%20CACIANO%20DE%20OLIVEIRA%20J%20C%20ANIOR.pdf>>. Acesso em 20 de set. 2019.

OMM. ORGANIZAÇÃO METEOROLOGICA MUNDIAL. **Vigilancia y alerta temprana de la sequía: conceptos, progressos y desafios futuros.** OMM, n. 1006, 28 p. 2006.

ONU. **The United Nations World Water Development Report 2017.** Published in 2017 by the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, 7, place de Fontenoy, 75352 Paris 07 SP, France, 2017.

PAZ, V. P. da S.; TEODORO, R. E. F.; MENDONÇA, F. C. Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande**, v.4, n.3, p.465 – 475. 2000.

PERNH. **Plano Nacional de Recursos Hídricos. Panorama e estado dos recursos hídricos do Brasil:** Volume 1 / Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos. – Brasília: MMA, 2006.

PERH. **Plano Estadual de Recursos Hídricos.** Instituto Mineiro de Gestão das Águas - IGAM. Belo Horizonte, MG, 139 p. 2011.

PRH-SF. **Resumo Executivo do Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco 2016-2025.** Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco. Alagoas, 300 p. 2016.

PIRES, V. **Frequência e intensidade de fenômenos meteorológicos extremos associados a precipitação**. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia da Terra) – Universidade de Lisboa, Portugal. 2003. 98 p.

RHODEN, A. C. et al. A importância da água e da gestão dos recursos hídricos. **Revista de Ciências Agroveterinárias e Alimentos**, n. 1, 2016. Disponível em: <<http://revista.faiacademias.edu.br:8080/index.php/cava/article/view/196/91>>. Acesso em: 15 ago. 2019.

RELATÓRIO DE AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS DA GESTÃO. **Secretaria Federal de Controle Interno Diretoria de Auditoria de Governança e Gestão Coordenação-Geral de Auditoria de Obras – CGEOB**. Município/UF: Brasília/DF Relatório nº 201702527 (10). 2018. Disponível em: <<https://auditoria.cgu.gov.br/download/10709.pdf>>. Acesso em: 11 ago. 2019.

REBOITA, M.; KRUCHE, N. Normais Climatológicas Provisórias de 1991 a 2010 para Rio Grande, RS. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 33, n. 1, p.165-179, 2018 rbmet.org.br DOI: <<http://dx.doi.org/10.1590/0102-7786331010>>. Acesso em: 05 jun 2019.

SALVADOR, S. M. F.; TOTIL, P.; ISLERL, E.; SOARES, L. C. R. S.; AILYL C.; FERREIRA, T.; SANTOS, E. P.; CASTRO, G. F.; ROSA, C. S.; KIANG, C. H. Reuso de Água Subterrânea Proveniente de Sistemas de Remediação: Uma alternativa sustentável para driblar a crise hídrica. **IV Congresso Internacional de Meio Ambiente Subterrâneo**, 4p.2015, Disponível em <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/29722/19222>>.. Acesso em: 20 de out 2019.

SANTOS, J. C. G. **Caracterização espacial da perfuração de poços no bairro do Catolé, Campina Grande-Pb: uma alternativa à crise hídrica**. Paraíba/PB, 49 p. 2017.

SANTOS, M.O.; BARRETO, I. D. C.; SILVA, I. M. L. E STOSIC, T. Avaliação das alterações hidrológicas da bacia do rio São Francisco causadas pela construção da usina hidrelétrica de Sobradinho. **Scientia Plena**. v. 13, n. 11. Recife – PE. 53-61p. 2017.

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, v. 10, n. 2, p. 374-380, 2006.

SILVA, C. B.; CLARKE, R. T. Análise estatística de chuvas intensas na bacia do rio São Francisco. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.19, n.3, 265-272, 2004.

SILVA, D. F.; GALVÍNCIO, D. J.; ALMEIDA, H. R. R. C. Variabilidade da qualidade de água na bacia hidrográfica do rio São Francisco e atividades antrópicas relacionadas. **Qualit@s Revista Eletrônica ISSN 1677 4280**. v.9. n. 3. 2010. Disponível em: <<http://revista.uepb.edu.br/index.php/qualitas/article/view/687>>.. Acesso em: 10 ago. 2019.

SILVA, J. F. A.; PEREIRA, R. G. Panorama global da distribuição e uso de água doce. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.10, n.3, p.263-280, 2019. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2019.003.0023>. Acesso em: 05 de jan. 2020.

SILVA, S.R.; FREIRE, P.K.C.; BARBOSA, D.L. e WANDERLEY, S. F. de S. **A Gestão de Recursos Hídricos no Estado de Pernambuco**, 20p. 2003. Disponível em: <www.sectma.pe.gov.br>. Acesso em: 10 ago. 2019.

SILVA, V. M. A. et al. O Desastre da Seca no Nordeste Brasileiro. **Revista Polêmica**. V. 12 n. 2. 2013.

SEMAD. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Minas Gerais. Práticas de geoprocessamento em QGIS / 2. ed. - Belo Horizonte, MG, 132 P. 2019.

