



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

LUINNE COUTO DE AMORIM FEITOSA

**REGIONALIZAÇÃO DE FATORES DE CARACTERIZAÇÃO DE ESCASSEZ
HÍDRICA NA REGIÃO HIDROGRÁFICA DO SÃO FRANCISCO**

FORTALEZA

2017

LUIINNE COUTO DE AMORIM FEITOSA

**REGIONALIZAÇÃO DE FATORES DE CARACTERIZAÇÃO DE ESCASSEZ
HÍDRICA NA REGIÃO HIDROGRÁFICA DO SÃO FRANCISCO**

Trabalho de Conclusão de Curso referente ao curso de Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientadora: Prof. Dr^a Ana Barbara de Araújo Nunes.

Coorientadora: PHD Maria Cléa Brito de Figueirêdo.

FORTALEZA

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

F336r Feitosa, Luinne Couto de Amorim.
Regionalização de fatores de caracterização de escassez hídrica na região hidrográfica do São Francisco /
Luinne Couto de Amorim Feitosa. – 2017.
76 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia,
Curso de Engenharia Ambiental, Fortaleza, 2017.
Orientação: Profa. Dra. Ana Barbara de Araújo Nunes.

1. Escassez hidrica. 2. Fator de caracterização. 3. Regionalização. I. Título.

CDD 628

LUINNE COUTO DE AMORIM FEITOSA

**REGIONALIZAÇÃO DE FATORES DE CARACTERIZAÇÃO DE ESCASSEZ
HÍDRICA NA REGIÃO HIDROGRÁFICA DO SÃO FRANCISCO**

Trabalho de Conclusão de Curso referente ao curso de Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Aprovado em: ___/___/___

BANCA EXAMINADORA

Prof^ª. Dr^ª. Ana Barbara de Araújo Nunes (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

PHD Maria Cléa Brito de Figueirêdo (Coorientadora)
EMBRAPA Agroindústria Tropical

Engenheira Ambiental Edilene Pereira Andrade
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

A minha família, meu maior pilar, em especial a minha mainha, minha irmã, meu avô Vicente e minha avó Devane.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por me presentear com o dom da vida, fazendo todo o resto possível.

À minha mainha e minha irmã, presentes de forma incondicional em todo o processo árduo de entrada, permanência e conclusão na universidade. Todas as minhas conquistas eu devo a vocês.

À toda a minha família, em especial meu avô Vicente, meu “ahôvai”, que sempre foi meu maior incentivador nos estudos e me passou a paixão pelos livros; e a minha avó Devane, minha segunda mãe, de quem herdei o amor pela natureza e pelas coisas simples de Deus, ao qual me levou para a escolha do curso.

Ao meu melhor amigo, incentivador e namorado André, por acreditar em mim mais do que eu mesma, e por estar presente nos melhores e piores momentos.

À Embrapa, pela oportunidade única de estágio, possibilitando um aprendizado diferenciado em uma excelente estrutura de trabalho.

À minha supervisora de estágio e coorientadora Prof^a PHD Maria Cléa Brito de Figueiredo, pela confiança, por todo o conhecimento e experiência compartilhado, e pela humildade e carinho para com todos. A sua supervisão e ensino foram os principais pilares para a conclusão deste trabalho.

À Professora Dr^a Ana Bárbara por aceitar ser minha orientadora nesse trabalho, por ser solícita e paciente frente ao pouco tempo disponível que tive para reuniões, e por ser exemplo de professora na Universidade. Também, por ter participado mais de perto da minha vida acadêmica, sendo minha orientadora de pesquisa de extensão.

A minha colega de curso e amiga engenheira ambiental Edilene Andrade, por todo o conhecimento passado necessário para este estudo, pela paciência com as frequentes dúvidas e por ter se mostrado tão solícita mesmo com o pouco tempo que dispunha.

Ao Professor Fernando José, pelo empenho em ajudar os alunos do DEHA e por ter participado, de forma essencial, para a minha conclusão de curso.

Agradeço especialmente à todos os meus amigos e amigas que, pacientemente, entenderam a minha ausência nesse período final do curso, estando presentes mesmo à distância com palavras de conforto, conselhos e incentivos.

“Mesmo que já tenha feito uma longa caminhada,
sempre haverá mais um caminho a percorrer. ”

(Santo Agostinho)

RESUMO

Atualmente, a questão da água vem gerando preocupações ambientais em todo o mundo. Diversas nações já sofrem com a falta de água ou a baixa qualidade da mesma, fator que leva a impactos na saúde humana, nos ecossistemas e nos recursos naturais. A relação de uso da água com a disponibilidade hídrica existente nos rios é chamada de escassez hídrica. Dentro da Avaliação de Ciclo de Vida (ACV), o impacto de uso da água é uma categoria nova que só recentemente tem sido implementada nos estudos de impacto ambiental. A escassez hídrica na ACV pode ser quantificada por fatores de caracterização, que são gerados a partir de modelos de caracterização de reconhecimento internacional. O objetivo deste trabalho é calcular novos fatores de caracterização regionalizados de escassez hídrica para a Região Hidrográfica do São Francisco (RHSF), seguindo um modelo de caracterização consenso de uso da água. A regionalização pode ser definida como a realocação de dados de uma escala espacial menor para uma escala espacial maior, possibilitando um detalhamento maior de informações e uma análise mais complexa da situação de escassez hídrica da região em estudo. O cálculo dos fatores seguiu as equações do modelo AWARE, selecionado para o estudo, e os dados de entrada foram separados em demandas consuntivas, disponibilidade hídrica natural e necessidade do ecossistema. O banco de dados selecionado para as demandas foi disponibilizado pela Agência Nacional de Águas, a disponibilidade hídrica foi calculada segundo o banco de dados WaterGAP, e a necessidade do ecossistema seguiu o modelo hidrológico de Pastor *et al.* (2013). O resultado do estudo gerou fatores a nível de Unidades Hidrográficas Estaduais, em escala temporal mensal, e foi apresentado na forma de diferentes mapas. Também foram gerados fatores agregados e ponderados pelas demandas. O resultado do estudo mostrou uma situação de escassez hídrica na RHSF mais pessimista em relação ao modelo AWARE, apresentando alto estresse hídrico para os períodos de seca, enquanto os meses chuvosos apresentaram pouca ou nenhuma escassez.

Palavras-chave: escassez hídrica, fator de caracterização, regionalização, modelo AWARE.

ABSTRACT

Currently, the water issue has been an environmental concern in all over the world. Various nations already suffer with the lack of water, or with its poor quality, leading to impacts on human health, ecosystems and natural resources. The relationship between water use and water availability in rivers is denominated water scarcity. Within the Life-Cycle Assessment (LCA), water use impact is a new category that only recently has been implemented in environmental impact studies. The water scarcity within LCA can be quantified through characterization factors, that are generated by international recognized characterization models. The main goal of this project is to calculate new regionalized water scarcity's characterization factors for the Hydrographic Region of São Francisco (RHSF), following a consensus characterization model for water use. The regionalization can be defined as a data reallocation from a smaller spatial scale to a bigger spatial scale, allowing a more detailed information and a more complex analysis of the water scarcity situation of the region to be studied. The calculation of the factors followed the equations regarding the AWARE model selected for the study, and the input data were separated by water demands, water availability and environmental water requirements. The database selected for the water demands was provided by Agência Nacional de Águas, the water availability was calculated using the WaterGAP database, and the environmental water requirements followed the hydrological model from Pastor *et al.* (2013). This study's results generated factors by Unidades Hidrográficas Estaduais, at a monthly scale, and was presented in the form of different maps. Also, it was calculated aggregated factors and demand weighed factors, in accordance to the AWARE model. The results of this study showed a more pessimist scarcity situation in the RHSF compared with the AWARE model, presenting a high water stress during times of drought, and rainy periods reported few or none water scarcity.

Key-words: water scarcity, characterization factor, regionalization, AWARE model.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Etapas da ACV	21
Figura 2 - Elementos Obrigatórios da AICV	23
Figura 3 - Geração de um fator de caracterização.	24
Figura 4 - Regiões Hidrográficas do Brasil com destaque para a RHSF	33
Figura 5 – Divisões da BHSF.	34
Figura 6 - Precipitação na Bacia Hidrográfica do São Francisco	35
Figura 7 – Hidrograma da Região Hidrográfica do São Francisco.....	37
Figura 8 – Limites da bacia do WaterGAP e da RHSF	39
Figura 9 – Delimitação das microbacias	42
Figura 10 – Manipulação dos dados de entrada.....	49

LISTA DE MAPAS

Mapa 1 - Arquivo raster de EFR para o Brasil no mês de janeiro	46
Mapa 2 - Unidades Hidrográficas Estaduais da RHSF.....	47
Mapa 3 - Exemplo de mapa raster transformado em polígonos	50
Mapa 4 - Fatores de caracterização regionalizados para o mês de janeiro.	59
Mapa 5 – Fatores de caracterização regionalizados para o mês de fevereiro.	60
Mapa 6 - Fatores de caracterização regionalizados para o mês de março	61
Mapa 7 – Fatores de caracterização regionalizados para o mês de abril.	62
Mapa 8 – Fatores de caracterização regionalizados para o mês de maio.....	63
Mapa 9 – Fatores de caracterização regionalizados para o mês de junho.	64
Mapa 10 – Fatores de caracterização regionalizados para o mês de julho	65
Mapa 11 – Fatores de caracterização regionalizados para o mês de agosto	66
Mapa 12 - Fatores de caracterização regionalizados para o mês de setembro.....	67
Mapa 13– Fatores de caracterização regionalizados para o mês de outubro	68
Mapa 14 – Fatores de caracterização regionalizados para o mês de novembro	69
Mapa 15 – Fatores de caracterização regionalizados para o mês de dezembro.....	70
Mapa 16– Fatores de caracterização agregados ponderados pela demanda agrícola	71
Mapa 17– Fatores de caracterização agregados ponderados pelas demandas não agrícolas	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Aplicações da Avaliação do Ciclo de Vida	20
Tabela 2 - Diferentes métodos de uso da água e seus índices..	30
Tabela 3 - Vazões de retirada na Região Hidrográfica do São Francisco.....	36
Tabela 4 - Banco de dados de entrada de uso da água.....	42
Tabela 5 – Cálculo experimental utilizando dados de disponibilidade hídrica da ANA	43
Tabela 6 - Vazões médias naturais do WaterGAP para a RHSF	44
Tabela 7 – Resumo do banco de dados de entrada	48
Tabela 8 – Fatores regionalizados por UHE de janeiro a junho	52
Tabela 9 – Fatores regionalizados por UHE de julho a dezembro	53
Tabela 10 – Resultados do estudo versus resultados do modelo AWARE	56

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Variação mensal de $CF_{AGRI_{rh,mês}}$	57
Gráfico 2 - Variação mensal de $CF_{NON_AGRI_{rh,mês}}$	57
Gráfico 3 - Variação mensal de $CF_{DEFAULT_{rh,mês}}$	58

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
AIA	Avaliação de Impacto Ambiental
AICV	Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida
ANA	Agência Nacional de Águas
AWARE	Available Water Reaminging
BHSF	Bacia Hidrográfica do São Francisco
CF	Characterization Factor
EFRs	Environmental Flow Requirements
ICV	Inventário de Ciclo de Vida
RHSF	Região Hidrográfica do São Francisco
UHE	Unidade Hidrográfica Estadual

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	16
2. OBJETIVOS.....	18
2.1 Objetivo Geral.....	18
2.2 Objetivos específicos.....	18
3. REVISÃO DE LITERATURA	19
3.1 Introdução à Avaliação do Ciclo de Vida (ACV).....	19
3.1.1 Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida (AICV).....	21
3.1.2 Fator de Caracterização e Regionalização.....	23
3.2 Disponibilidade e Demanda Hídrica.....	25
3.3 Necessidade do Ecossistema.....	26
3.4 Escassez Hídrica.....	28
3.4.1 Modelos de caracterização.....	29
4. METODOLOGIA.....	32
4.1 Área de Estudo.....	32
4.1.1 Demandas da RHSF.....	36
4.1.2 Disponibilidade da RHSF.....	37
4.2 Modelo AWARE.....	38
4.3 Definição do banco de dados.....	41
4.3.1 Demandas.....	41
4.3.2 Disponibilidade.....	43
4.3.3 Necessidade do Ecossistema.....	45
4.4 Manipulação dos Dados.....	47
4.5 Cálculo dos Fatores.....	50
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	52
6. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES.....	73
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	75

1. INTRODUÇÃO

A questão da escassez hídrica se tornou uma preocupação global a partir da crescente demanda humana por água, principalmente para o setor de agricultura e para as áreas urbanas. Diversas nações já sofrem com a falta de água ou a baixa qualidade da mesma, fator que leva a impactos na saúde humana, nos ecossistemas e nos recursos naturais. A escassez hídrica pode ser definida como o uso ou consumo de água que se aproxima ou excede da capacidade natural de regeneração de um corpo hídrico (KOUNINA *et al.*, 2013). Atualmente, o consumo mundial de água chega na faixa de 2.600 km³ por ano, para um crescimento populacional de 80 milhões de pessoas, um aumento que só tende a piorar a situação já crítica de escassez hídrica no mundo (KOUNINA *et al.*, 2013; RICHTER *et al.*, 2012).

Dentro da Avaliação de Ciclo de Vida (ACV), o impacto de uso da água é uma categoria nova que só recentemente tem sido implementada nos estudos de impacto ambiental. A escassez hídrica na ACV pode ser quantificada por fatores de caracterização, que são gerados a partir de modelos de caracterização reconhecidos internacionalmente. Um fator de caracterização, segundo a ISO 14044 (2006), é um fator proveniente de um modelo de caracterização, que é utilizado para converter os resultados do ICV em uma unidade comum de indicador de categoria. A caracterização é o terceiro elemento obrigatório da Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida, onde os indicadores de categoria são calculados com base em diferentes modelos científicos que simulam as causas e os efeitos dos impactos no meio natural (BAUMANN e TILLMAN, 2004).

Diferentes modelos de caracterização foram lançados a partir de iniciativas internacionais preocupadas com o uso da água na ACV. Entre esses modelos, o modelo AWARE foi desenvolvido pelo grupo “WULCA” como um modelo consenso de caracterização de escassez hídrica, sendo utilizado como indicador midpoint de uso da água, de forma a representar a ‘água disponível restante’ em uma bacia, por unidade de área (Boulay *et al.*, 2015). O modelo, inclusive, fornece uma metodologia consenso para o cálculo de escassez hídrica dentro do contexto da ISO 14046 de pegada hídrica.

A regionalização de um fator de caracterização é extremamente importante para auxiliar gestores políticos e empresariais no controle e tomada de decisões dentro de uma cidade ou empresa. A regionalização pode ser definida como a realocação de dados de uma escala espacial

menor para uma escala espacial maior, possibilitando um detalhamento maior de informações e uma análise mais complexa da situação de escassez hídrica da região em estudo.

A escassez hídrica na Região Hidrográfica do São Francisco (RHSF) é um tema que merece destaque devido a importância da bacia para o Nordeste brasileiro e para o Semiárido. A RHSF é a quarta maior região em termos de demandas hídricas do País, perdendo apenas para as regiões hidrográficas do Paraná, Atlântico Nordeste Oriental e Atlântico Sudeste (ANA, 2013). De acordo com dados da Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil (ANA, 2013) a vazão natural média da RHSF é na ordem de 2.846 m³/s, enquanto a disponibilidade hídrica superficial total é de 1.886 m³/s. Além disso, o Rio São Francisco teve uma importante participação na história e no desenvolvimento econômico da região Nordeste, sendo o principal fornecedor de água para a região do Semiárido.

A aplicação de um modelo consenso de caracterização de escassez hídrica, visando gerar fatores regionalizados, para a Região Hidrográfica do São Francisco, permite uma análise mais detalhada da situação de escassez na região, auxiliando na tomada de decisões de gestores políticos e empresariais, e trazendo à tona a realidade de uma bacia hidrográfica tão importante para as regiões do Nordeste brasileiro e do Semiárido.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Gerar novos fatores de caracterização regionalizados de escassez hídrica para a Região Hidrográfica do São Francisco.

2.2 Objetivos específicos

- Gerar fatores em nível de unidades hidrográficas estaduais;
- Gerar fatores em nível de bacia hidrográfica;
- Analisar os resultados;
- Comparar os resultados gerados com os modelados pelo AWARE.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Introdução à Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)

A Avaliação do Ciclo de Vida pode ser entendida como uma avaliação que considera os impactos ambientais gerados por todo o ciclo de vida de um produto. Aqui, o conceito ‘vida’ abrange desde o “berço”, a extração da matéria-prima necessária para o produto, até o “túmulo”, ou seja, a sua disposição final (BAUMANN e TILLMAN, 2004).

A ACV tem sido bastante utilizada como método consenso para análise de impactos ambientais de produtos e serviços. É uma metodologia complexa que descreve em detalhe as etapas mais relevantes de um processo de produção, visando um consumo mais sustentável. Em um estudo de ACV, são detalhados todos os processos envolvidos na produção, uso e disposição final de um produto ou serviço (BAUMANN e TILLMAN, 2004). O estudo descreve quantitativamente as entradas e emissões de cada etapa do processo, possibilitando uma análise de impacto ambiental comparativa e essencial para futuras tomadas de decisão.

A ACV foi regularizada internacionalmente em 1997 e, segundo Baumann e Tillman (2004), é contemplada pelas normas ISO 14040-14043, apresentando a seguinte definição:

ACV é uma técnica para avaliar os aspectos e potenciais impactos ambientais associados a um produto, pela:
Compilação de um inventário de entradas e saídas de um sistema de um produto;
Avaliação dos potenciais impactos ambientais associados a essas entradas e saídas;
Interpretação dos resultados da análise de inventário e avaliação de impacto relacionados aos objetivos do estudo.

No ano de 2006, as normas ISO 14040, 14041, 14042 e 14043 foram sintetizadas em apenas duas normas: a ISO 14040 (2006), que trata dos princípios e da estrutura da ACV, e a ISO 14044 (2006), que trata dos requisitos e das diretrizes.

De acordo com a ISO 14040, as principais aplicações da ACV são: identificação de possíveis melhorias, tomada de decisão, escolha de indicadores de desempenho ambiental e exigências do mercado. Outras aplicações envolvem entender as relações existentes entre as etapas do processo de produção e estudar as propriedades ambientais dentro do sistema, sempre visando

melhorias e mudanças benéficas ao meio ambiente, de forma direta ou indireta (BAUMANN e TILLMAN, 2004). A TABELA 1 abrange um resumo das aplicações da ACV.

Tabela 1: Aplicações da Avaliação do Ciclo de Vida

Tomada de Decisão	Desenvolvimento e design do produto; Desenvolvimento e design do processo; Aquisição; Suporte para medidas regulatórias e instrumentos políticos.
Aprendizagem/Exploração	Caracterização do sistema de produção; Identificação de possíveis melhorias; Seleção de indicadores de desempenho ambiental.
Comunicação	Rotulagem ecológica Declaração Ambiental de Produto Benchmarking

Fonte: Adaptado de BAUMANN e TILLMAN (2004).

No estudo da ACV, consideram-se os aspectos ambientais do ciclo de vida de um produto, tais quais os recursos e as emissões, e os possíveis impactos ambientais gerados pela extração/emissão desses aspectos. São três categorias gerais de impacto ambiental que a ACV considera: recursos naturais, saúde humana e meio ambiente. A definição de ‘produto’, segundo da ISO 14040, abrange tanto os produtos materiais quanto os serviços (BAUMANN e TILLMAN, 2004).

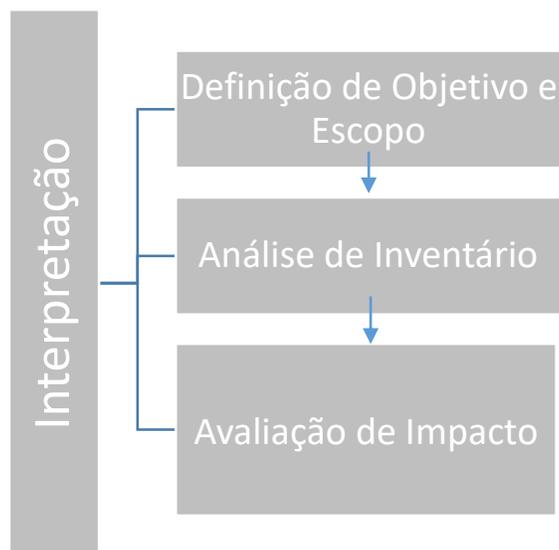
No Brasil, a ACV é norteada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), no qual as normas ISO foram editadas.

A Avaliação do Ciclo de Vida é dividida em quatro etapas:

1. Definição do objetivo e escopo;
2. Análise de inventário;
3. Avaliação de impacto;
4. Interpretação dos Resultados.

Um sumário das etapas pode ser visto na Figura 1.

Figura 1: Etapas da ACV



Fonte: Adaptado de NBR ISO 14040 (2001)

No objetivo e escopo são definidos o produto a ser estudado e para qual propósito o estudo está sendo feito. Nessa etapa, é essencial que os objetivos e as intenções do estudo sejam informados de forma clara e específica. Algumas questões são primordiais e devem ser enfatizadas, tais quais: quais são as aplicações pretendidas com o estudo, os motivos pelo qual a ACV está sendo elaborada e o público alvo no qual o estudo será focado.

A análise de inventário consiste na construção de um modelo de sistema de fluxos que apresente as atividades relevantes e as delimitações do estudo. Aqui, entram todos os dados de balanço de massa e energia do sistema, os processos envolvidos (como produção, transporte, uso, destinação final) e as interações existentes entre eles.

3.1.1 Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida (AICV)

A Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida (AICV) é a terceira etapa do estudo de ACV e tem como objetivo principal descrever os impactos ambientais potenciais relacionados aos resultados da análise de inventário (BAUMANN e TILLMAN, 2004). De acordo com Baumann e Tillman (2004), mais do que quantificar as emissões e recursos resultantes do sistema, a AICV procura transformar essas informações em dados relevantes ambientalmente, ou seja, informações

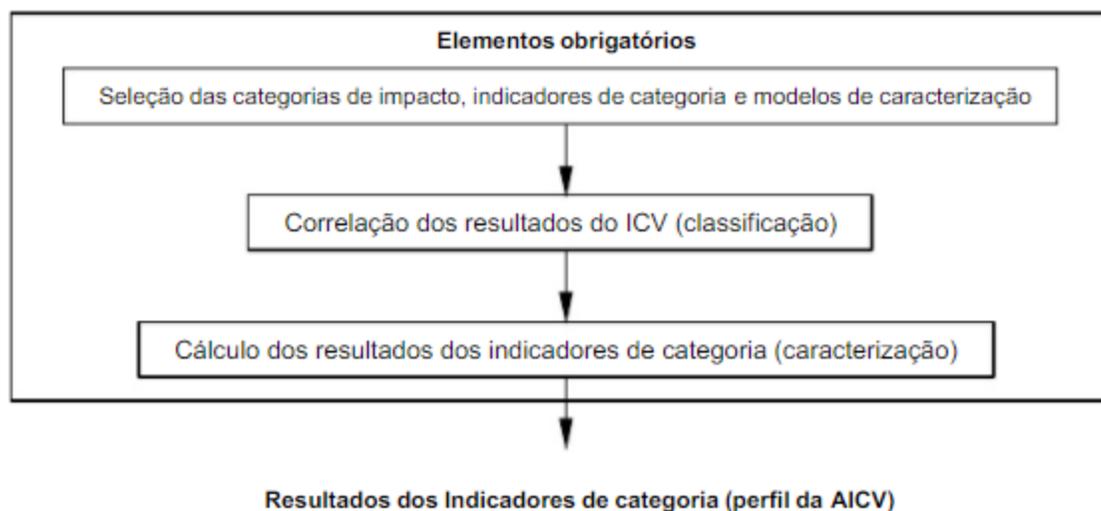
que possam quantificar o impacto potencial no meio ambiente, saúde humana, ou recursos. É importante ressaltar que o impacto analisado será sempre o impacto que tem potencial de causar danos ao meio ambiente, e não o impacto real, existente no processo.

A norma ISO 14042 (2004) define essa fase da ACV como a responsável por modelar as questões ambientais do sistema em estudo (categorias de impacto), por meio de indicadores. Os impactos ambientais potenciais são representados por esses indicadores de categoria, que representam as emissões e recursos que foram levantados na análise do Inventário do Ciclo de Vida (ICV). Para cada categoria de impacto, um indicador de categoria é calculado.

A AICV possui diversos elementos, alguns obrigatórios e alguns opcionais. Os elementos obrigatórios são essenciais para transformar os resultados do ICV em resultados dos indicadores (ISO 14042:2004). Uma compilação dos elementos obrigatórios pode ser vista na Figura 2. Os elementos opcionais incluem etapas posteriores ao cálculo dos indicadores de categoria, ou seja, normalização, agrupamento, ponderação e análise dos resultados.

O primeiro elemento obrigatório é a seleção das categorias de impacto, indicadores e modelos de caracterização relacionados a ACV em estudo. O segundo elemento obrigatório é a fase de classificação, ou seja, a organização dos resultados do ICV de acordo com os impactos relacionados a eles. O terceiro elemento obrigatório é a caracterização, onde os indicadores de categorias são calculados. Nesta última fase, as contribuições de cada emissão/consumo do ICV para cada categoria de impacto são quantificadas. Na caracterização, os indicadores são calculados com base em diferentes modelos científicos que simulam as causas e os efeitos dos impactos no meio natural (BAUMANN e TILLMAN, 2004). A Figura 2 traz uma compilação dos elementos obrigatórios da AICV.

Figura 2: Elementos Obrigatórios da AICV



Fonte: NBR ABNT 14042:2004

A ISO 14044 (2006) dita alguns componentes obrigatórios para a seleção da categoria de impacto. Para cada categoria de impacto selecionada, as seguintes etapas precisam ser seguidas:

- Identificação de categorias endpoint;
- Definição dos indicadores de categoria para cada categoria endpoint;
- Identificação dos resultados da AICV que se relacionam a categoria de impacto, levando em consideração o indicador de categoria escolhido e as categorias endpoint;
- Identificação do modelo de caracterização e dos fatores de caracterização.

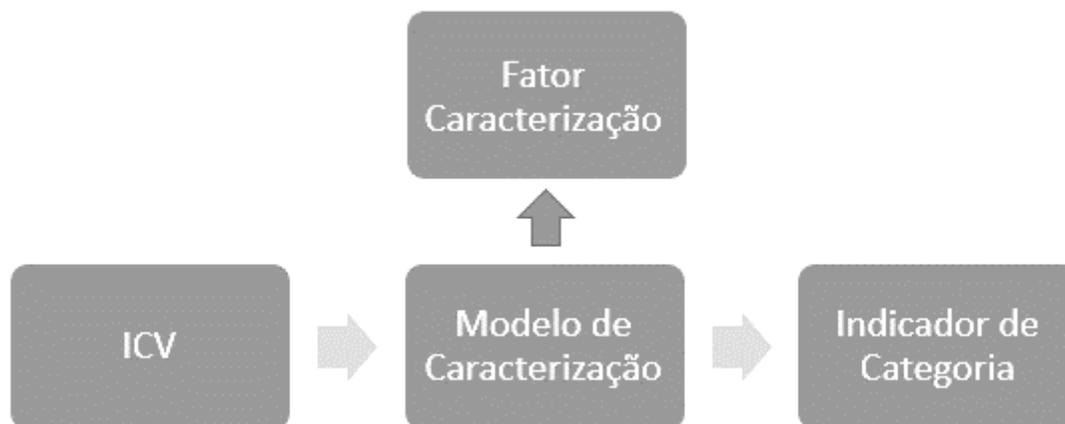
É importante ressaltar que, a seleção das categorias de impacto, dos indicadores de categoria, e dos modelos de caracterização precisa ser feita baseada em parâmetros internacionalmente aceitos, aprovados por órgãos internacionais competentes (ISO 14044:2006).

3.1.2 Fator de Caracterização e Regionalização

Um fator de caracterização, segundo a ISO 14044 (2006), é um fator proveniente de um modelo de caracterização, que é utilizado para converter os resultados do ICV em uma unidade comum de indicador de categoria (FIGURA 3). O cálculo do fator de caracterização é feito baseado em um modelo de caracterização selecionado para o estudo, que deve possuir base científica e tecnológica aceita internacionalmente. Dentro da AICV, o fator de caracterização é aplicado a cada

fluxo de entrada e saída, com o objetivo de obter impactos agregados dentro de cada categoria de impacto ambiental selecionada no estudo. A aplicação do fator de caracterização ocorre na fase de caracterização da AICV.

Figura 3: Geração de um fator de caracterização.



Fonte: Elaborada pela autora (2017)

A regionalização de um fator de caracterização é extremamente importante para auxiliar gestores políticos e empresariais no controle e tomada de decisões dentro de uma cidade ou empresa. Um fator de caracterização está relacionado a um modelo de caracterização e, conseqüentemente, a um indicador de categoria de impacto específico, submetido a um limite espacial de estudo. Atualmente, existem diversos modelos globais que disponibilizam indicadores em nível de continente, país, ou outros limites espaciais de pequena escala. Os fatores de caracterização utilizados nesses modelos apresentam menor nível de detalhamento e, conseqüentemente, estão sujeitos a maior número de erros se aplicados a áreas gerenciais menores, como Estados e Municípios. Um exemplo disso seria aplicar um fator de caracterização gerado em escala nacional, em uma pequena cidade no interior deste país. O fator em nível nacional representa uma média da categoria de impacto de todas as cidades do país, porém, cada cidade apresenta uma peculiaridade em relação àquela categoria de impacto. As cidades podem ter realidades completamente diferentes da média nacional podendo, inclusive, divergir consideravelmente de uma cidade para a outra, não sendo coerente utilizar o mesmo fator de caracterização para ambas. Seria necessário, assim, a regionalização dos fatores, ou seja, a possibilidade de um maior detalhamento de informações, apresentando fatores de caracterização em nível municipal, o que

acarretaria na diminuição dos erros e em uma melhor representação da realidade da região estudada.

3.2 Disponibilidade e Demanda Hídrica

Segundo a norma ISO 14046 (2014), a disponibilidade hídrica é definida como sendo o grau em que os seres humanos e os ecossistemas têm acesso a água para as suas necessidades. Quando considerado apenas a qualidade da água, a disponibilidade hídrica torna-se, em termos de pegada hídrica, escassez hídrica (ISO 14046:2014).

A disponibilidade hídrica de uma região pode ser dividida em disponibilidade de águas superficiais e disponibilidade de águas subterrâneas. De acordo com a Nota Técnica nº 16/2016/SPR da Agência Nacional de Águas (ANA), a disponibilidade hídrica superficial é definida como um valor mínimo de vazão de referência relacionado ao trecho de um rio. Dentro do conceito de vazão disponível, existe a vazão natural e a vazão real. A vazão média natural seria a vazão originada no corpo hídrico sem levar em consideração qualquer interferência de atividade humana, ou seja, as retiradas e consumos; já a vazão real seria a vazão existente no rio considerando todas as atividades humanas de uso da água sendo, conseqüentemente, menor que a vazão natural (ANA, 2013). O relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil determina que a vazão real, chamada de disponibilidade hídrica superficial, representa a condição real observada nas bacias, já que as atividades humanas estão sempre presentes, modificando a qualidade e a natureza do uso e ocupação do solo, e influenciando diretamente no escoamento superficial. A disponibilidade hídrica de águas subterrâneas é referente ao volume de água existente nos aquíferos subterrâneos.

A demanda hídrica refere-se à demanda de água para diferentes usos humanos. Segundo o Relatório de Conjuntura (ANA, 2013), o uso da água se enquadra em qualquer atividade humana que gere uma alteração na qualidade ou na quantidade da água disponível, seja ela superficial ou subterrânea. A ISO 14046 (2014) separa a demanda hídrica em duas definições: uso e consumo de água. O uso da água refere-se a qualquer retirada ou atividade humana que gere impacto na vazão disponível ou na qualidade da água na bacia. Já o consumo é normalmente utilizado para classificar retiradas de água que não retornam para a mesma bacia de drenagem, ou seja, processos de transpiração, evaporação, integração de um produto, ou águas que retornam para uma bacia

diferente da qual ela foi captada. De forma similar, o Relatório de Conjuntura classifica os usos da água em consuntivos e não consuntivos. Os usos consuntivos são aqueles em que há consumo de água no processo de uso, ou seja, parte da água não retorna à sua fonte natural. A demanda hídrica para usos consuntivos é equiparada à vazão de retirada, isto é, a vazão de água captada necessária para suprir os usos consuntivos (ANA, 2013). De acordo com a Conjuntura, os usos consuntivos são classificados, basicamente, em 5 categorias: uso para abastecimento humano urbano, uso para abastecimento humano rural, dessedentação de animais, uso industrial e uso para irrigação. Entre as demandas consuntivas há o interesse, também, em determinar a quantidade de água que foi efetivamente consumida. Segundo ANA (2005), essa determinação é feita baseando-se em dois conceitos, dentro da vazão de retirada: vazão de retorno e vazão de consumo. As vazões de retorno são quantificadas pelo produto da vazão de retirada e do coeficiente de retorno para cada uso consuntivo; já a vazão de consumo é a diferença entre a vazão de retirada e a vazão de retorno.

Entre as demandas hídricas, os usos não consuntivos são aqueles em que não há retirada de água, ou seja, são os usos para a geração de energia, para as atividades de pesca, para o turismo e recreação ecológico, e para a manutenção da vida aquática (ANA, 2013).

3.3 Necessidade do Ecossistema

De acordo com Richter *et al.* (2012), a necessidade do ecossistema, ou vazão ecológica, é definida como a quantidade e qualidade de água necessária para manter o sustento dos ecossistemas aquáticos e bem-estar dos seres que dependem daquela água. Pastor *et al.* (2013) utiliza a denominação “environmental flow requirements” (EFRs) para se referir à necessidade do ecossistema, e a define como sendo o resultado de um método de vazão ecológica que quantifica a água necessária para manter a qualidade dos ecossistemas aquáticos. De acordo a autora, a importância de quantificar e preservar essa vazão vem, principalmente, da crescente demanda de água para agricultura e para as necessidades humanas, um aumento que colocou em foco diversas preocupações ambientais com o uso da água. Entre as principais questões ambientais relacionadas à necessidade do ecossistema podemos citar a proteção à biodiversidade, os serviços ambientais, as atividades socioeconômicas dependentes da água como turismo ecológico e recreação, a geração de energia, entre tantos outros valores essenciais que a água presta aos seres humanos e aos ecossistemas terrestres (RICHTER *et al.*, 2012).

Pastor *et al.* (2013) cita que existem mais de duzentos métodos, atualmente, que buscam quantificar a necessidade do ecossistema. Cada estudo apresenta diferentes abordagens e cálculos, e procura estabelecer resultados a nível global e regional. De acordo com a autora, os métodos diferem, basicamente, em 4 aspectos, nos quais são classificados:

- Métodos hidrológicos: são baseados em um limite de vazão mínima anual, tal qual a $7Q_{10}$ (vazão mínima que ocorre em 7 dias consecutivos em uma década) e a Q_{90} (vazão existente em mais de 90% do tempo);
- Métodos de classificação hidráulica: utilizam instrumentos de medição de vazão, tal qual estações fluviométricas, sendo necessária uma estação de medição em campo em cada seção do rio;
- Métodos de simulação de habitat: utilizam das relações hidro-ecológicas para definir a necessidade do ecossistema, como por exemplo os parâmetros hidráulicos e as espécies de peixes existentes;
- Métodos holísticos: são uma combinação dos métodos anteriores, utilizando uma base de dados complexa e multidisciplinar.