SHERMAN GE, SUTTON T, BLAZEK R, HOLL S, DASSAU O, MORELY B, MITCHELL T AND LUTTMAN L. 2011. **Quantum GIS User Guide** - Version 1.7 "Wroclaw". Acesso em: "DATA". Disponível em: <http://download.osgeo.org/qgis/doc/manual/qgis-1.7.0_user_guide_en.pdf><http://download.osgeo.org/qgis/doc/manual/qgis-1.7.0_user_guide_en.pdf>. Acesso em 19 ago. 2019.

SHIKLOMANOV, I.A. World water resources: a new appraisal and assessment for the 21st century. **UNESCO**, 40p. 1998.

SISCAH: **software livre**. Versão 1.0. Viçosa: UFV. Disponível em: <<http://www.gprh.ufv.br/?area=softwares>>. Acesso em: 10 jun. 2019.

STEFANO, L. DE; FORNÉS, J.M.; LÓPEZ-GETA, J.A.; VILLARROYA, F. O Uso da Água subterrânea em Espanha: uma visão geral, à luz da Directiva-Quadro da Água da UE, **Revista Internacional de Desenvolvimento de Recursos Hídricos**, 31: 4, 640-656. Disponível em: <10.1080/07900627.2014.938260>. Acesso em: 30 de nov. 2019

SOUSA, H. T.; PRUSKI, F. F.; BOF, L. H. N.; CECON, P. R.; SOUZA, J. R. C. **SisCaH 1.0: Sistema computacional para análises hidrológicas**. Brasília: Agência Nacional das Águas – ANA, 2009. 59 p.

UNITED NATIONS WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME. **Relatório Mundial das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos (WWDR4)** - Resumo histórico. Programme Office on Global Water Assessment Division of Water Sciences, UNESCO. Colombella, Perugia, Italy, 6 p.2012.

VASCONCELOS, M. Avaliação ambiental estratégica para a gestão integrada e participativa dos recursos hídricos. In: LIRA, WS., and CÂNDIDO, GA., orgs. **Gestão sustentável dos recursos naturais: uma abordagem participativa [online]**. Campina Grande: EDUEPB, 2013, pp. 295-318. ISBN 9788578792824. Disponível em: < <http://books.scielo.org> >. Acesso em: 15 ago. 2019.

VILLAR, Pilar Carolina. As Águas Subterrâneas e o Direito à Água em um Contexto de Crise. **Ambiente & Sociedade**, vol. XIX, núm. 1, enero-marzo, Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Ambiente e Sociedade Campinas, Brasil. p. 83-100. 2016.

VÖRÖSMARTY, C. J., GREEN, P., SALISBURY, J. RICHARD B. Global Water Resources: Vulnerability from Climate Change and Population Growth. **American Association for the Advancement of Science**. Lammars Source: Science, New Series, Vol. 289, No. 5477, pp. 284-288. 2000.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO) AND THE UNITED NATIONS CHILDREN'S FUND (UNICEF). **Progress on drinking water, sanitation and hygiene: 2017 update and SDG baselines.** Geneva, 2017. Disponível em: https://www.unicef.org/publications/index_96611.html. Acesso em: 27 de abril de 2020.

WWAP (UNITED NATIONS WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME). The United Nations World Water Development Report 2012. **Managing Water under Uncertainty and Risk.** Paris, UNESCO. Disponível em: <http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/water/wwap/wwdr/wwdr4-2012/>. Acesso em: 03 de maio de 2020.

WWAP (UNITED NATIONS WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME). The United Nations World Water Development Report 2016. **Wastewater and Jobs.** Paris, UNESCO. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000243938>. Acesso em: 29 de abril de 2020.

WWAP (UNITED NATIONS WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME). The United Nations World Water Development Report 2019. **Leaving No One Behind.** Paris, UNESCO. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000367306>. Acesso em: 03 de maio de 2020.

ZANATTA, L. C. & COITINHO, J. B. L. Utilização de poços profundos no aquífero guarani para abastecimento público em Santa Catarina. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**, 16p. 2002, Florianópolis-SC. Anais. Florianópolis: ABAS, 2002. Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/22740/14930>>. Acesso em: 15 ago. 2019.

ANEXO

ANEXO A – Estações pluviométricas selecionadas para análise de dados de precipitação

Código	Nome da Estação Pluviométrica	UF
83249	Alagoinhas	BA
83179	Barra	BA
83236	Barreiras	BA
83288	Bom Jesus Da Lapa	BA
83339	Caetité	BA
83226	Camaçari	BA
83398	Canavieiras	BA
83498	Caravelas	BA
83408	Carinhanha	BA
83192	Cipó	BA
83286	Correntina	BA
83222	Cruz Das Almas	BA
83221	Feira De Santana	BA
83446	Guaratinga	BA
83348	Ilhéus	BA
83182	Irecê	BA
83244	Itaberaba	BA
83347	Itabuna	BA
83295	Itiruçu (Jaguaquara)	BA
83292	Ituaçu	BA
83186	Jacobina	BA
83242	Lençóis	BA
83090	Monte Santo	BA
83184	Morro do Chapéu	BA
83549	Mucuri	BA
83986	Paulo Afonso	BA
82979	Remanso	BA
83229	Salvador (Ondina)	BA
83088	Senhor do Bonfim	BA
83190	Serrinha	BA
83076	Sta. R. de Cassia (Ibipetuba)	BA
83344	Vitoria Da Conquista	BA
83377	Brasília	DF
83373	Roncador	DF
83645	Alegre	ES
83043	Alfredo Chaves	ES
83038	Aracruz	ES
83557	Boa Esperança	ES