Alguns exemplos existentes de métodos de quantificação da necessidade do ecossistema são o Variable Monthly Flow Method (VMF) ou método de variação mensal de vazão, o $Q_{90_Q_{50}}$, o método de Smakhtin, o Tennant e o Tessmann. Métodos como o VMF e o método Tessmann utilizam logaritmos que classificam o regime de vazão mensal em alto, médio e baixo, e consideram a necessidade do ecossistema como uma porcentagem da vazão média mensal disponível (PASTOR *et al.*, 2013). A autora também descreve outros métodos: o $Q_{90_Q_{50}}$, que considera as variações de EFRs de acordo com as temporadas do ano, ou seja, a necessidade do ecossistema é maior para períodos de baixa vazão (ou baixa pluviosidade), e menor para períodos de alta disponibilidade (períodos chuvosos); o método de Smakhtin, que foi o primeiro método de vazão ecológica a ser aplicado a modelos globais hidrológicos e classifica o corpo hídrico em virgem, bom, satisfatório e degradado; e o método de Tennant, que adota diferentes porcentagens de vazão para cada período do ano e define 7 classificações hidrológicas que variam de A (condições ecológicas ideais) a F (alta degradação).

3.4 Escassez Hídrica

A questão da escassez hídrica se tornou uma preocupação global a partir da crescente demanda humana por água, principalmente para o setor de agricultura e para as áreas urbanas. A água é um recurso vital para todos os ecossistemas terrestres e para a vida humana, e é essencial para diversas atividades econômicas. O seu uso pode acarretar em impactos na saúde humana, nos ecossistemas e nos recursos naturais. Esses impactos podem estar relacionados a diferentes fatores tais quais as funções da água, seu valor ecológico, taxa de renovação e a escassez hídrica (KOUNINA *et al.*, 2013).

A escassez hídrica pode ser definida como o uso ou consumo de água que se aproxima ou excede a capacidade natural de regeneração de um corpo hídrico (KOUNINA *et al.*, 2013). De acordo com a ISO 14046 (2014), a escassez hídrica ocorre em uma determinada região onde a demanda por água é comparada ao reabastecimento hídrico como, por exemplo, em uma bacia hidrográfica. Dentro do contexto de pegada hídrica, a escassez hídrica é considerada uma categoria de impacto.

De acordo com Kounina *et al.* (2013), entre os principais fatores que causam a escassez hídrica atualmente, podemos citar o crescente aumento da população mundial, o crescimento per capita de países em desenvolvimento e os efeitos das mudanças climáticas. A autora aponta um consumo mundial de água atual na média de 2.600 km³ por ano e Richter *et al.* (2012) constata um crescimento populacional anual no planeta de 80 milhões de pessoas, o que acarretaria em dois terços da população mundial vivendo em áreas de alto estresse hídrico em meados de 2025. De acordo com Kounina *et al.* (2013), as maiores retiradas de água, hoje, são provenientes de reservatórios que já se encontram em situação de alto estresse hídrico, o que torna o cenário global atual ainda mais crítico.

No Brasil, a situação de disponibilidade hídrica no país é relativamente boa, apresentando uma vazão média natural de 179.938 m³/s e uma disponibilidade hídrica superficial de 91.271 m³/s (ANA, 2013). O Brasil é um país rico em recursos hídricos, porém apresenta uma alta variação temporal e espacial das vazões disponíveis, de forma que algumas bacias se encontram em situações de alto estresse hídrico, um cenário causado em grande parte pela combinação de baixas disponibilidades e altas demandas hídricas nas regiões das bacias (ANA, 2005).

Essa crescente preocupação ambiental com o uso da água tem gerado cobranças aos governos e administradores a favor de políticas protecionistas que modifiquem o cenário atual e evitem cenários futuros críticos de escassez hídrica. A questão da água doce, apesar de ser um recurso local, pode gerar problemas a nível global, afetando toda a população do planeta (KOUNINA *et al.*, 2013). São necessárias políticas públicas e planos urbanos que protejam os reservatórios de água doce já existentes, de forma a preservar a qualidade e manter uma vazão sustentável para as futuras gerações.

3.4.1 Modelos de caracterização

A partir de iniciativas internacionais preocupadas com o uso da água na ACV, diversas metodologias científicas foram lançadas buscando quantificar o impacto da escassez hídrica na forma de diferentes modelos de caracterização. Esses modelos foram desenvolvidos com o objetivo de medir e avaliar as retiradas de água a nível global e regional. De acordo com Kounina *et al.* (2013), os primeiros e mais usuais estudos de ACV não consideravam o uso da água, e os métodos de AICV reportavam apenas o total hídrico consumida da natureza e, além disso, não utilizavam de fatores de caracterização para a análise dos impactos. A autora também aponta que apenas recentemente foram desenvolvidas novas metodologias de estudo onde se consideram inventários de uso da água e os impactos ambientais potenciais desses usos.

Os métodos existentes de estudo de escassez hídrica diferem entre si em vários aspectos, desde o inventário, escolha do banco de dados, até os impactos de midpoint e endpoint. Ainda, os modelos analisam o uso da água de diversas formas, com a utilização de diferentes índices, os chamados ‘water indexes’. Os índices de água, ou ‘water indexes’, são indicadores que quantificam as necessidades hídricas humanas e do ecossistema, podendo ser utilizados, dentro da ACV, como fatores de caracterização de modelos de avaliação de impacto midpoint e endpoint (KOUNINA *et al.*, 2013). De acordo com Kounina *et al.* (2013), os índices podem estar relacionados ao uso humano, ao uso do ecossistema, ou envolver as três áreas de proteção. Diversos autores procuraram representar quantitativamente o uso da água, utilizando diferentes abordagens para o cálculo dos índices, como pode ser visto na Tabela 2.

Tabela 2: Diferentes métodos de uso da água e seus índices.

Water Indexes	Métodos
Water resource per capita	Falkenmark et al. (1989)
Water resource per capita and HDI	Ohlsson (2000)
Basic water needs	Gleick (1996)
Withdrawal-to-availability	Smakhtin et al. (2004); Alcamo et al. (2003); Raskin et al. (1997); Seckler et al. (1998); Pfister et al. (2009); Frischknecht et al.(2006); Veolia (Bayart et al. submitted)
Consumption-to-availability	Hoekstra et al. (2011); Boulay et al. (2011b)
Water Poverty Index	Sullivan et al. (2003)
Sensitivity index (groundwater)	Döll (2009)

Fonte: Adaptado de Kounina *et al.* (2013)

As diferentes abordagens para os métodos envolvem conceitos de quantidade de água consumida per capita, e água consumida por IDH; necessidades básicas da água; as relações de retirada-disponibilidade, consumo-disponibilidade; o índice de pobreza da água; e o índice de sensibilidade, utilizado para águas subterrâneas. Os índices que consideram a relação de consumo, per capita, e IDH, refletem a situação socioeconômica da região em estudo, da mesma forma, a abordagem das necessidades básicas da água abrange uma realidade mais social, e o índice de sensibilidade trabalha com águas subterrâneas. Porém, para ser considerado um índice de escassez hídrica, o ‘water index’ precisa conter, unicamente, medidas de escassez, ou seja, relações de uso e disponibilidade da água, acrescidos ou não de medidas de qualidade (KOUNINA *et al.*, 2013). Para estes casos, apenas duas situações se aplicam: os métodos que utilizam os conceitos de withdrawal-to-availability, e consumption-to-availability, apresentando as relações de retirada-disponibilidade, e consumo-disponibilidade, respectivamente. Segundo Kounina *et al.* (2013) os índices utilizados em métodos de impacto midpoint são considerados fatores de caracterização para o uso da água na AICV, e têm como objetivo avaliar o impacto do consumo e da degradação da água. Entre os métodos de escassez hídrica abordados, merecem destaque aqui, os estudos de Hoekstra *et al.* (2011), que utiliza da relação consumo-disponibilidade e apresenta fatores em escala temporal mensal; Pfister et al. (2009), que inclui as águas cinzas dentro do conceito de usos consuntivos (água azul) os estudos de Smakhtin et al. (2004), Alcamo et al. (2003), Raskin et al.

(1997), Seckler et al. (1998); Frischknecht et al.(2006); Veolia (Bayart et al. submitted) , e o estudo de Boulay *et al.* (2011b) que utiliza dos conceitos de escassez hídrica, pela relação consumo-disponibilidade, juntamente com parâmetros de qualidade da água (KOUNINA *et al.*, 2013). Usualmente, a maioria desses métodos calculam os fatores de caracterização em nível de país, porém, alguns apresentam resultados em nível de bacia (como é o caso dos estudos de Frischknecht, Boulay e Pfister) e, ainda, por células-grade, como é o caso de Pfister et al. (2009).

4. METODOLOGIA

4.1 Área de Estudo

A região Nordeste do Brasil é notoriamente conhecida por seus períodos de seca e constante escassez de água. Mas ela não se limita à períodos secos. A região apresenta anos alternos de estiagem e de cheias causados, essencialmente, pela má distribuição de chuvas ao longo do território e do ano (CGEE/ANA, 2012). A maior parte de suas águas superficiais são advindas dessas chuvas que precipitam nas áreas das bacias do Nordeste. De acordo com CGEE/ANA (2012), o fator mais importante que influencia as chuvas no Nordeste brasileiro são os movimentos atmosféricos, causados pelas variações de temperatura dos oceanos Atlântico Tropical e Pacífico Equatorial. Grande parte da precipitação que cai na região Nordeste é perdida por evapotranspiração, e outra parte infiltra no solo, restando a porção que escoar e alimenta os corpos d'água de vazão intermitente.

A Região Hidrográfica do São Francisco (RHSF) é composta pela Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (BHSF), o maior rio 100% localizado em território brasileiro. O Rio São Francisco teve uma importante participação na história e no desenvolvimento econômico da região Nordeste, além de ser o principal fornecedor de água para a região do Semiárido. Além do seu grande volume e potencial hídrico, suas águas foram utilizadas como meio de transporte para embarcações, atividades econômicas e industriais tais quais pecuária, mineração e agricultura e foi, durante muito tempo, o principal meio de comunicação entre o Sudeste e o Nordeste brasileiro (CGEE/ANA, 2012). O rio nasce na Serra da Canastra, em Minas Gerais, e desemboca no Oceano Atlântico, entre os estados de Alagoas e Sergipe. A localização da RHSF no território brasileiro pode ser visto na Figura 4.

Figura 4: Regiões Hidrográficas do Brasil com destaque para a RHSF



Fonte: Elaborada pela autora (2017)

A BHSF ocupa uma área de drenagem de 638.576 km², que representa 8% da área terrestre do país, estando a maior parte dentro de dois estados brasileiros: 48,2% na Bahia e 36,8% em Minas Gerais (CGEE/ANA, 2012). De acordo com os autores, a BHSF também abrange os estados de Alagoas, Goiás, Pernambuco, Sergipe e o Distrito Federal, alcançando um total de 507 municípios. Para fins de planejamento, a BHSF foi dividida em quatro regiões, de acordo com o Plano Decenal de Recursos Hídricos (ANA, 2012): Alto São Francisco, Médio São Francisco, Submédio São Francisco e Baixo São Francisco, sendo a maior de todas a região do Médio São Francisco, que ocupa uma área de 266.972 km². Além destas, a bacia é dividida em 45 Unidades Hidrográficas Estaduais (UHE), também denominadas de Unidades Estaduais de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UEPGRH), que são regiões estrategicamente delimitadas com foco na gestão dos recursos hídricos, considerando aspectos geopolíticos e hidrográficos. As UHEs

foram criadas para auxiliar na gestão dos corpos hídricos pertencentes à bacias Estaduais e de domínio da União. A divisão da BHSF em regiões fisiográficas e geopolíticas pode ser vista na Figura 5.

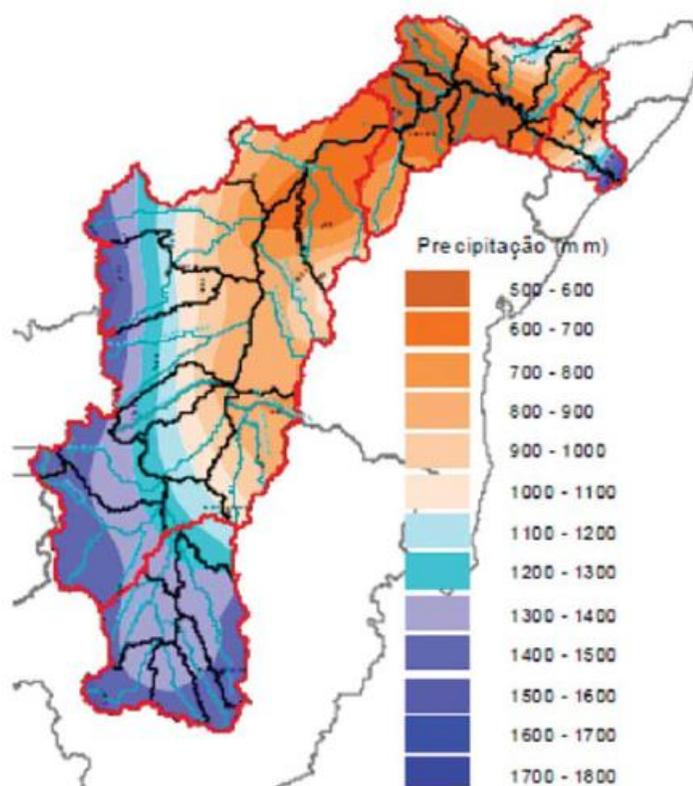
Figura 5: Divisões da BHSF.



Fonte: PBHSF (ANA/GEF/PNUMA/OEA, 2004)

Em relação aos aspectos naturais da bacia, mais da metade (57%) de sua área está compreendida no Semiárido, região de baixa precipitação e baixa disponibilidade hídrica (CGEE/ANA, 2012). A região do Semiárido abrange principalmente o Baixo, Submédio e o norte do Médio São Francisco e, de acordo com CGEE/ANA (2012), a precipitação média nesses locais pode chegar a menos de 600 mm por ano. Uma característica do Semiárido é a constante seca, causada em grande parte pelos elevados níveis de evaporação e pela má distribuição de chuva ao longo do ano. As chuvas se concentram em um período curto de 4 ou 3 meses, e são distribuídas irregularmente, como pode ser observado na Figura 6.

Figura 6: Precipitação na Bacia Hidrográfica do São Francisco



Fonte: CGEE/ANA (2012)

Os períodos chuvosos se concentram nos primeiros meses do ano, tendo ápice em meados de março, e os períodos de seca começam, em média, logo após o mês de julho. Considerando o balanço anual total de evaporação e precipitação, os valores médios indicam que o total precipitado basicamente se iguala a evaporação nas regiões do Semiárido, o que caracteriza as secas frequentes naquelas regiões.

O bioma predominante da bacia é o cerrado, mas a região também apresenta uma diversidade de vegetações passando pela Caatinga até a floresta semidecidual. Os níveis médios de temperatura na região da BHSF variam entre 18 e 27° C, transitando do clima úmido para o árido, das regiões mais altas para as mais baixas, respectivamente (CGEE/ANA, 2012).

Outro problema comum na região da BHSF são as enchentes, que ocorrem principalmente no Alto São Francisco, região de maior pluviosidade (na ordem de 1.400 mm de acordo com CGEE/ANA, 2012). As cheias são causadas em grande parte pelo processo de impermeabilização

resultante da urbanização, e pelo extravasamento das águas para o leito maior e planície de inundação. As áreas mais afetadas são as cidades situadas à beira do rio.

4.1.1 Demandas da RHSF

A Região Hidrográfica do São Francisco é a quarta maior região em termos de demandas hídricas do País, perdendo apenas para as regiões hidrográficas do Paraná, Atlântico Nordeste Oriental e Atlântico Sudeste (ANA, 2013). Considerando os usos consuntivos, de acordo com a Conjuntura dos Recursos Hídricos, as vazões de retirada na RHSF cresceram mais de 50% entre os anos 2006 e 2010, como pode ser visto na Tabela 3, fator ocasionado principalmente pelo aumento da demanda para irrigação.

Tabela 3: Vazões de retirada na Região Hidrográfica do São Francisco

Ano	Vazão de retirada (m ³ /s)					Total (m ³ /s)
	Demanda urbana	Demanda rural	Demanda animal	Demanda de irrigação	Demanda industrial	
2006	27,3	3,7	9,1	123,3	17,4	180,8
2010	31,3	3,7	10,2	213,7	19,8	278,8

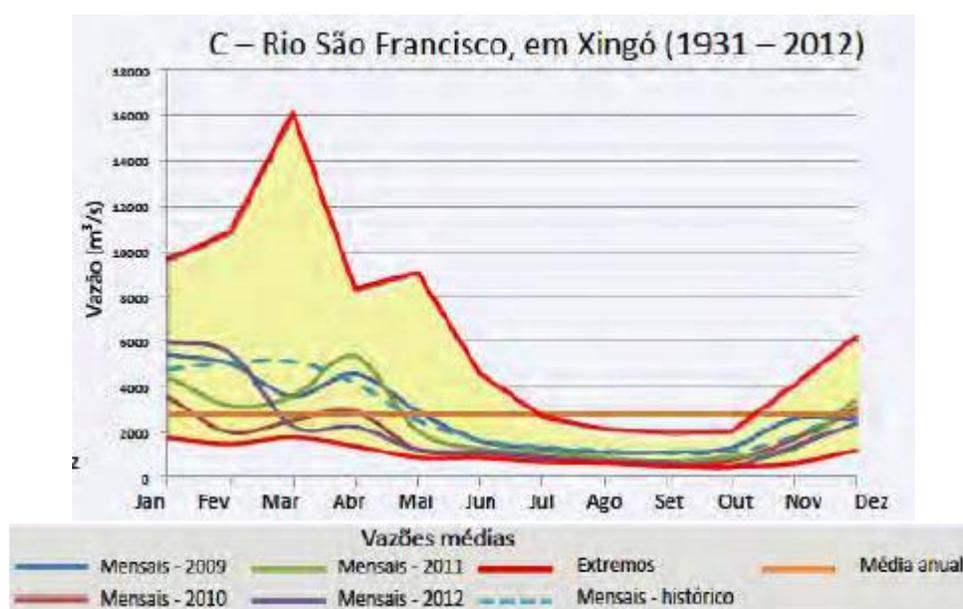
Fonte: Adaptado de ANA (2013)

De acordo com o Plano Decenal, 70% das demandas de água na Bacia Hidrográfica do São Francisco se destinam à irrigação, e grande parte das demandas urbanas e industriais se localizam na região do Alto São Francisco, onde há maior concentração de polos industriais. Essas regiões são causadoras de importantes impactos ambientais, já que tanto as residências quanto as indústrias depositam efluentes não tratados diretamente nas águas do rio. As atividades de mineração, concentradas principalmente na Região Metropolitana de Belo Horizonte, são responsáveis pela deposição de altas concentrações de componentes inorgânicos provenientes de extração e beneficiamento mineral (CGEE/ANA, 2012).

4.1.2 Disponibilidade da RHSF

De acordo com dados da Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil (ANA, 2013) a vazão natural média da RHSF é na ordem de 2.846 m³/s, enquanto a disponibilidade hídrica superficial total é de 1.886 m³/s. Essa diferença decorre das diferentes definições de vazão média natural e disponibilidade hídrica superficial. Sendo assim, a disponibilidade hídrica superficial leva em consideração as interferências humanas no uso da água e a vazão média natural é a originada na bacia hidrográfica, sem levar em consideração nenhuma retirada para consumo humano (ANA, 2013).

Figura 7: Hidrograma da Região Hidrográfica do São Francisco.



Fonte: Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil (ANA, 2013)

Como podemos ver na Figura 7, as variações das vazões médias no rio ao longo do ano condizem com as variações na precipitação. Os meses chuvosos concentrados entre fevereiro, março e abril coincidem com as maiores vazões disponíveis na bacia, enquanto os meses de agosto, setembro e outubro coincidem com vazões médias mais baixas.

Além de suprir 70% de toda a oferta de água da região Nordeste do país, a RHSF também incorpora o suprimento de energia elétrica da região, possuindo atualmente nove usinas hidrelétricas em funcionamento. É a terceira bacia que mais gera energia no país, com potencial

hidrelétrico instalado de 10.290 MW e representação de 13% do total nacional (CGEE/ANA, 2012).

4.2 Modelo AWARE

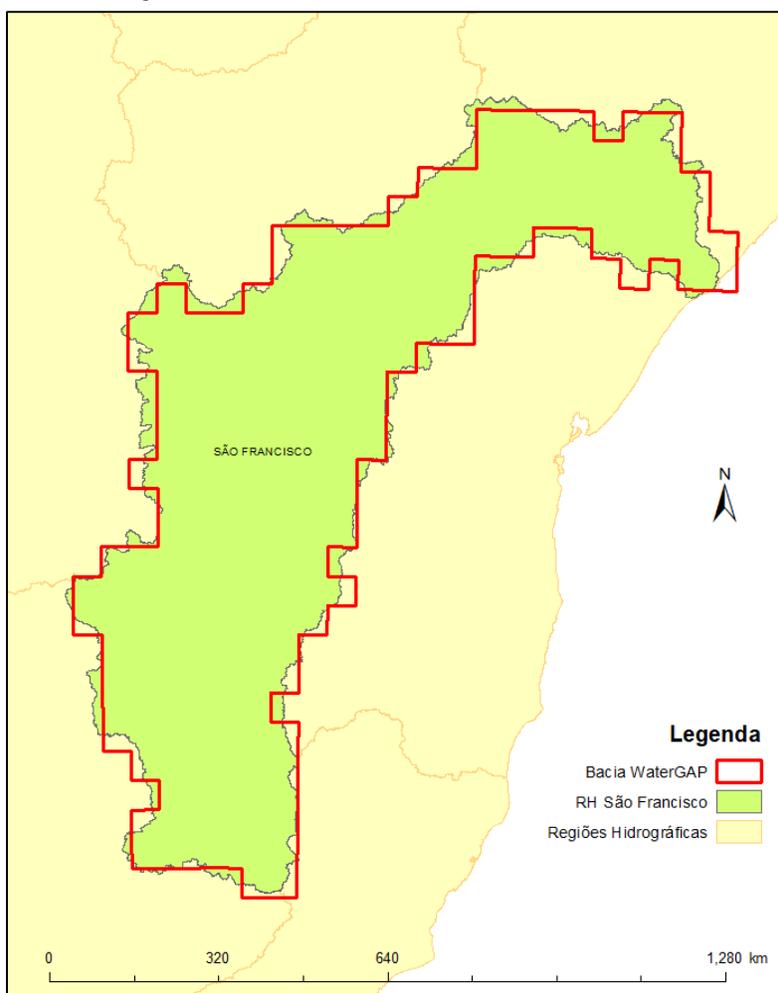
Com o objetivo de apresentar soluções para a problemática da escassez hídrica no mundo, várias iniciativas internacionais foram lançadas, entre as principais, a Water Footprint Network (WFN), a International Organization for Standardization (ISO) e a World Business Council for Sustainable Development (WBCSD 2010). Esta última, gerou o Global Water Tool e o United Nations Environment Programme (UNEP)/Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC) Life Cycle Initiative, uma parceria que fundou um grupo de profissionais e cientistas chamado “WULCA”, responsável por estudos na análise do uso e consumo de água doce dentro da Avaliação de Ciclo de Vida (KOUNINA *et al.*, 2012). O grupo WULCA, criado em agosto de 2007, trabalha no desenvolvimento de novas metodologias relacionadas ao uso da água dentro da perspectiva da ACV, desde a compilação do inventário de ciclo de vida (ICV) até a escolha dos métodos de avaliação de impacto de ciclo de vida (AICV), considerando os usos da água. Os estudos são realizados em parceria com instituições acadêmicas e setores industriais de todo o mundo, apresentando resultados considerados consenso nos parâmetros de padronização da ISO 14046 de pegada hídrica.

Available Water Remaining (AWARE) é um modelo de caracterização de escassez hídrica desenvolvido pelo grupo WULCA para avaliar o uso da água na ACV. De acordo com Boulay *et al.* (2017), o modelo foi desenvolvido após 8 anos de estudos na área e é considerado modelo consenso na avaliação de impactos potenciais de uso da água na ACV. O modelo AWARE é utilizado como indicador midpoint de uso da água, de forma a representar a ‘água disponível restante’ em uma bacia, por unidade de área. Essa ‘água restante’ calculada pelo modelo, seria a quantidade de água remanescente após retirar todas as demandas humanas e do ecossistema da vazão disponível de um corpo hídrico (Boulay *et al.*, 2015). O modelo fornece uma metodologia consenso para o cálculo de escassez hídrica, dentro do contexto da ISO 14046.

O modelo AWARE gera resultados em nível de bacias hidrográficas e em uma escala temporal mensal, podendo ser agregado a nível de país e em escala anual (UNEP/SETAC, 2016).

Nesse contexto, os limites espaciais das bacias hidrográficas são fornecidos pelo WaterGAP, banco de dados que fornece as entradas de informação de demanda e disponibilidade de água para o modelo. Para a região em estudo, a bacia do WaterGAP coincide quase que completamente com a bacia da RHSF (FIGURA 8). Para outras regiões e bacias hidrográficas, os limites espaciais podem diferir. As vazões utilizadas no cálculo do fator são apresentadas em $\text{m}^3/\text{mês}$ e a área, calculada em m^2 .

Figura 8: Limites da bacia do WaterGAP e da RHSF



Fonte: Elaborada pela autora (2017)

O cálculo do fator de caracterização do modelo, ou characterization factor (CF), a nível de bacia e em escala mensal (w_s, m), envolve as seguintes equações:

- $AMD_i = (\text{Disponibilidade} - \text{Demanda} - \text{Demanda}_{\text{ecos}}) / \text{Area} \quad [\text{m}^3/\text{m}^2 \text{ mês}] \quad (1)$

- $Ste_i = 1/AMD_i \quad (2)$

- $CF_{ws,m} = Ste_i / Ste_{global} = AMD_{global} / AMD_i$ [para Demanda < Disponibilidade] (3)

E apresenta as seguintes condicionais:

- $CF = Max = 100$, para Demanda \geq Disponibilidade ou $AMD_i < (AMD_{glob}/100)$
- $CF = Min = 0,1$ para $AMD_i > 10 \times AMD_{global}$

Onde i representa a região, no caso a bacia, e AMD_{global} é a média global de ‘água restante’, valor constante obtido no modelo para 11.050 sub-bacias e 12 meses de $0,0136 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{mês}$ (UNEP/SETAC, 2016). Podemos observar que o fator de caracterização é ponderado em relação à média global de AMD, por isso o resultado final é um fator adimensional, porém, a nível de compreensão, é expresso em m^3 global equivalente por m^3 da região. Os fatores também são corrigidos para pertencerem ao intervalo de 0,1 a 100, que seriam, respectivamente, níveis mínimos e máximos de estresse hídrico.

Diferentes tipos de agregação dos fatores também são calculados, levando em consideração a ponderação para demandas agrícolas (CF_{agri}), para demandas não agrícolas (CF_{non_agri}) e o $CF_{default}$, ponderado para a demanda total (considerando demandas agrícolas e não agrícolas). De acordo com UNEP/SETAC (2016), os cálculos são feitos para agregação de fatores da região i , para o nível do país, e/ou agregação de escalas temporais mensais para escalas anuais, de acordo com as equações:

1. Agregação de fatores regionais i , mensais, para fatores regionais i , anuais:

- $CF_{agri_{ws,y}} = (1/ C_{agr_{ws,y}}) \Sigma (CF_{ws,m} \cdot C_{agr_{ws,m}})$ (4)

- $CF_{non_agri_{ws,y}} = (1/ C_{non_agr_{ws,y}}) \Sigma (CF_{ws,m} \cdot C_{non_agr_{ws,m}})$ (5)

Para ws,y = fator resolvido em escala espacial da bacia, agregado em escala temporal anual;

ws,m = fator resolvido em escala espacial da bacia, calculado em escala temporal mensal;

$C_{ws,m}$ = consumo de água a nível de bacia em escala mensal.

2. Agregação de fatores regionais i , mensais, para fatores em escala de país, mensal:

- $CF_{agri_{c,m}} = (1/ C_{agr_{c,m}}) \Sigma (CF_{ws,m} \cdot C_{agr_{ws,m}})$ (6)

- $CF_{non_agri_{c,m}} = (1/ C_{non_agr_{c,m}}) \Sigma (CF_{ws,m} \cdot C_{non_agr_{ws,m}})$ (7)

Para c,m = fator agregado em escala espacial do país, resolvido em escala temporal mensal;

$C_{c,m}$ = consumo de água a nível do país, em escala mensal.

3. Agregação de fatores default, considerando demandas agrícolas e não agrícolas:

$$\bullet \quad CF_default_{c,m} = (1/ C_tot_{c,m}) \sum (CF_{ws,m} \cdot C_tot_{ws,m}) \quad (8)$$

$$\bullet \quad CF_default_{c,y} = (1/ C_tot_{c,y}) \sum (CF_default_{c,m} \cdot C_tot_{c,m}) \quad (9)$$

Para $default_{c,m}$ = fator agregado em escala espacial do país, resolvido em escala temporal mensal, considerando a demanda total de água;

$default_{c,y}$ = fator agregado em escala espacial do país, resolvido em escala temporal anual, considerando a demanda total de água;

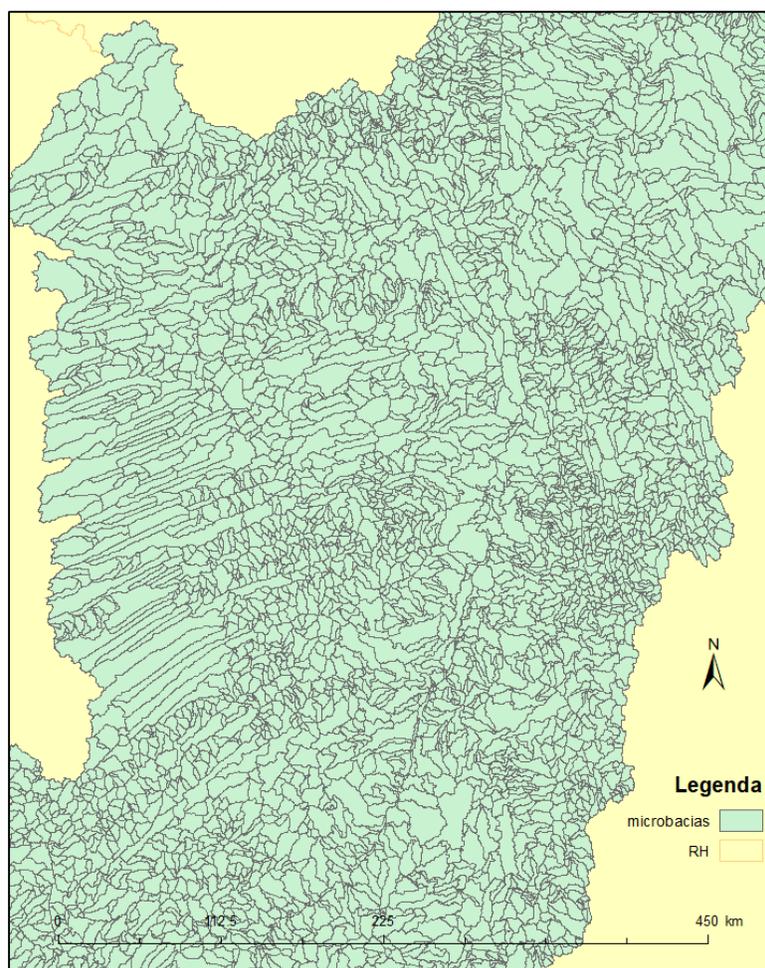
C_{tot} = consumo total de água (ambos agrícola e não agrícola).

4.3 Seleção do banco de dados

4.3.1 Demandas

O banco de dados de entrada de demandas hídricas para o presente trabalho foi disponibilizado pela Agência Nacional de Águas, na forma de arquivos georreferenciados. Dessa forma, foram consideradas as demandas hídricas consuntivas, divididas em: demandas urbana, rural, animal, industrial e irrigação. As demandas urbana, rural, animal e industrial são disponibilizadas em m^3/s e não variam ao longo do ano, ou seja, considera-se a vazão de consumo igual para todos os meses. Já a demanda de irrigação apresenta uma variação mês a mês decorrente da variação anual de precipitação, e também são disponibilizadas em m^3/s . Os arquivos são apresentados em escala espacial de microbacias ottocodificadas (FIGURA 9), regiões desenvolvidas a partir de trechos codificados pelo sistema Otto Pfafstetter, ou sistema de ottocodificação, Essas microbacias possuem um sentido de fluxo, condizendo com a topologia do terreno, e representam de forma coerente a rede hidrográfica, conforme o Manual de Construção da Base Hidrográfica Ottocodificada da ANA. A Tabela 4 traz uma compilação das demandas disponibilizadas pela Agência Nacional de Águas e utilizadas como parte do banco de dados de entrada para o presente estudo.

Figura 9: Delimitação das microbacias



Fonte: Elaborada pela autora (2017)

Tabela 4: Banco de dados de entrada de uso da água

Demandas Consuntivas (m ³ /s)	Escala Espacial	Variação mensal
Urbana	microbacias	Não
Rural	microbacias	Não
Animal	microbacias	Não
Industrial	microbacias	Não
Irrigação	microbacias	Sim

Fonte: Elaborada pela autora (2017)

4.3.2 Disponibilidade

Após diversas considerações e cálculos experimentais, foi determinado, para o presente estudo, que o banco de dados de entrada de disponibilidade hídrica seria aquele mesmo utilizado no modelo AWARE, ou seja, o banco de dados WaterGAP. Foi considerado, inicialmente, a utilização de um banco de dados regional, como o banco de dados da Agência Nacional de Águas, porém, os dados disponíveis não apresentaram resultados coerentes, nem condiziam com a realidade da bacia. O banco de dados da ANA disponibiliza vazões naturais Q95 (vazão presente em 95% do tempo) em nível de microbacias, em m³/s. Porém, o que se observou é que, quando somadas, as vazões acabavam superestimando a disponibilidade hídrica total da bacia. Em tese, as vazões por microbacias deveriam representar a disponibilidade hídrica pontual do trecho, sendo coerente somar as vazões de todas as microbacias de uma região, para obter-se a vazão total da região. Percebeu-se, porém, que os dados de vazão da ANA por microbacia estavam acumulados, de forma que um trecho apresentava a vazão acumulada dos trechos anteriores. Dessa forma, quando somadas, a vazão resultante da RHSF extrapolava, em muito, a vazão média total conhecida. Além disso, não foi possível encontrar um banco de dados regional de vazões mensais, tão necessárias para representar a variabilidade mensal existente na bacia, decorrente dos diferentes períodos chuvosos. O banco de dados disponível apresenta vazões médias anuais iguais, para todos os meses. Um cálculo experimental para os fatores de caracterização utilizando dados de disponibilidade natural média da ANA foi feito, em nível de Região Hidrográfica, considerando uma área de 6,36.10¹¹ m², como pode ser visto na Tabela 5.

Tabela 5: Cálculo experimental utilizando dados de disponibilidade hídrica da ANA.