Código	Nome da Estação Pluviométrica	UF
83546	Ecoporanga	ES
83034	Itarana	ES
83597	Linhares	ES
83596	Marilândia (Colatina)	ES
83013	Muniz Freire	ES
83647	Santa Teresa	ES
83555	São Gabriel Da Palha	ES
83036	São Joao de Petrópolis	ES
83550	São Mateus	ES
83045	Venda Nova	ES
83648	Vitoria	ES
83368	Aragarças	GO
83526	Catalão	GO
83422	Faz. Capivara (Goianira)	GO
83379	Formosa	GO
83350	Goianésia	GO
83423	Goiânia	GO
83374	Goiás	GO
83522	Ipameri	GO
83523	Itumbiara	GO
83464	Jatai	GO
83427	Luziânia	GO
83473	Morrinhos	GO
83376	Pirenópolis	GO
83257	Porangatu	GO
83332	Posse	GO
83470	Rio Verde	GO
83595	Aimorés	MG
83442	Araçuaí	MG
83579	Araxá	MG
83384	Arinos	MG
83582	Bambuí	MG
83689	Barbacena	MG
83587	Belo Horizonte	MG
83533	Bom Despacho	MG
83383	Buritís	MG
83589	C, Do Mato Dentro	MG
83681	Caldas (P. De Caldas)	MG
83639	Caparaó	MG
83514	Capinópolis	MG
83592	Caratinga	MG

Código	Nome da Estação Pluviométrica	UF
83485	Carbonita	MG
83686	Caxambu	MG
83613	Coronel Fabriciano	MG
83037	Coronel Pacheco	MG
83536	Curvelo	MG
83538	Diamantina	MG
83635	Divinópolis	MG
83438	Eng. Dolabela (Bocaiuva)	MG
83338	Espinosa	MG
83657	Fazenda Monte Alegre	MG
83581	Florestal	MG
83334	Formoso	MG
83574	Frutal	MG
83543	Governador Valadares	MG
83632	Ibirité	MG
83590	Itabira	MG
83390	Itacarambi	MG
83488	Itamarandiba	MG
83521	Ituiutaba	MG
83040	Jacutinga	MG
83395	Janaúba	MG
83386	Januária	MG
83591	Joao Monlevade	MG
83481	Joao Pinheiro	MG
83692	Juiz De Fora	MG
83452	Juramento	MG
83032	Lambari	MG
83687	Lavras	MG
83683	Machado	MG
83015	Maria Da Fe	MG
83578	Mateus Leme	MG
83605	Mina Águas Claras	MG
83389	Mocambinho	MG
83388	Monte Azul	MG
83437	Montes Claros	MG
83694	Muriaé	MG
83501	Nanuque-Alcana	MG
83637	Oliveira	MG
83732	Ouro Fino	MG
83479	Paracatu	MG
83737	Passa Quatro	MG

Código	Nome da Estação Pluviométrica	UF
83531	Patos De Minas	MG
83539	Patrocínio	MG
83393	Pedra Azul	MG
83483	Pirapora	MG
83570	Pompeu	MG
83061	Ponte Alta	MG
83387	Porteirinha	MG
83441	Salinas	MG
83688	São Joao Del Rei	MG
83736	Sao Lourenco	MG
83631	Sao S,Do Paraiso	MG
83083	Serra Azul	MG
83500	Serra Dos Aimorés	MG
83586	Sete Lagoas	MG
83492	Teófilo Otoni	MG
83527	Uberlândia	MG
83428	Unai	MG
83594	Usiminas	MG
83642	Viçosa	MG
83007	Alto Da Boa Vista	RJ
83788	Angra Dos Reis	RJ
83049	Avelar (P. do Alferes)	RJ
83790	Bangu	RJ
83698	Campos	RJ
83807	Carmo	RJ
83718	Cordeiro	RJ
83741	Ecologia Agrícola	RJ
83087	Gra. Juriti (Petropol.)	RJ
83114	Iguaba Grande	RJ
83758	Ilha Guaiúba	RJ
83695	Itaperuna	RJ
83796	Jardim Botanico	RJ
83057	Macaé-Pesagro	RJ
83660	Marambaia	RJ
83089	Marica	RJ
83745	Nova Friburgo	RJ
83757	Pirai	RJ
83801	Realengo	RJ
83738	Resende	RJ
83048	Rio Bonito	RJ
83743	Rio De Janeiro	RJ