	Q95nat (m ³ /s)	Animal (m ³ /s)	Industr (m ³ /s)	Rural (m ³ /s)	Urbana (m ³ /s)	Irrig (m ³ /s)	EWR (m ³ /s)	AMD _i (m/s)	CF
Jan	27315.34	8.983667	50.77388	4.032639	28.7711	61.85001	8948.1785	0.074179752	0.183338
Fev	27315.34	8.983667	50.77388	4.032639	28.7711	87.18532	8632.13999	0.075363774	0.180458
Marc	27315.34	8.983667	50.77388	4.032639	28.7711	62.90891	8486.05754	0.076057638	0.178812
Abr	27315.34	8.983667	50.77388	4.032639	28.7711	184.7311	9259.27294	0.072412189	0.187814
Mai	27315.34	8.983667	50.77388	4.032639	28.7711	266.1071	12985.632	0.056903449	0.239001
Jun	27315.34	8.983667	50.77388	4.032639	28.7711	261.3851	14310.1257	0.051528076	0.263934
Jul	27315.34	8.983667	50.77388	4.032639	28.7711	272.2841	14549.2442	0.050509766	0.269255
Agos	27315.34	8.983667	50.77388	4.032639	28.7711	319.4687	15037.9157	0.048327248	0.281415
Set	27315.34	8.983667	50.77388	4.032639	28.7711	319.9535	15248.3531	0.04746817	0.286508
Out	27315.34	8.983667	50.77388	4.032639	28.7711	247.5038	13708.5052	0.054034988	0.251689
Nov	27315.34	8.983667	50.77388	4.032639	28.7711	109.744	10300.9162	0.06847504	0.198613
Dez	27315.34	8.983667	50.77388	4.032639	28.7711	76.7088	8850.253	0.074518079	0.182506

Fonte: Elaborada pela autora (2017).

Como podemos observar, os fatores de caracterização encontrados são inconsistentes com a realidade da bacia. São fatores que beiram a escassez nula e apresentam pouca ou quase nenhuma variabilidade mensal. A vazão média natural calculada para a BHSF, utilizando o banco de dados da ANA, foi de 27.315,34 m³/s, valor bem distante da média apresentada pela Conjuntura, de 2.846 m³/s. Todos esses fatores levou a uma escolha de banco de dados diferente. Dessa forma, pela falta de um banco de dados regional consistente, a disponibilidade hídrica considerada neste estudo será a mesma disponibilizada pelo banco de dados utilizado no modelo AWARE.

As vazões médias naturais do banco de dados do WaterGAP são disponibilizadas em nível de bacia hidrográfica e calculadas segundo um Modelo Global Hidrológico de Döll, Kaspar e Lehner (2003). O modelo simula o comportamento do ciclo de água terrestre, em macro-escala, tirando proveito de todas as informações pertinentes disponíveis mundialmente (DÖLL; KASPAR e LEHNER, 2003). Ainda, o modelo computa o balanço hídrico considerando características fisiográficas das bacias de drenagem, como solo vegetação e declive, as entradas a montante, a extensão e influência hidrológica dos lagos e reservatórios e também considera as alterações causadas no escoamento (DÖLL; KASPAR e LEHNER, 2003). Para a bacia hidrográfica do São Francisco, as vazões do WaterGAP podem ser vistas na Tabela 6, na coluna de Avail_Nat. As vazões são apresentadas em km³/mês, e os dados são disponibilizados na forma de arquivos texto, não estando acoplados a nenhum arquivo georreferenciado. O banco de dados do WaterGAP é disponibilizado online na página do grupo WULCA.

Tabela 6: Vazões médias naturais do WaterGAP para a RHSF

Mês	BASIN0_ID	Avail_Nat (km ³ /mês)
Jan	57622	5.35312
Fev	57622	9.66371
Marc	57622	12.88899
Abr	57622	13.04138
Mai	57622	11.52252
Jun	57622	9.67343
Jul	57622	7.68366
Agos	57622	4.80934
Set	57622	2.64579
Out	57622	1.55871
Nov	57622	1.24732

Dez

57622

1.7424

Fonte: Adaptado de MÜLLER SCHMIED *et al.* (2014) (WaterGAP)

Os limites espaciais do WaterGAP são definidos por bacias numeradas em todas as regiões do mundo. A bacia referente à RHSF foi identificada para o presente estudo, e possui código 57622, e limite espacial condizente com a Figura 8, apresentada anteriormente. A partir desse código, ou do BASIN ID da bacia, é possível identificar os dados de entrada utilizados pelo modelo AWARE para a região desejada.

4.3.3 Necessidade do Ecossistema

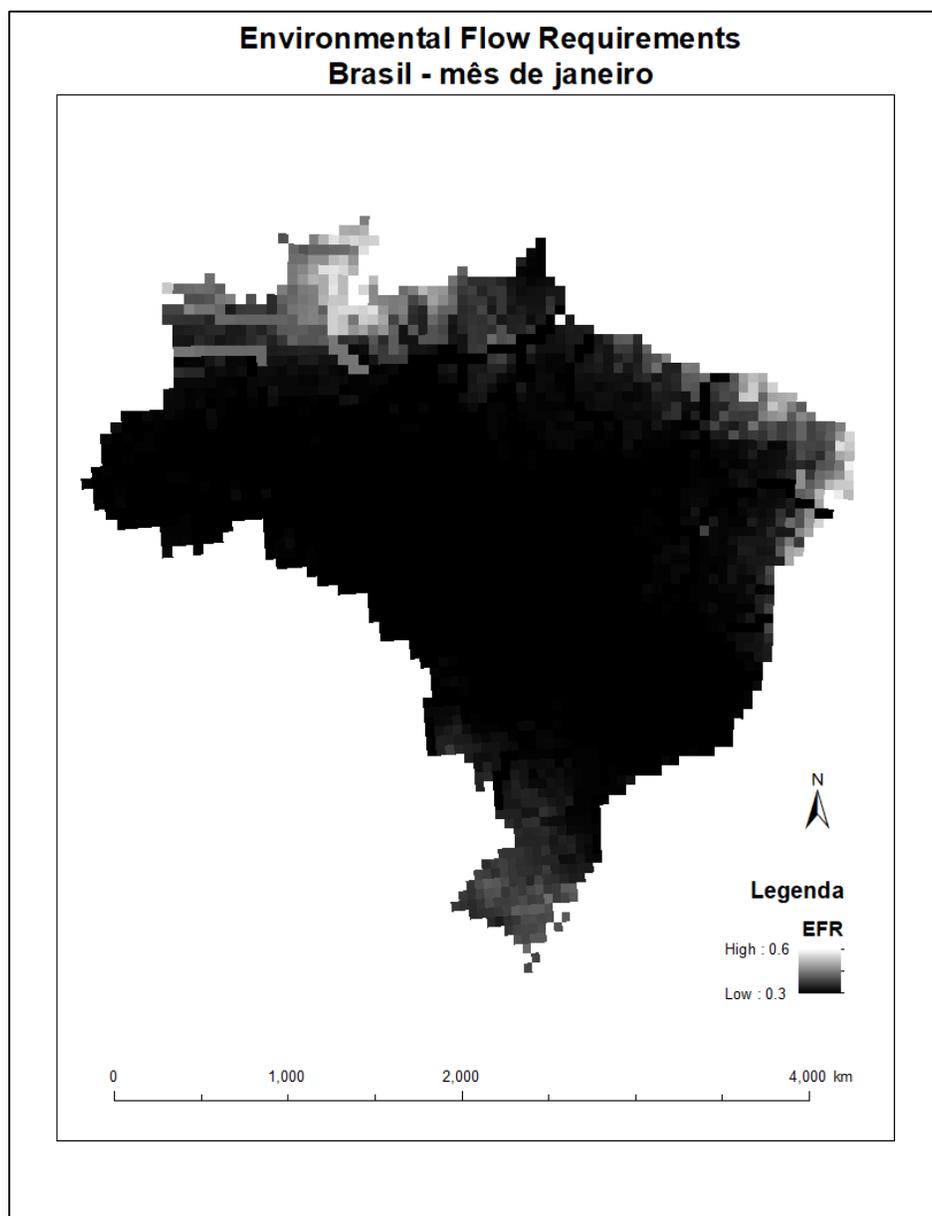
De acordo com o modelo AWARE, a necessidade do ecossistema é de extrema importância para o cálculo dos fatores de caracterização de escassez hídrica. Ela entra, aqui, como um dado a mais de demanda, porém, diferente das demandas humanas, a demanda do ecossistema é a quantidade necessária de água para manter a qualidade dos ecossistemas aquáticos.

Para determinar a demanda do ecossistema para o presente estudo, foi adotado um modelo hidrológico de vazão ecológica mensal, disponibilizado por Pastor *et al.* (2013), que quantifica a necessidade do ecossistema como uma fração da vazão total disponível do corpo hídrico. Pastor *et al.* (2013) valida o modelo por meio de estudos de caso em 5 diferentes habitats e ecossistemas, e considera que há uma vazão mínima necessária para manter os ecossistemas aquáticos em uma condição justa, que seria um estado mediano entre o bom e o ruim de um corpo hídrico (Boulay *et al.*, 2017). O modelo é utilizado como parâmetro para a determinação da demanda do ecossistema nos cálculos do AWARE, e adota uma faixa entre 30 a 60 por cento da disponibilidade total do rio, seguindo as variabilidades sazonais das vazões, da seguinte forma: 60% para períodos de baixa disponibilidade; 45% para períodos de vazão intermediária; e 30% aplicados para períodos de altas vazões (Boulay *et al.*, 2017).

Para fins de aplicabilidade no presente estudo, a autora disponibilizou, de forma solícita, os dados de environmental flow requirements (EFRs) do modelo desenvolvido em Pastor *et al.* (2013), na forma de um mapa raster para todo o globo terrestre. Um mapa raster é um mapa de imagens que contém a descrição de cada pixel que, no caso do modelo apresentado, representa a quantificação da necessidade do ecossistema, na forma de um percentual.

O Mapa 1 apresenta um exemplo de parte do mapa raster disponibilizado por Pastor *et al.* (2013), já recortado para os limites do Brasil, onde podemos visualizar os pixels que variam de 0.3 a 0.6, em uma escala de cores do branco ao preto, respectivamente. Foram disponibilizados 12 mapas no total, um para cada mês do ano.

Mapa 1: Arquivo raster de EFR para o Brasil no mês de janeiro

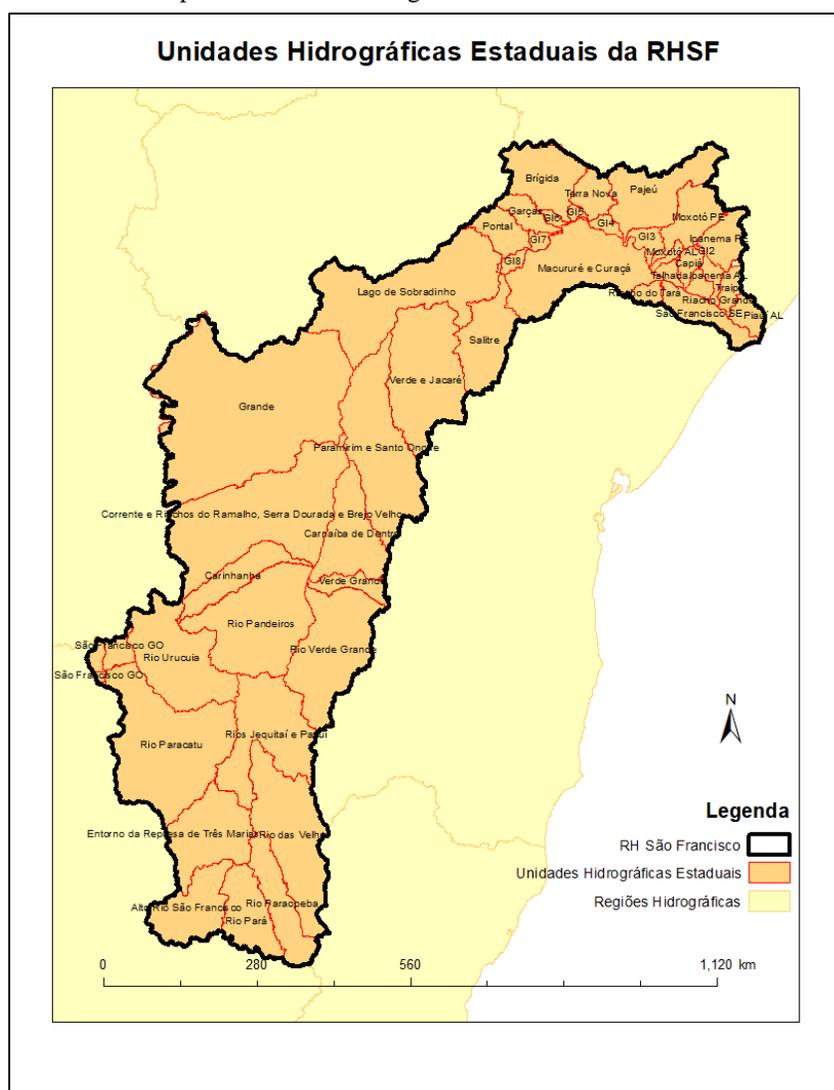


Fonte: Elaborada pela autora (2017)

4.4 Manipulação dos Dados

Após a coleta de todos os dados de entrada necessários para o cálculo dos fatores de caracterização regionalizados, o próximo passo é a organização e manipulação destes dados para uma escala espacial em comum, adotada no estudo. O objetivo da regionalização é gerar fatores em nível de UHEs, para toda a Região Hidrográfica do São Francisco (Mapa 2). A gestão dos dados foi feita de forma georreferenciada e executada na plataforma ArcGIS, de tal forma que todos os arquivos trabalhados nesse estudo foram projetados para o sistema de referência SIRGAS 2000 UTM Zone 23S. A Tabela 7 mostra uma compilação de todos os dados de entrada adquiridos.

Mapa 2: Unidades Hidrográficas Estaduais da RHSF.



Fonte: Elaborada pela autora (2017)

Tabela 7: Resumo do banco de dados de entrada

Dados de entrada	Unidade	Escala temporal	Escala Espacial	Fonte
Demanda humana				
<ul style="list-style-type: none"> • Animal • Rural • Urbana • Industrial • Irrigação 	m ³ /s	<ul style="list-style-type: none"> • Média anual • Média anual • Média anual • Média anual • Mensal 	microbacia	Metadados Agência Nacional de Águas
Disponibilidade Hídrica	km ³ /mês	Mensal	Bacia Hidrográfica	MÜLLER SCHMIED <i>et al.</i> (2014) (WaterGAP)
Demanda do Ecossistema	%	Mensal	Células-grade (pixels)	Pastor et al (2013)

Fonte: Elaborada pela autora (2017)

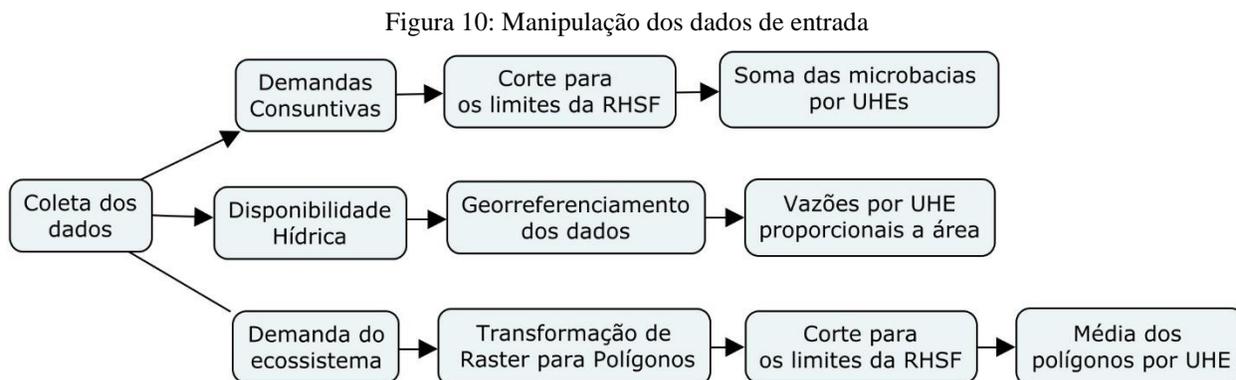
Os primeiros dados trabalhados foram as demandas consuntivas disponibilizadas pela Agência Nacional de Águas. Os arquivos são fornecidos em nível espacial de microbacia para todo o Brasil, sendo necessário o corte de cada demanda para o limite espacial estudado, que no caso é a Região Hidrográfica do São Francisco. Além dos arquivos de demanda, também foram utilizados os arquivos de limites espaciais de Regiões Hidrográficas e Unidades Hidrográficas Estaduais, também adquiridas online pela página de metadados da Agência Nacional de Águas. Após o corte espacial das demandas para a RHSF, agregou-se as vazões de demandas para as UHEs, somando os dados das microbacias localizadas dentro de cada unidade hidrográfica. A ferramenta utilizada nesse processo foi a *Join Data based on spatial location* com a opção de soma para os atributos.

O próximo passo é a manipulação dos dados de entrada de disponibilidade hídrica mensal. Para o WaterGAP, os dados de vazão de entrada já são fornecidos em nível de bacias hidrográficas, porém, esses dados estão disponíveis em arquivos de leitura, sendo necessário importa-los para o ArcMap, e incorporá-los ao seu arquivo georreferenciado correspondente, ou seja, ao arquivo da

RHSF. Após o georreferenciamento dos dados, considerou-se a vazão da bacia igualmente distribuída para todas as UHEs, diretamente proporcional a área de cada uma, de forma que a soma das vazões de cada UHE represente a vazão total da bacia. Assim, gerou-se um arquivo de disponibilidade hídrica mensal em escala espacial de UHE.

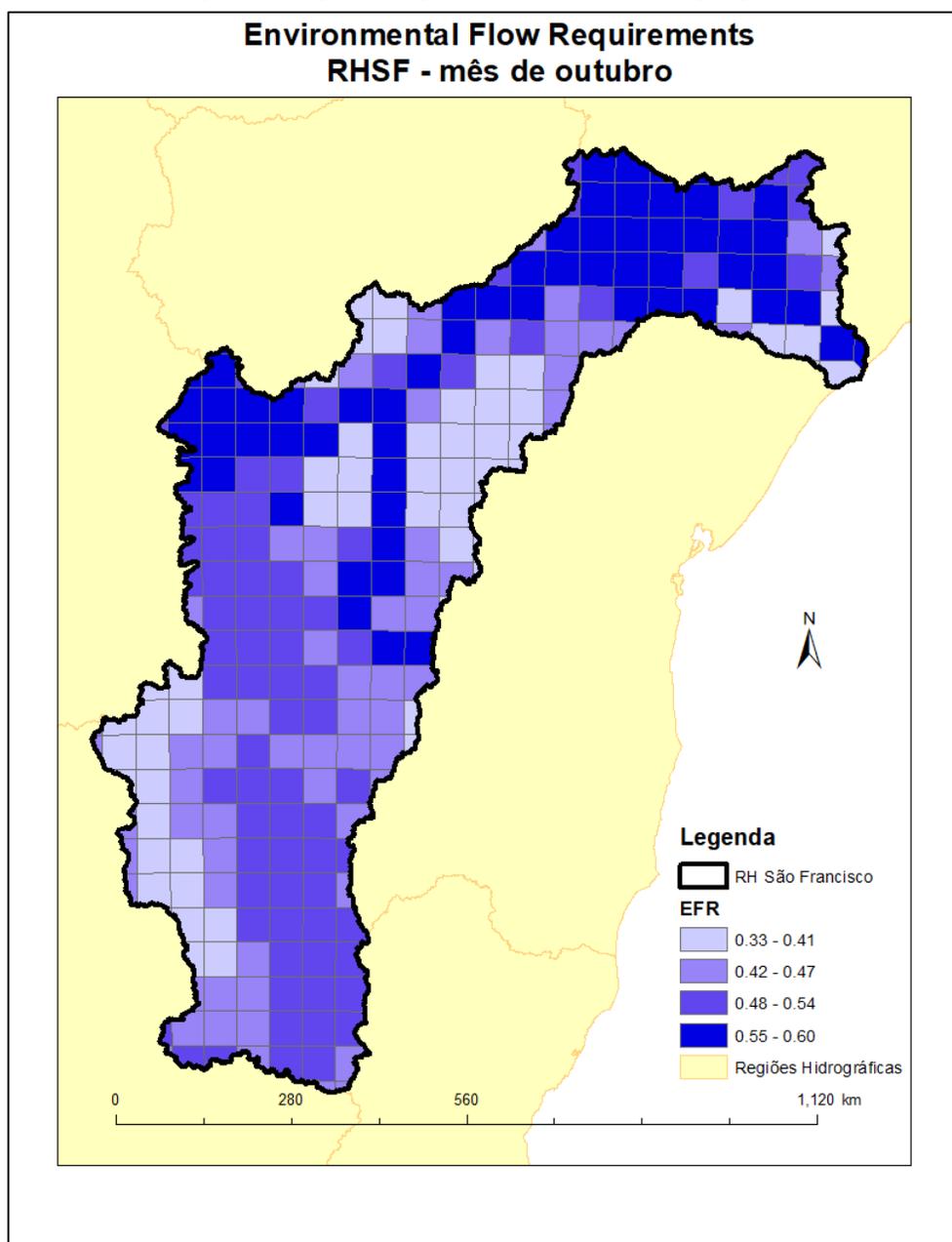
Finalmente, a manipulação dos mapas raster de demanda do ecossistema envolveu, primeiramente, a transformação do arquivo raster para polígonos. Esse processo foi executado com as ferramentas *Raster to Point* e *Thiessen Polygons* e, na sequência, foi feito o recorte para a RHSF. Obtiveram-se, assim, 12 mapas em célula-grade, onde cada polígono contém a informação de quantificação da necessidade do ecossistema, variando de 0,3 a 0,6. O Mapa 3 exemplifica a transformação de raster para polígonos, para o mês de outubro, na escala espacial da RHSF. A próxima etapa é transformar essa informação para os limites das unidades hidrográficas desejados para o estudo. Para isso, utilizou-se a ferramenta *Join Data based on spatial location* com a opção de média para os atributos. Essa ferramenta possibilita calcular a média dos polígonos que caem dentro de cada UHE, de forma a obter um valor de EFR mensal para cada unidade hidrográfica.

A Figura 10 mostra uma compilação do passo a passo da manipulação dos dados de entrada do estudo, até o limite espacial de UHEs. Por fim, todos os dados foram reunidos para as 45 Unidades Hidrográficas Estaduais, em uma mesma tabela de atributos, facilitando o gerenciamento dos dados e posterior cálculo dos fatores.



Fonte: Elaborada pela autora (2017)

Mapa 3: Exemplo de mapa raster transformado em polígonos.



Fonte: Elaborado pela autora (2017)

4.5 Cálculo dos Fatores

O cálculo dos fatores foi executado em parte pela plataforma ArcGIS, e em parte com o auxílio do software Microsoft Office Excel. As devidas transformações de unidades foram feitas para os dados de entrada, de forma que todas as vazões estejam em m^3/s . Posteriormente, foi necessário calcular a área de cada UHE, em m^2 , procedimento executado no ArcMAP pela função

Calculate Geometry e a opção Area. Após isso, a tabela contendo todos os dados de entrada foi exportada para o Excel, onde os fatores de caracterização foram calculados, obedecendo o passo a passo de equações do modelo AWARE, ponderados em relação à AMD global, e corrigidos para o intervalo de 0,1 a 100. Para o presente estudo, o AMD global utilizado foi o mesmo levantado e adotado no modelo AWARE.

Primeiramente, a demanda do ecossistema foi quantificada pela multiplicação do valor de EFR de cada UHE pela vazão de disponibilidade da unidade hidrográfica, de acordo com a fórmula:

$$\bullet \quad Dem, ecos = avail_nat * EFR \quad (10)$$

Os primeiros cálculos dos fatores envolvem fatores de caracterização em nível de bacia e em escala mensal (ws, m). Visando o processo de regionalização, o presente estudo considerou a mesma equação, porém, aplicada em nível de unidade hidrográfica, e escala mensal (ue, m).

Outras considerações foram feitas referentes ao cálculo dos fatores. Como os dados de entrada no presente estudo apresentam unidade de m^3/s , o cálculo de AMD e AMDi gerarão resultados em m^3/s e m/s , respectivamente. Para atender às unidades do fator de caracterização do modelo AWARE, a equação para AMDi foi acrescida de uma multiplicação no valor de 2592000, necessária para transformar as unidades de m/s para $m/mês$. Dessa forma, o cálculo de AMDi, para o presente estudo, utilizou a seguinte equação:

$$\bullet \quad AMDi = \frac{AMD}{Area} * 2592000 \quad (11)$$

As próximas equações envolvem a agregação dos fatores ponderadas em relação às demandas de irrigação (CF_agri), de não irrigação (CF_non_agri), e em relação às demandas totais (CF_default). Aqui, as seguintes considerações foram feitas: o ws , que representa a bacia hidrográfica no modelo, passa a ser ue (unidade hidrográfica); e o fator c que representa a escala espacial de país no modelo, passa a ser rh (região hidrográfica). Todos os demais parâmetros foram adotados tal qual as equações do modelo AWARE.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Uma compilação dos resultados dos cálculos dos fatores regionalizados (CF) em nível de unidade hidrográfica e escala temporal mensal, para as UHEs da Região Hidrográfica do São Francisco, pode ser vista nas Tabelas 8 e 9.

Tabela 8: Fatores regionalizados por UHE de janeiro a junho

Nome UHE	CF1	CF2	CF3	CF4	CF5	CF6
Capiá	2.724997	1.37458	0.99698	0.993309	1.282428	1.70134
Moxotó AL	3.042011	1.492636	1.054113	1.052634	1.38316	1.902988
Talhada	3.369788	1.532662	1.061384	1.073091	1.419061	1.904866
Riacho Grande	3.049799	1.47256	1.070257	1.037891	1.416867	2.03166
Traipu	2.946706	1.446882	1.039843	0.99156	1.259553	1.69669
Piauí AL	100	100	5.151988	1.661038	1.694908	2.33973
Ipanema AL	3.384329	1.529553	1.083263	1.030602	1.247593	1.576305
Alto Rio São Francisco	2.70606	1.399163	1.034383	1.22826	1.766021	2.652431
Rio Pará	100	3.054952	1.742425	2.89993	10.18438	100
Rio das Velhas	2.912345	1.471891	1.075889	1.289417	2.257372	2.976282
Rio Paraopeba	100	3.514294	1.882053	3.373238	54.7692	100
Entorno da Represa de Três Marias	2.508995	1.3631	1.00726	1.276229	2.131626	3.194404
Rio Paracatu	2.358338	1.320589	0.985316	1.29108	2.813428	4.059271
Rio Urucuia	2.339134	1.31954	0.983018	1.12018	2.388563	3.116937
Rio Pandeiros	2.460469	1.389995	1.024188	1.17149	2.353633	2.890069
Rio Verde Grande	2.619198	1.486846	1.082491	1.317293	2.632161	3.270898
Rios Jequitai e Pacuí	2.37777	1.342548	0.997362	1.170078	2.126015	2.613627
Pajeú	2.634238	1.334069	0.976967	0.970525	1.199125	1.624676
Terra Nova	2.744847	1.405769	1.008454	1.020852	1.436463	2.329148
Garças	2.420892	1.328466	0.973442	0.973657	1.436254	2.152029
Pontal	5.092219	1.888975	1.126322	1.293613	3.0796	7.082273
G13	3.413165	1.577611	1.074798	1.113863	1.634422	2.204164
G14	4.232142	1.846591	1.088875	1.20531	2.477457	3.774919
G15	100	13.91072	1.886877	3.705976	100	100
G16	11.01668	5.418597	1.618068	1.861338	100	100
G17	3.430634	1.726867	1.071009	1.183226	2.1846	3.994309
G18	100	100	100	100	100	100
Verde Grande	2.402428	1.341201	1.011301	1.188188	1.993047	2.406363
Carinhanha	2.406481	1.340196	1.004035	1.096104	2.064747	2.556994
Carnaíba de Dentro	2.4307	1.333399	0.999574	1.070069	1.871981	2.382525
Paramirim e Santo Onofre	2.405821	1.324588	0.988717	1.028301	1.628294	2.197369
Verde e Jacaré	2.415222	1.327352	0.98252	1.01859	1.56253	2.088114
Riacho do Tará	2.828428	1.444746	0.999417	0.99418	1.156044	1.396565
Salitre	2.471719	1.342814	0.982974	0.998031	1.398543	1.638201
Lago de Sobradinho	2.562303	1.363095	0.992967	1.027296	1.603322	2.200266
Macururé e Curaçá	4.088542	1.739664	1.09201	1.200572	1.877096	2.807095

Continuação

Nome UHE	CF1	CF2	CF3	CF4	CF5	CF6
Corrente e Riachos do Ramalho, Serra Dourada e Brejo Velho Grande	2.413596	1.338001	0.998836	1.099284	2.291286	3.039507
São Francisco SE	9.075757	2.142679	1.315622	1.131191	1.364706	1.768987
Afluentes do Rio Preto	2.335114	1.29088	0.963786	1.278938	100	100
São Francisco GO	2.340017	1.296735	0.969956	1.191454	6.374868	100
Ipanema PE	3.123227	1.44292	1.030154	0.993808	1.179177	1.452039
Moxotó PE	2.764567	1.356802	0.983154	0.97184	1.177818	1.494152
Brígida	2.594847	1.405778	1.000775	1.007744	1.393016	2.49604
GI2	3.254204	1.469464	1.030189	1.014615	1.170305	1.3873

Fonte: Elaborada pela autora (2017)

Tabela 9: Fatores regionalizados por UHE de julho a dezembro

Nome UHE	CF7	CF8	CF9	CF10	CF11	CF12
Capiá	2.160462	3.991423	10.14092	25.91345	27.35707	10.80992
Moxotó AL	2.48022	5.052249	24.87201	100	100	22.66754
Talhada	2.490492	5.242513	77.00934	100	100	100
Riacho Grande	2.654611	4.827661	13.83134	100	100	20.9674
Traipu	2.160248	3.64362	8.636493	21.77202	42.10172	13.37809
Piauí AL	3.699606	100	100	100	100	100
Ipanema AL	2.029036	3.730465	10.65443	33.28795	100	21.24666
Alto Rio São Francisco	3.890087	8.508468	18.59133	65.0819	31.27603	12.85801
Rio Pará	100	100	100	100	100	100
Rio das Velhas	3.828324	9.654403	71.60227	100	100	19.32694
Rio Paraopeba	100	100	100	100	100	100
Entorno da Represa de Três Marias	4.844309	22.603	100	100	15.9134	9.354029
Rio Paracatu	7.699513	100	100	100	11.3034	7.549081
Rio Urucuia	4.490472	14.26383	100	51.07743	10.65123	7.348179
Rio Pandeiros	3.814762	10.35066	100	100	14.63307	7.631033
Rio Verde Grande	4.34444	22.24639	100	100	24.29836	9.160651
Rios Jequitaiá e Pacuí	2.934292	6.93021	21.8187	31.3848	11.59068	7.717287
Pajeú	2.411455	4.215171	9.54995	18.22975	18.78263	9.398523
Terra Nova	3.518059	7.450841	47.55687	100	100	16.15487
Garças	2.829003	4.911095	8.386436	20.29315	14.89977	8.429895
Pontal	64.31788	100	100	100	100	100
GI3	3.201976	11.2263	100	100	100	100
GI4	10.12875	100	100	100	100	100
GI5	100	100	100	100	100	100
GI6	100	100	100	100	100	100
GI7	8.917207	100	100	100	100	100
GI8	100	100	100	100	100	100
Verde Grande	3.110057	5.412058	10.51008	17.07731	11.91582	7.689279
Carinhanha	3.357812	6.111668	17.3571	24.06692	12.48029	7.860126

Continuação

Nome UHE	CF7	CF8	CF9	CF10	CF11	CF12
Carnaíba de Dentro	3.060301	5.125346	10.0998	16.07099	12.7617	8.131682
Paramirim e Santo Onofre	2.874356	4.882446	9.907592	13.46816	12.25458	7.763294
Verde e Jacaré	2.763832	4.487721	8.490519	11.8442	12.32622	7.859971
Riacho do Tará	1.822225	3.288689	9.782896	25.95816	91.40402	13.71536
Salitre	2.393094	4.655772	9.381206	15.32974	14.82609	8.646795
Lago de Sobradinho	2.966605	5.861878	18.16881	53.35123	28.63498	10.69365
Macururé e Curaçá	5.775083	100	100	100	100	100
Corrente e Riachos do Ramalho, Serra Dourada e Brejo Velho	4.20831	11.17747	100	100	12.96663	7.632611
Grande	4.776949	13.37556	100	100	11.6178	7.404559
São Francisco SE	2.367651	6.450361	100	100	100	100
Afluentes do Rio Preto	100	100	100	100	10.61326	7.312344
São Francisco GO	100	100	100	100	10.91518	7.38227
Ipanema PE	1.84074	3.303596	7.889598	16.13374	30.43855	11.06345
Moxotó PE	1.957434	3.57012	8.131578	14.0601	17.05632	8.923089
Brígida	3.485224	7.511879	73.38819	100	100	21.25501
GI2	1.763077	3.503371	11.54014	27.20126	36.62389	12.66183

Fonte: Elaborada pela autora (2017)

Os dados georreferenciados foram manipulados para a geração de mapas que permitem a melhor visualização e distribuição dos resultados ao longo da bacia. Foram montados 12 mapas, mostrados nos Mapas 4 a 15, apresentando os fatores de caracterização mensais de escassez hídrica regionalizados para as UHEs. Para o presente estudo, foram consideradas as seguintes faixas de estresse hídrico, objetivando uma melhor visualização e entendimento dos fatores nos mapas: fatores menores que 10 relatam baixo estresse hídrico; fatores entre 10 e 50 relatam médio estresse; fatores entre 50 e 80 representam estresse hídrico alto; e fatores acima de 80 representam um estresse hídrico muito alto.

Também foram calculados os fatores de caracterização agregados, ponderados em relação às demandas. Esses fatores são divididos em:

- $CF_AGRI_{uhe,ano}$ = Fatores agregados em nível de unidade hidrográfica, em escala anual, ponderados em relação à demanda de irrigação;
- $CF_NON_AGRI_{uhe,ano}$ = Fatores agregados em nível de unidade hidrográfica, em escala anual, ponderados em relação às demandas de não irrigação (demanda total menos demanda de irrigação);
- $CF_AGRI_{rh,mês}$ = Fatores agregados em nível de região hidrográfica, em escala mensal, ponderados em relação à demanda de irrigação;

- $CF_NON_AGRI_{rh,mês}$ = Fatores agregados em nível de região hidrográfica, em escala mensal, ponderados em relação às demandas de não irrigação (demanda total menos demanda de irrigação);
- $CF_DEFAULT_{rh,mês}$ = Fatores agregados em nível de região hidrográfica, em escala mensal, ponderados em relação à demanda total;
- $CF_DEFAULT_{rh,ano}$ = Fatores agregados em nível de região hidrográfica, em escala anual, ponderados em relação à demanda total.

Os fatores agregados em escala anual por UHE foram organizados, também, em formato de mapas para melhor visualização da distribuição espacial dos fatores. Os fatores para $CF_AGRI_{uhe,ano}$ pode ser visto no Mapa 16 e os fatores para $CF_NON_AGRI_{uhe,ano}$ pode ser visto no Mapa 17.

Para os fatores agregados em nível de região hidrográfica e escala mensal, alguns gráficos foram montados mostrando a variabilidade da escassez ao longo do ano, para a RHSF. O Gráfico 1 mostra a variação de $CF_AGRI_{rh,mês}$, o Gráfico 2 mostra a variação de $CF_NON_AGRI_{rh,mês}$ e o Gráfico 3 traz uma compilação dos fatores mensais $CF_DEFAULT_{rh,mês}$. Podemos perceber claramente nos gráficos a variação mensal dos fatores condizendo com a variação temporal de precipitação: os meses chuvosos apresentam altas vazões nos rios, conseqüentemente, os fatores de caracterização de escassez hídrica reportam um baixo estresse; enquanto os meses secos, quando os rios estão com baixa vazão, apresentam fatores de caracterização elevados, que representam uma alta escassez hídrica na RHSF.

A última agregação envolve a geração de um fator único para toda a região hidrográfica, em escala anual, que seria o $CF_DEFAULT_{rh,ano}$. O valor encontrado para este, seguindo as devidas equações, foi de 46.4326869, que representa uma média da escassez hídrica em toda a RHSF. O valor relata uma situação de estresse hídrico de nível médio como o resultado da média anual total da região.