Código	Nome da Estação Pluviométrica	UF
83789	Santa Cruz	RJ
83696	Santa Maria Madalena	RJ
83052	Santa Monica (Valença)	RJ
83805	Santo Antônio de Pádua	RJ
83697	São Fidelis	RJ
83744	Teresópolis	RJ
83763	Tinguá	RJ
83111	Volta Redonda	RJ
83621	Andradina	SP
83773	Avaré	SP
83714	Campos Do Jordao	SP
83676	Catanduva	SP
83823	Docas de Santo (Itapema)	SP
83630	Franca	SP
83075	Guarulhos	SP
83821	Iguape	SP
83774	Itapeva	SP
83824	Itu	SP
83678	Jaboticabal	SP
83723	Jau	SP
83728	Limeira	SP
83674	Lins	SP
83081	Mairiporã	SP
83680	Mococa	SP
83730	Monte Alegre Do Sul	SP
83707	Pindamonhangaba	SP
83664	Pindorama	SP
83716	Presidente Prudente	SP
83084	Puc-Sp	SP
83668	Ribeirão Preto	SP
83609	Santa Fe do Sul	SP
83782	Santos	SP
83726	São Carlos	SP
83713	São Jose do Barreiro	SP
83809	São Jose dos Campos	SP
83004	São Paulo (Iag)	SP
83781	São Paulo (MIR,De SANTANA)	SP
83669	São Simão	SP
83851	Sorocaba	SP
83651	Sorocaba	SP
83074	Suzano	SP

Código	Nome da Estação Pluviométrica	UF
83816	Tatuí (Iac)	SP
83784	Taubaté	SP
83777	Tiete	SP
83857	Tremembé	SP
83786	Ubatuba	SP
83629	Usina Junqueira	SP
83035	Vila Deodoro	SP
83623	Votuporanga	SP

ANEXO B – Estações pluviométricas selecionadas para análise de dados de precipitação por período chuvoso, considerando o período de estudo

2008/2009	2009/2010	2010/2011	2011/2012	2012/2013	2013/2014	2014/2015	2015/2016	2016/2017	2017/2018
Alagoinhas	Alagoinhas	Alagoinhas	Alagoinhas	Alagoinhas	Alagoinhas	Alagoinhas	Alagoinhas	Alagoinhas	Alagoinhas
Barra	Barra	Barra	Barra	Barra	Barra	Barra	Barra	Barreiras	Barreiras
Barreiras	Bom Jesus Da Lapa	Barreiras	Barreiras	Barreiras	Barreiras	Barreiras	Barreiras	Bom Jesus Da Lapa	Bom Jesus Da Lapa
Bom Jesus Da Lapa	Caetité	Bom Jesus Da Lapa	Bom Jesus Da Lapa	Bom Jesus Da Lapa	Bom Jesus Da Lapa	Bom Jesus Da Lapa	Bom Jesus Da Lapa	Caetité	Caetité
Caetité	Canavieiras	Caetité	Caetité	Caetité	Caetité	Caetité	Caetité	Canavieiras	Canavieiras
Canavieiras	Caravelas	Canavieiras	Canavieiras	Canavieiras	Canavieiras	Canavieiras	Canavieiras	Caravelas	Caravelas
Caravelas	Carinhanha	Caravelas	Caravelas	Caravelas	Caravelas	Caravelas	Caravelas	Carinhanha	Carinhanha
Carinhanha	Cipó	Carinhanha	Carinhanha	Carinhanha	Carinhanha	Carinhanha	Carinhanha	Cipó	Cipó
Cipó	Correntina	Cipó	Cipó	Cipó	Cipó	Cipó	Cipó	Correntina	Correntina
Correntina	Cruz Das Almas	Correntina	Correntina	Correntina	Correntina	Correntina	Cruz Das Almas	Cruz Das Almas	Cruz Das Almas
Cruz Das Almas	Feira De Santana	Cruz Das Almas	Cruz Das Almas	Cruz Das Almas	Cruz Das Almas	Cruz Das Almas	Feira De Santana	Feira De Santana	Feira De Santana
Feira De Santana	Guaratinga	Feira De Santana	Feira De Santana	Feira De Santana	Feira De Santana	Feira De Santana	Guaratinga	Guaratinga	Guaratinga
Guaratinga	Irecê	Guaratinga	Guaratinga	Guaratinga	Guaratinga	Guaratinga	Irecê	Irecê	Irecê
Irecê	Itaberaba	Irecê	Irecê	Irecê	Irecê	Irecê	Itaberaba	Itaberaba	Itaberaba
Itaberaba	Itiruçu (Jaguaquara)	Itaberaba	Itaberaba	Itaberaba	Itaberaba	Itaberaba	Ituaçu	Ituaçu	Ituaçu
Itiruçu (Jaguaquara)	Ituaçu	Itiruçu (Jaguaquara)	Itiruçu (Jaguaquara)	Itiruçu (Jaguaquara)	Itiruçu (Jaguaquara)	Itiruçu (Jaguaquara)	Jacobina	Jacobina	Jacobina
Ituaçu	Jacobina	Ituaçu	Ituaçu	Ituaçu	Ituaçu	Ituaçu	Lençóis	Lençóis	Lençóis
Jacobina	Lençóis	Jacobina	Jacobina	Jacobina	Jacobina	Jacobina	Monte Santo	Monte Santo	Monte Santo