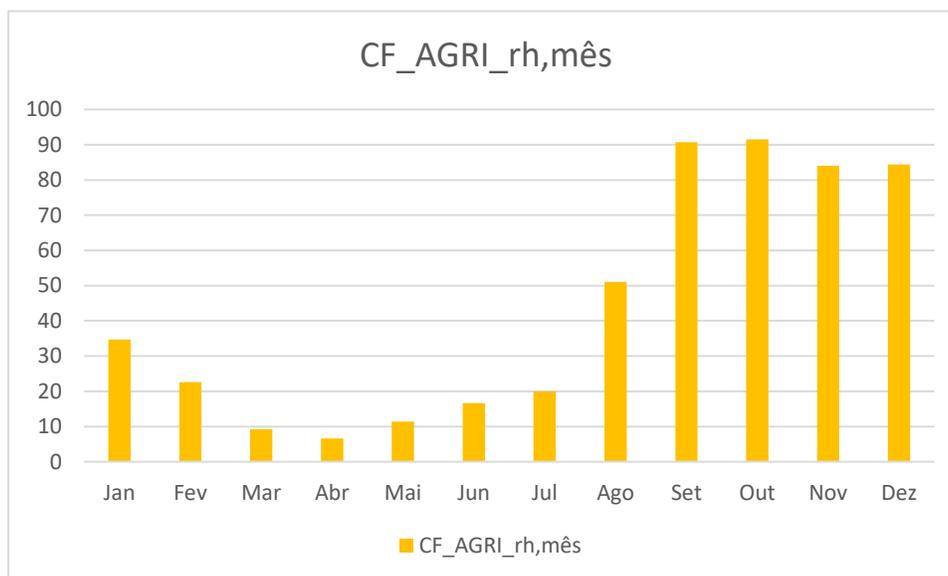
Finalmente, a título de comparação com os resultados gerados pelo modelo AWARE, foram calculados fatores provenientes das equações 1, 2 e 3 para toda a RHSF, considerando a soma das vazões de demanda, disponibilidade e necessidade do ecossistema adotadas no estudo. Foram gerados valores em escala mensal e limite espacial da Região Hidrográfica do São Francisco. Os resultados comparativos podem ser vistos na Tabela 10.

Tabela 10: Resultados do estudo versus resultados do modelo AWARE.

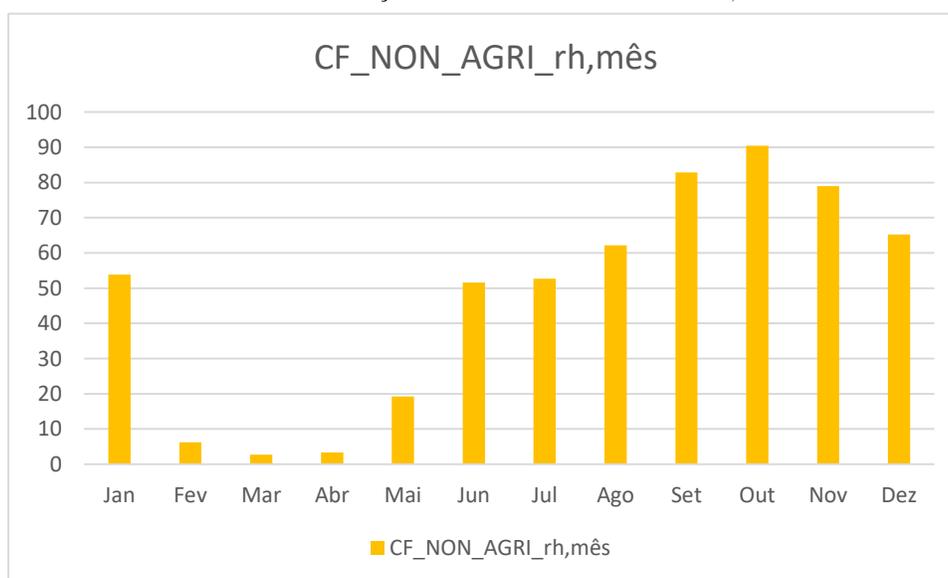
Mês	Avail_Nat (km ³ /mês)	Animal (m ³ /s)	Industr (m ³ /s)	Rural (m ³ /s)	Urbana (m ³ /s)	Irrig (m ³ /s)	EWR (m ³ /s)	CF_corrige	CF_aware
Jan	5.353	8.984	50.774	4.033	28.771	61.850	676.550	2.705	1.538
Fev	9.664	8.984	50.774	4.033	28.771	87.185	1178.205	1.409	1.133
Marc	12.889	8.984	50.774	4.033	28.771	62.909	1544.839	1.020	1.152
Abr	13.041	8.984	50.774	4.033	28.771	184.731	1705.528	1.095	1.362
Mai	11.523	8.984	50.774	4.033	28.771	266.107	2113.338	1.692	4.318
Jun	9.673	8.984	50.774	4.033	28.771	261.385	1955.160	2.347	7.211
Jul	7.684	8.984	50.774	4.033	28.771	272.284	1578.945	3.272	5.332
Agos	4.809	8.984	50.774	4.033	28.771	319.469	1021.484	7.914	5.255
Set	2.646	8.984	50.774	4.033	28.771	319.954	569.819	86.913	5.017
Out	1.559	8.984	50.774	4.033	28.771	247.504	301.796	100.000	4.474
Nov	1.247	8.984	50.774	4.033	28.771	109.744	181.473	34.268	3.725
Dez	1.742	8.984	50.774	4.033	28.771	76.709	217.802	11.710	2.561

Fonte: Elaborada pela autora (2017)

A coluna de CF_corrige representa os fatores gerados neste estudo, corrigidos para o intervalo de 0,1 a 100, utilizando os bancos de dados de entrada descritos anteriormente. A coluna de CF_aware representa os fatores gerados para a bacia condizente à bacia hidrográfica da RHSF, pelo modelo AWARE. Os fatores gerados pelo modelo são disponibilizados na plataforma online do grupo WULCA. Podemos observar que o presente trabalho apresentou uma situação mais pessimista em relação à região hidrográfica em estudo, se comparado aos fatores gerados pelo AWARE. O estudo mostrou períodos de alta ou total escassez para os meses secos, em setembro e outubro, enquanto os fatores do modelo apresentaram apenas uma leve elevação na escassez hídrica. Os meses chuvosos apresentaram resultados muito similares no cálculo de ambos os estudos.

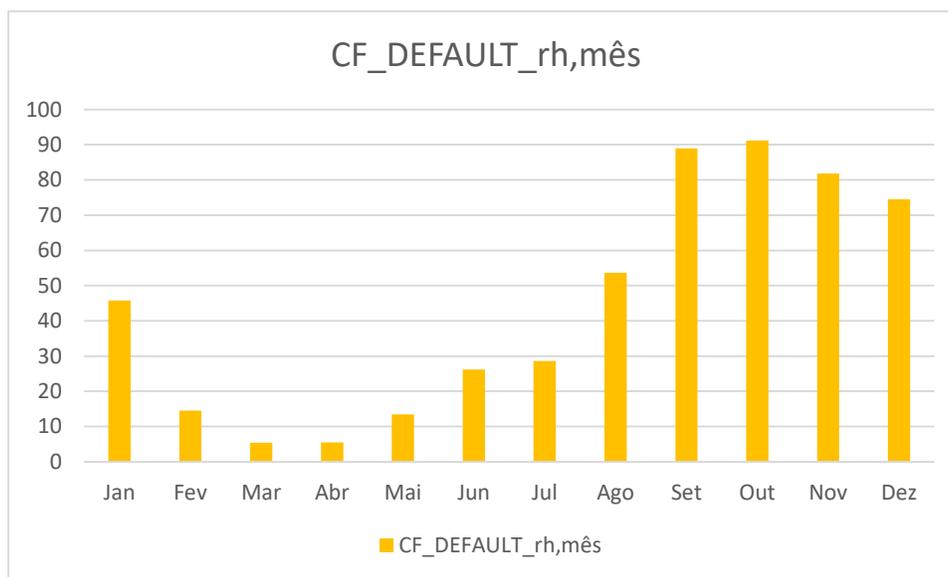
Gráfico 1: Variação mensal de CF_AGRI_{rh,mês}.

Fonte: Elaborado pela autora (2017)

Gráfico 2: Variação mensal de CF_NON_AGRI_{rh,mês}.

Fonte: Elaborado pela autora (2017)

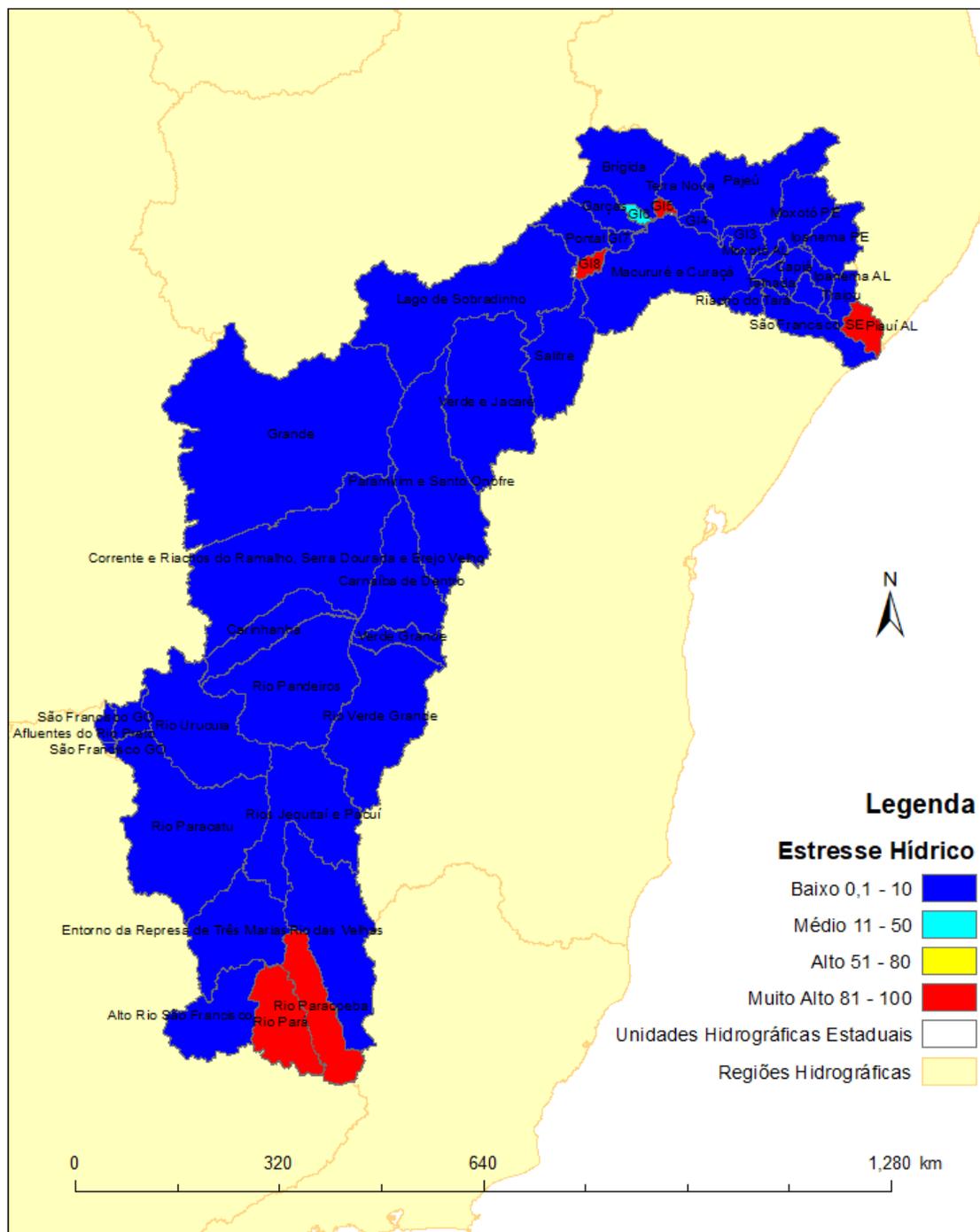
Gráfico 3: Variação mensal de CF_DEFAULT_rh,mês.



Fonte: Elaborado pela autora (2017)

Mapa 4: Fatores de caracterização regionalizados para o mês de janeiro.

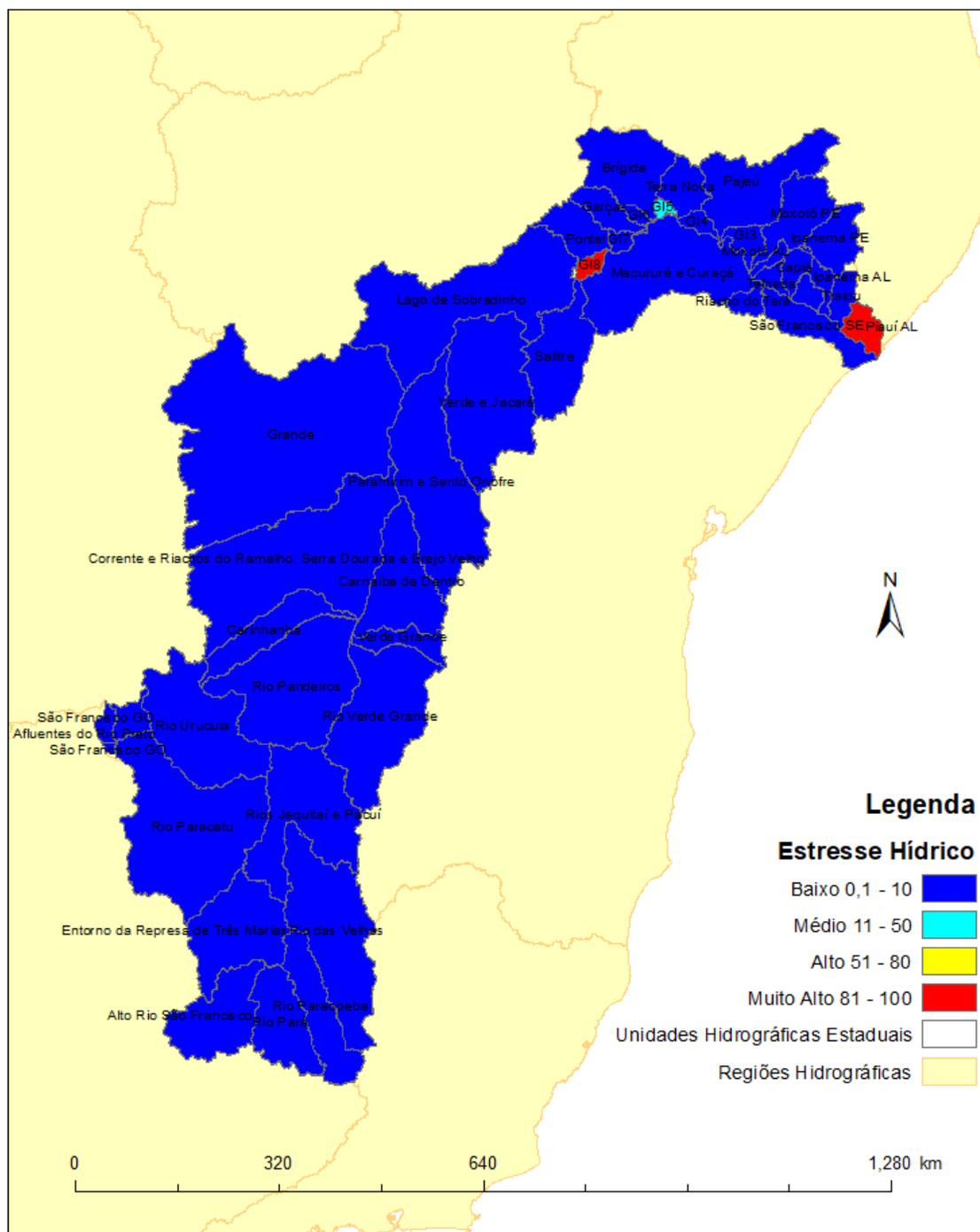
Fator de Caracterização Escassez Hídrica por UHE para a RHSF - mês janeiro



Fonte: Elaborada pela autora (2017).

Mapa 5: Fatores de caracterização regionalizados para o mês de fevereiro.