Lençóis	Monte Santo	Lençóis	Lençóis	Lençóis	Lençóis	Lençóis	Morro do Chapéu	Morro do Chapéu	Morro do Chapéu
Monte Santo	Morro do Chapéu	Monte Santo	Monte Santo	Monte Santo	Monte Santo	Monte Santo	Remanso	Remanso	Remanso
Morro do Chapéu	Paulo Afonso	Morro do Chapéu	Morro do Chapéu	Morro do Chapéu	Morro do Chapéu	Morro do Chapéu	Salvador (Ondina)	Salvador (Ondina)	Salvador (Ondina)
Paulo Afonso	Remanso	Paulo Afonso	Paulo Afonso	Paulo Afonso	Paulo Afonso	Paulo Afonso	Serrinha	Sta. R de Cassia (Ibipetuba)	Sta. R. de Cassia (Ibipetuba)
Remanso	Salvador (Ondina)	Remanso	Remanso	Remanso	Remanso	Remanso	Sta. R de Cassia (Ibipetuba)	Vitoria da Conquista	Vitoria da Conquista
Salvador (Ondina)	Serrinha	Salvador (Ondina)	Salvador (Ondina)	Salvador (Ondina)	Salvador (Ondina)	Salvador (Ondina)	Vitoria Da Conquista	Brasília	Brasília
Senhor do Bonfim	Sta. R. de Cassia (Ibipetuba)	Serrinha	Serrinha	Serrinha	Serrinha	Serrinha	Brasília	São Mateus	São Mateus
Serrinha	Vitoria da Conquista	Sta. R. de Cassia (Ibipetuba)	Sta. R. de Cassia (Ibipetuba)	Sta. R. de Cassia (Ibipetuba)	Sta. R. de Cassia (Ibipetuba)	Sta. R. de Cassia (Ibipetuba)	Roncador	Vitoria	Vitoria
Sta. R. de Cassia (Ibipetuba)	Brasília	Vitoria da Conquista	Vitoria da Conquista	Vitoria da Conquista	Vitoria da Conquista	Vitoria da Conquista	São Mateus	Aragarças	Aragarças
Vitoria da Conquista	Roncador	Brasília	Brasília	Brasília	Brasília	Brasília	Vitoria	Catalão	Catalão
Brasília	São Mateus	Roncador	Roncador	Roncador	Roncador	Roncador	Aragarças	Formosa	Formosa
Roncador	Vitoria	São Mateus	São Mateus	São Mateus	São Mateus	São Mateus	Catalão	Goiânia	Goiânia
São Mateus	Aragarças	Vitoria	Vitoria	Vitoria	Vitoria	Vitoria	Formosa	Goiás	Ipameri
Vitoria	Catalão	Aragarças	Aragarças	Aragarças	Aragarças	Aragarças	Goiânia	Ipameri	Jatai
Aragarças	Formosa	Catalão	Catalão	Catalão	Catalão	Catalão	Goiás	Jatai	Pirenópolis
Catalão	Goiânia	Formosa	Formosa	Formosa	Formosa	Formosa	Ipameri	Pirenópolis	Posse

Formosa	Goiás	Goiânia	Goiânia	Goiânia	Goiânia	Goiânia	Jatai	Posse	Rio Verde
Goiânia	Ipameri	Goiás	Goiás	Goiás	Goiás	Goiás	Pirenópolis	Rio Verde	Araçuaí
Goiás	Itumbiara	Ipameri	Ipameri	Ipameri	Ipameri	Ipameri	Posse	Araçuaí	Araxá
Ipameri	Jatai	Itumbiara	Jatai	Jatai	Jatai	Jatai	Rio Verde	Araxá	Arinos
Itumbiara	Pirenópolis	Jatai	Pirenópolis	Pirenópolis	Pirenópolis	Pirenópolis	Araçuaí	Arinos	Bambuú
Jatai	Posse	Pirenópolis	Posse	Posse	Posse	Posse	Araxá	Bambuú	Barbacena
Pirenópolis	Rio Verde	Posse	Rio Verde	Rio Verde	Araçuaí	Rio Verde	Arinos	Barbacena	Belo Horizonte
Posse	Aimorés	Rio Verde	Aimorés	Araçuaí	Araxá	Araçuaí	Bambuú	Belo Horizonte	C, Do Mato Dentro
Rio Verde	Araçuaí	Aimorés	Araçuaí	Araxá	Arinos	Araxá	Barbacena	Bom Despacho	Caparaó
Aimorés	Araxá	Araçuaí	Araxá	Arinos	Bambuú	Arinos	Belo Horizonte	C, Do Mato Dentro	Capinópolis
Araçuaí	Arinos	Araxá	Arinos	Bambuú	Barbacena	Bambuú	Bom Despacho	Caparaó	Caratinga
Araxá	Bambuú	Arinos	Bambuú	Barbacena	Belo Horizonte	Barbacena	C. do Mato Dentro	Capinópolis	Carbonita
Arinos	Barbacena	Bambuú	Barbacena	Belo Horizonte	Bom Despacho	Belo Horizonte	Caparaó	Caratinga	Curvelo
Bambuú	Belo Horizonte	Barbacena	Belo Horizonte	Bom Despacho	C, Do Mato Dentro	Bom Despacho	Capinópolis	Carbonita	Diamantina
Barbacena	Bom Despacho	Belo Horizonte	Bom Despacho	C. do Mato Dentro	Caldas (P. de Caldas)	C. do Mato Dentro	Caratinga	Curvelo	Divinópolis
Belo Horizonte	C, Do Mato Dentro	Bom Despacho	C. do Mato Dentro	Caldas (P. de Caldas)	Caparaó	Caldas (P. de Caldas)	Carbonita	Diamantina	Espinosa
Bom Despacho	Caldas (P. de Caldas)	C. do Mato Dentro	Caldas (P. de Caldas)	Caparaó	Capinópolis	Caparaó	Curvelo	Divinópolis	Florestal
C. do Mato Dentro	Caparaó	Caldas (P. de Caldas)	Caparaó	Capinópolis	Caratinga	Capinópolis	Diamantina	Espinosa	Formoso
Caldas (P. de Caldas)	Capinópolis	Caparaó	Capinópolis	Caratinga	Carbonita	Caratinga	Divinópolis	Florestal	Itamarandiba

Caparaó	Caratinga	Capinópolis	Caratinga	Carbonita	Curvelo	Carbonita	Espinosa	Formoso	Januária
Capinópolis	Carbonita	Caratinga	Carbonita	Curvelo	Diamantina	Curvelo	Formoso	Itamarandiba	Juiz De Fora
Caratinga	Curvelo	Carbonita	Curvelo	Diamantina	Divinópolis	Diamantina	Itamarandiba	Januária	Juramento
Carbonita	Diamantina	Curvelo	Diamantina	Divinópolis	Espinosa	Divinópolis	Janaúba	Joao Pinheiro	Lavras
Curvelo	Divinópolis	Diamantina	Divinópolis	Espinosa	Florestal	Espinosa	Januária	Juiz De Fora	Machado
Diamantina	Espinosa	Divinópolis	Espinosa	Florestal	Formoso	Florestal	Joao Pinheiro	Juramento	Paracatu
Divinópolis	Florestal	Espinosa	Florestal	Formoso	Itamarandiba	Formoso	Juiz De Fora	Lavras	Patos De Minas
Espinosa	Formoso	Florestal	Formoso	Frutal	Ituiutaba	Itamarandiba	Juramento	Machado	Pedra Azul
Florestal	Frutal	Formoso	Frutal	Ibirité	Janaúba	Ituiutaba	Lavras	Montes Claros	Salinas
Formoso	Ibirité	Frutal	Ibirité	Itamarandiba	Januária	Janaúba	Machado	Paracatu	São Lourenco
Ibirité	Itamarandiba	Ibirité	Itamarandiba	Ituiutaba	Joao Pinheiro	Januária	Montes Claros	Patos De Minas	Unaí
Itamarandiba	Ituiutaba	Itamarandiba	Ituiutaba	Janaúba	Juiz De Fora	Joao Pinheiro	Paracatu	Pedra Azul	Viçosa
Ituiutaba	Januária	Ituiutaba	Janaúba	Januária	Juramento	Juiz De Fora	Patos De Minas	Pirapora	Avelar (P. do Alferes)
Januária	Joao Pinheiro	Janaúba	Januária	Joao Pinheiro	Lavras	Juramento	Pedra Azul	Salinas	Campos
Joao Pinheiro	Juiz De Fora	Januária	Joao Pinheiro	Juiz De Fora	Machado	Lavras	Pirapora	São Lourenco	Cordeiro
Juiz De Fora	Juramento	Joao Pinheiro	Juiz De Fora	Juramento	Monte Azul	Machado	Salinas	Unaí	Itaperuna
Juramento	Lambari	Juiz De Fora	Juramento	Lavras	Montes Claros	Monte Azul	São Lourenco	Viçosa	Resende
Lambari	Lavras	Juramento	Lavras	Machado	Paracatu	Montes Claros	Sete Lagoas	Campos	Franca
Lavras	Machado	Lambari	Machado	Monte Azul	Patos De Minas	Paracatu	Unaí	Itaperuna	São Carlos
Machado	Mocambinho	Lavras	Monte Azul	Montes Claros	Pedra Azul	Patos De Minas	Viçosa	Resende	São Paulo (Mir. de Santana)

Mocambinho	Monte Azul	Machado	Montes Claros	Paracatu	Pirapora	Pedra Azul	Avelar (P. do Alferes)	Campos Do Jordao	São Simão
Monte Azul	Montes Claros	Mocambinho	Paracatu	Patos De Minas	Pompeu	Pirapora	Campos	Catanduva	Sorocaba
Montes Claros	Paracatu	Monte Azul	Patos De Minas	Pedra Azul	Salinas	Pompeu	Cordeiro	Franca	Votuporanga
Paracatu	Patos De Minas	Montes Claros	Pedra Azul	Pirapora	São Lourenco	Salinas	Itaperuna	São Carlos	
Patos De Minas	Pedra Azul	Paracatu	Pirapora	Pompeu	Sete Lagoas	São Lourenco	Resende	São Paulo (Mir. de Santana)	
Pedra Azul	Pirapora	Patos De Minas	Pompeu	Salinas	Unai	Sete Lagoas	Campos Do Jordao	São Simão	
Pirapora	Pompeu	Pedra Azul	Salinas	São Lourenco	Viçosa	Unai	Catanduva	Sorocaba	
Pompeu	Salinas	Pirapora	São Lourenco	Sete Lagoas	Avelar (P. do Alferes)	Viçosa	Franca	Votuporanga	
Salinas	São Lourenco	Pompeu	Sete Lagoas	Unai	Campos	Avelar (P. do Alferes)	São Carlos		
São Lourenco	São S. do Paraiso	Salinas	Unai	Viçosa	Cordeiro	Campos	São Paulo (Mir. De Santana)		
Sete Lagoas	Sete Lagoas	São Lourenco	Viçosa	Avelar (P. do Alferes)	Itaperuna	Cordeiro	São Simão		
Unai	Unai	São S. do Paraiso	Avelar (P.do Alferes)	Campos	Resende	Itaperuna	Sorocaba		
Viçosa	Viçosa	Sete Lagoas	Campos	Cordeiro	Campos Do Jordao	Resende	Votuporanga		
Campos	Campos	Unai	Cordeiro	Itaperuna	Franca	Campos Do Jordao			
Cordeiro	Cordeiro	Viçosa	Itaperuna	Resende	Guarulhos	Franca			
Itaperuna	Itaperuna	Avelar (P. do Alferes)	Resende	Avaré	São Carlos	São Carlos			

Resende	Resende	Campos	Avaré	Campos Do Jordao	São Paulo (Mir. de Santana)	São Paulo (Mir. de Santana)
Avaré	Avaré	Cordeiro	Campos Do Jordao	Catanduva	São Simão	São Simão
Campos Do Jordao	Campos Do Jordao	Itaperuna	Catanduva	Franca	Sorocaba	Sorocaba
Catanduva	Catanduva	Resende	Franca	Guarulhos	Taubaté	Votuporanga
Franca	Franca	Avaré	Guarulhos	São Carlos	Votuporanga	
Guarulhos	Guarulhos	Campos do Jordao	Presidente Prudente	São Paulo (Mir. de Santana)		
Presidente Prudente	Presidente Prudente	Catanduva	São Carlos	São Simão		
São Carlos	São Carlos	Franca	São Paulo (Mir. de Santana)	Sorocaba		
São Paulo (Mir. de Santana)	São Paulo (Mir. de Santana)	Guarulhos	São Simão	Taubaté		
São Simão	São Simão	Presidente Prudente	Sorocaba	Votuporanga		
Sorocaba	Sorocaba	São Carlos	Taubaté			
Taubaté	Taubaté	São Paulo (Mir. de Santana))	Votuporanga			
Votuporanga	Votuporanga	São Simão				
		Sorocaba				
		Taubaté				
		Votuporanga				

ANEXO C – Estações fluviométricas separadas por ano com as respectivas porcentagens de falhas encontradas

Estações	Falhas																					
	2009	2009 (%)	2010	2010 (%)	2011	2011 (%)	2012	2012 (%)	2013	2013 (%)	2014	2014 (%)	2015	2015 (%)	2016	2016 (%)	2017	2017 (%)	2018	2018 (%)	Total	% Falhas
Iguatama	18	5%	4	1%	3	1%	3	1%	11	3%	79	22%	5	1%	5	1%	0	0%	0	0%	128	3,50%
Porto das Andorinhas	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	1	0%	0	0%	0	0%	30	8%	31	0,85%
Velho da Taipa	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	3	1%	32	9%	0	0%	0	0%	0	0%	35	0,96%
Alvaro da Silveira	57	16%	44	12%	4	1%	0	0%	38	10%	1	0%	18	5%	3	1%	0	0%	0	0%	165	4,52%
Belo Vale	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	126	35%	43	12%	43	12%	41	11%	253	6,93%
Alberto Flores	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	31	8%	17	5%	92	25%	0	0%	140	3,83%
Ponte Nova do Paraopeba	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0,00%
Ponte da Taquara	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	2	1%	30	8%	28	8%	0	0%	60	1,64%
Barra do Funchal	30	8%	0	0%	1	0%	1	0%	2	1%	4	1%	2	1%	0	0%	0	0%	0	0%	40	1,10%
Fazenda São Félix	30	8%	1	0%	0	0%	0	0%	79	22%	1	0%	5	1%	131	36%	12	3%	104	28%	363	9,94%
Porto do Passarinho	51	14%	0	0%	9	2%	29	8%	8	2%	15	4%	32	9%	0	0%	2	1%	1	0%	147	4,03%
Honório Bicalho	0	0%	0	0%	0	0%	9	2%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	9	0,25%
Presidente Juscelino Jusante	30	8%	0	0%	3	1%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	40	11%	2	1%	2	1%	77	2,11%
Pinhões	61	17%	0	0%	0	0%	33	9%	3	1%	34	9%	5	1%	0	0%	2	1%	39	11%	177	4,85%
Jequitibá	30	8%	2	1%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	188	51%	8	2%	0	0%	228	6,24%
Pirapama	30	8%	1	0%	0	0%	1	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	32	0,88%
Ponte do Licínio Jusante	61	17%	0	0%	1	0%	95	26%	2	1%	0	0%	1	0%	0	0%	0	0%	0	0%	160	4,38%
Santo Hipólito	30	8%	0	0%	2	1%	4	1%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	36	0,99%
Várzea da Palma	31	8%	1	0%	3	1%	0	0%	2	1%	0	0%	2	1%	93	25%	2	1%	2	1%	136	3,72%
Ponte dos Ciganos	30	8%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	61	17%	0	0%	49	13%	140	3,83%
Fazenda Espírito Santo	30	8%	0	0%	3	1%	0	0%	0	0%	0	0%	77	21%	62	17%	32	9%	15	4%	219	6,00%
Ponte da BR-040 Paracatu	1	0%	0	0%	9	2%	0	0%	0	0%	85	23%	0	0%	9	2%	15	4%	8	2%	127	3,48%

Cachoeira das Almas	31	8%	17	5%	1	0%	0	0%	0	0%	12	3%	7	2%	5	1%	34	9%	42	12%	149	4,08%
Santa Rosa	33	9%	0	0%	0	0%	0	0%	3	1%	3	1%	62	17%	1	0%	0	0%	0	0%	102	2,79%
Cachoeira do Paredao	30	8%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	20	5%	212	58%	262	7,17%
Porto dos Poções	30	8%	0	0%	3	1%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	3	1%	31	8%	31	8%	98	2,68%
Porto da Extrema	30	8%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	3	1%	0	0%	33	0,90%
Fazenda Carvalho	30	8%	0	0%	0	0%	0	0%	1	0%	7	2%	0	0%	0	0%	11	3%	0	0%	49	1,34%
Arinos Montante	30	8%	0	0%	0	0%	0	0%	1	0%	4	1%	0	0%	0	0%	0	0%	122	33%	157	4,30%
Vila Urucuia	30	8%	0	0%	0	0%	0	0%	1	0%	1	0%	0	0%	0	0%	0	0%	89	24%	121	3,31%
Santo Inácio	122	33%	123	34%	129	35%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	15	4%	52	14%	28	8%	469	12,84%
Barra do Escuro	31	8%	0	0%	2	1%	1	0%	3	1%	4	1%	20	5%	34	9%	32	9%	40	11%	167	4,57%
Usina do Pandeiros Montante	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0,00%
São Gonçalo	96	26%	0	0%	0	0%	0	0%	9	2%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	105	2,88%
Capitanea	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	1	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	31	8%	32	0,88%
Capitão Enéas	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	103	28%	0	0%	3	1%	106	2,90%
Bom Jardim	0	0%	0	0%	0	0%	45	12%	19	5%	0	0%	0	0%	38	10%	6	2%	13	4%	121	3,31%
Fazenda Alegre	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	139	38%	115	31%	61	17%	31	8%	346	9,47%
Pirapora Barreiro	1	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	1	0,03%
Cachoeira da Manteiga	0	0%	32	9%	2	1%	0	0%	0	0%	29	8%	0	0%	0	0%	0	0%	61	17%	124	3,40%
São Romão	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	19	5%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	19	0,52%
São Francisco	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0,00%
Pedra de Maria da Cruz	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	3	1%	0	0%	0	0%	0	0%	3	0,08%
Manga	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	2	1%	0	0%	0	0%	59	16%	61	1,67%
Carinhanha	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	44	12%	205	56%	249	6,82%

ANEXO D - Faixas de ocorrência da anomalia de precipitação nas UPGRHs

UPGRH/ANO	SF1		SF2		SF3		SF4		SF5		SF6		SF7		SF8		SF9		SF10	
	Anomalia da precipitação		Anomalia da precipitação		Anomalia da precipitação		Anomalia da precipitação		Anomalia da precipitação		Anomalia da precipitação		Anomalia da precipitação		Anomalia da precipitação		Anomalia da precipitação		Anomalia da precipitação	
2009	0%	10%	0%	20%	10%	20%	0%	10%	-20%	30%	-20%	0%	-20%	0%	-10%	0%	-10%	0%	-10%	10%
2010	-20%	0%	-30%	0%	-20%	0%	-30%	0%	-10%	20%	0%	0%	-10%	0%	-10%	0%	-10%	10%	-10%	0%
2011	0%	10%	0%	10%	0%	30%	10%	30%	0%	10%	0%	10%	0%	30%	0%	20%	10%	50%	-50%	40%
2012	-10%	0%	0%	20%	0%	30%	0%	0%	0%	20%	-10%	0%	0%	0%	-20%	0%	-10%	0%	-40%	0%
2013	-30%	-10%	-30%	-10%	-30%	0%	-20%	0%	-40%	10%	-20%	-10%	-10%	0%	-10%	0%	-10%	10%	-40%	0%
2014	-20%	-10%	-40%	-10%	-40%	-10%	-40%	-10%	-30%	-10%	-20%	0%	-30%	-10%	-20%	0%	-20%	-10%	-20%	20%
2015	-20%	0%	-20%	-10%	-30%	0%	-20%	0%	-30%	0%	-40%	-10%	-20%	0%	-30%	0%	-20%	0%	-50%	-10%
2016	-20%	0%	-20%	0%	-20%	0%	-20%	-10%	-50%	0%	-50%	-10%	-40%	-10%	-20%	-10%	-20%	0%	-50%	0%
2017	-40%	-20%	-30%	-20%	-10%	-20%	-30%	-20%	-30%	-20%	-30%	-20%	-50%	-20%	-20%	0%	-20%	-10%	-50%	-20%
2018	-20%	0%	0%	0%	-10%	0%	-20%	0%	-10%	10%	-10%	0%	-30%	0%	-20%	20%	-10%	10%	-40%	0%