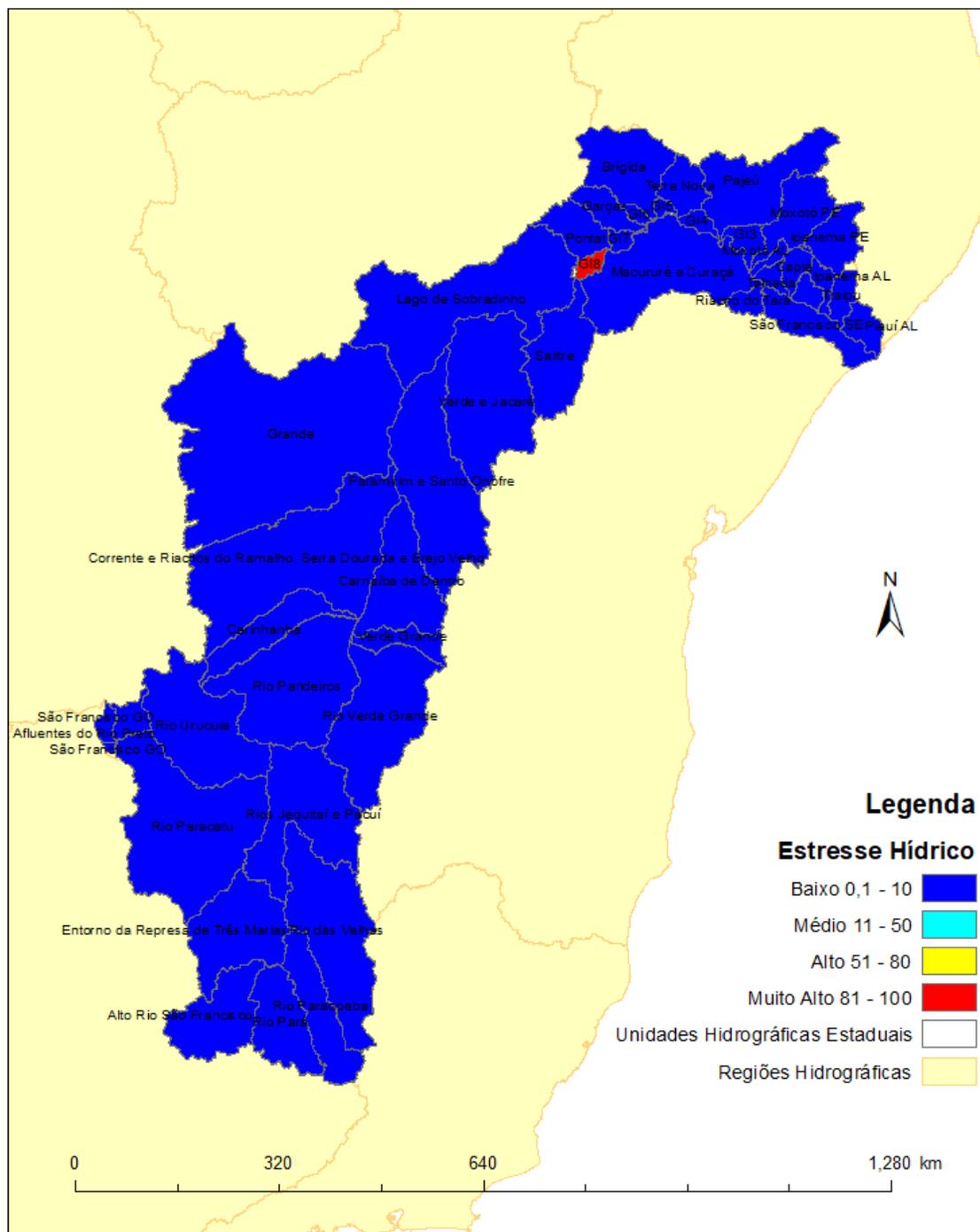
Fator de Caracterização Escassez Hídrica por UHE para a RHSF - mês fevereiro



Fonte: Elaborada pela autora (2017).

Mapa 6: Fatores de caracterização regionalizados para o mês de março.

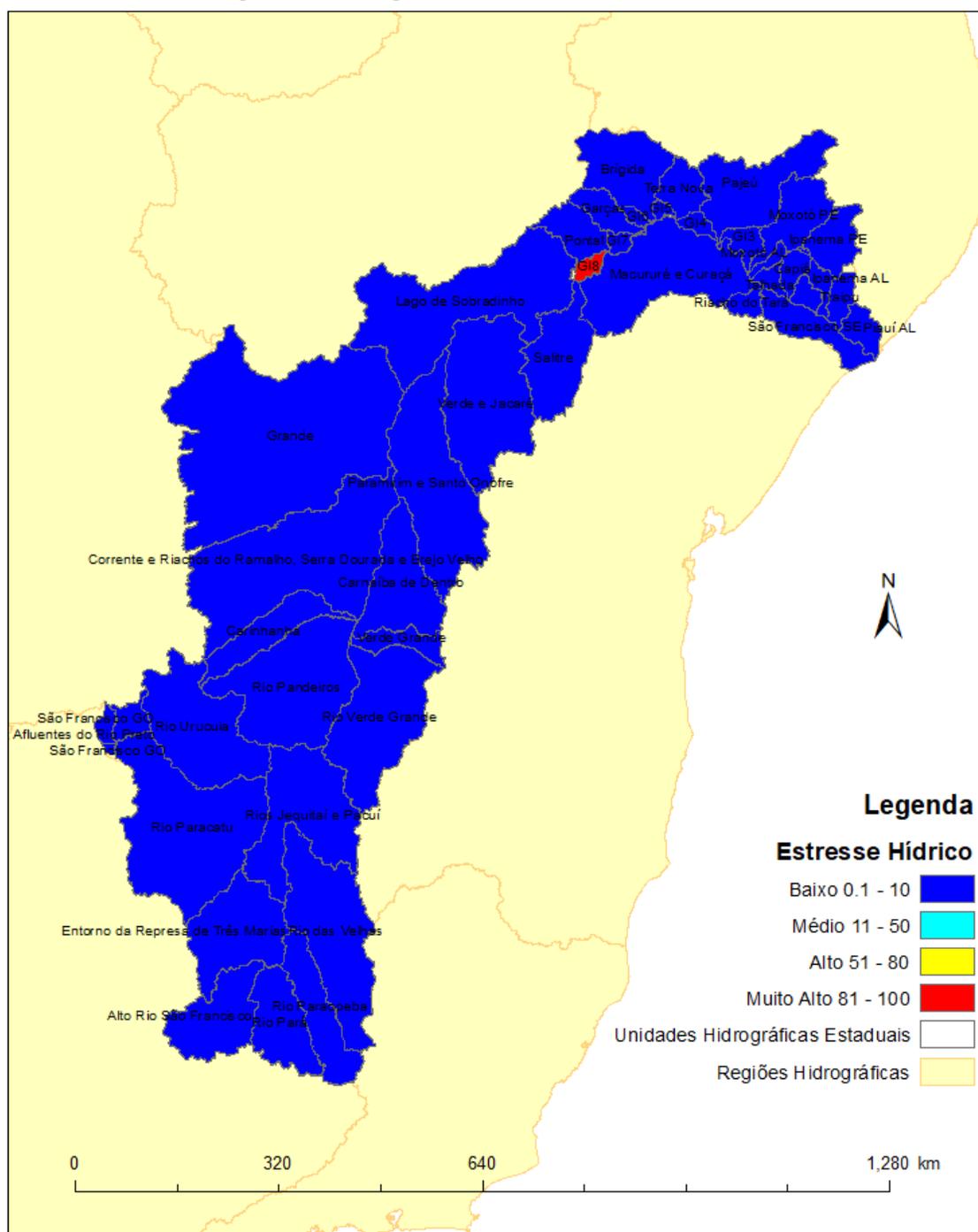
Fator de Caracterização Escassez Hídrica por UHE para a RHSF - mês março



Fonte: Elaborada pela autora (2017).

Mapa 7: Fatores de caracterização regionalizados para o mês de abril.

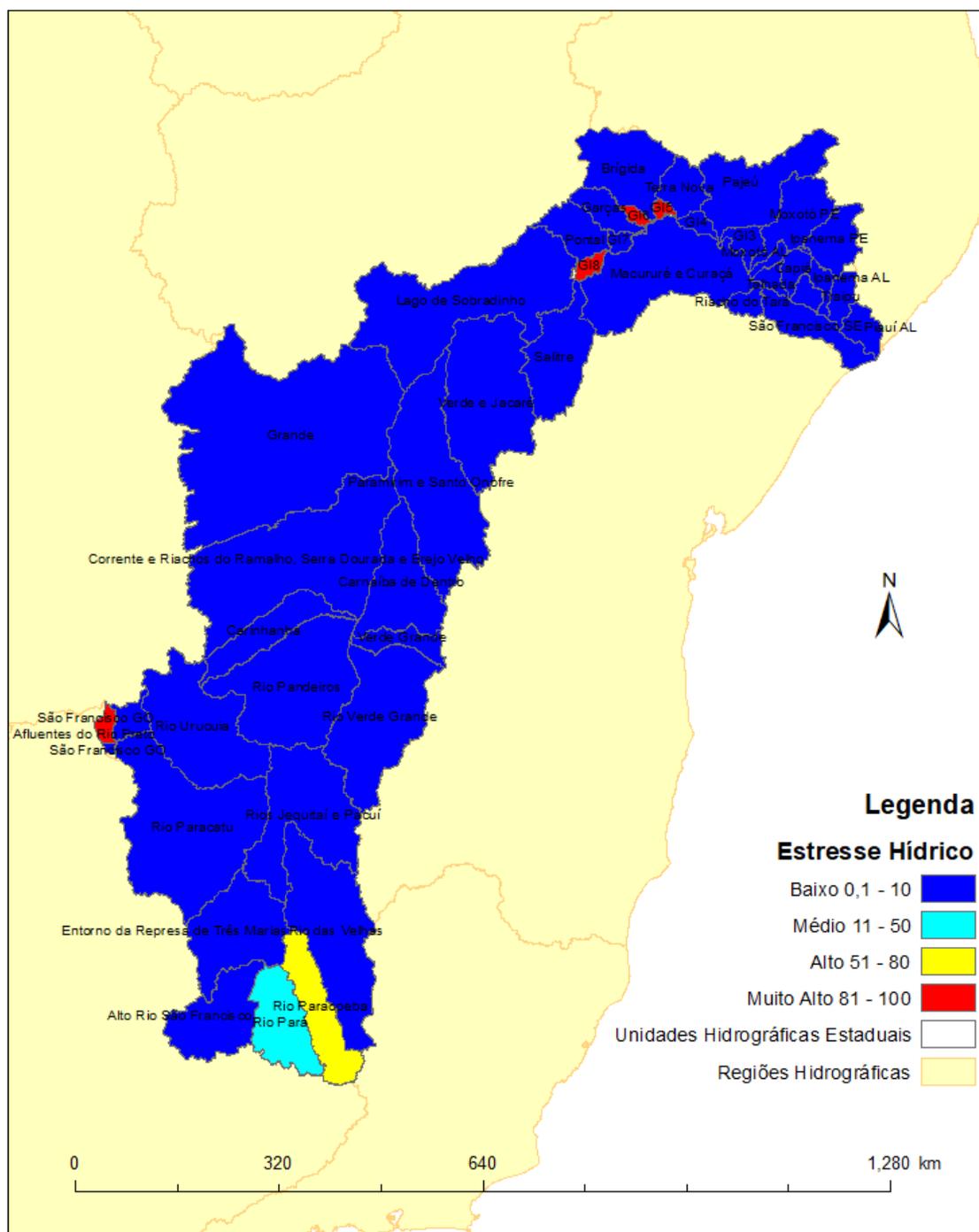
Fator de Caracterização Escassez Hídrica por UHE para a RHSF - mês abril



Fonte: Elaborada pela autora (2017).

Mapa 8: Fatores de caracterização regionalizados para o mês de maio.

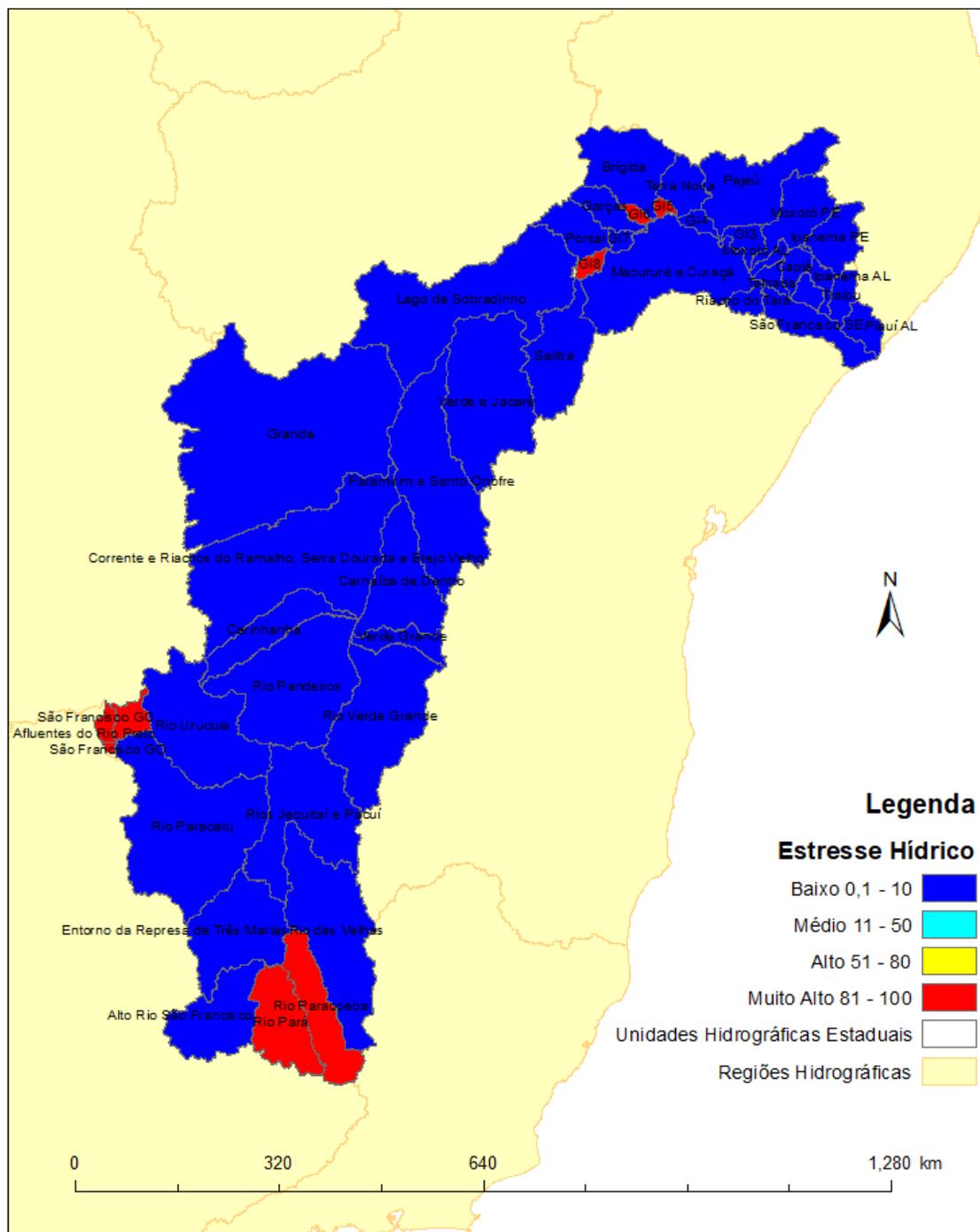
Fator de Caracterização Escassez Hídrica por UHE para a RHSF - mês maio



Fonte: Elaborada pela autora (2017).

Mapa 9: Fatores de caracterização regionalizados para o mês de junho.

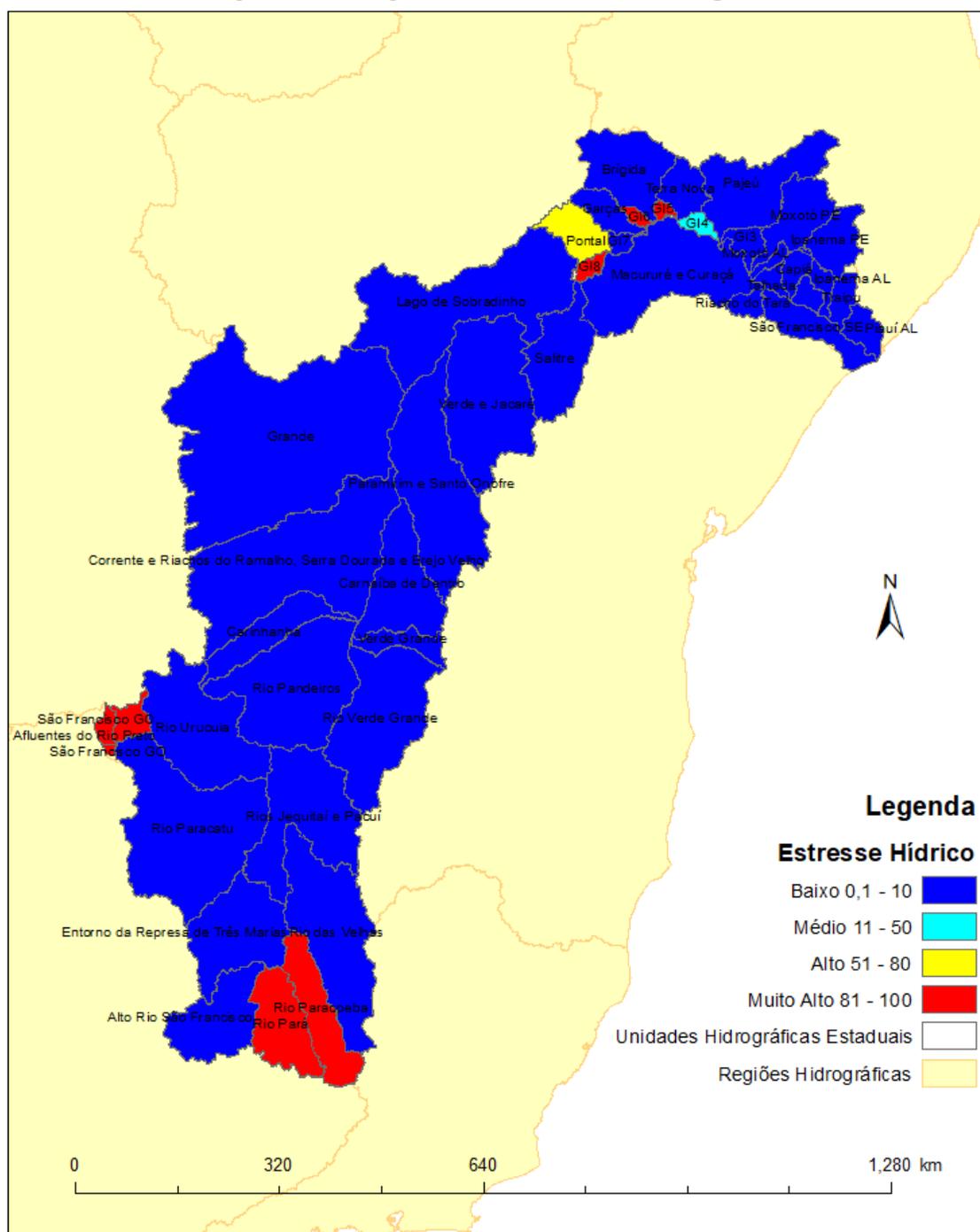
Fator de Caracterização Escassez Hídrica por UHE para a RHSF - mês junho



Fonte: Elaborada pela autora (2017).

Mapa 10: Fatores de caracterização regionalizados para o mês de julho.

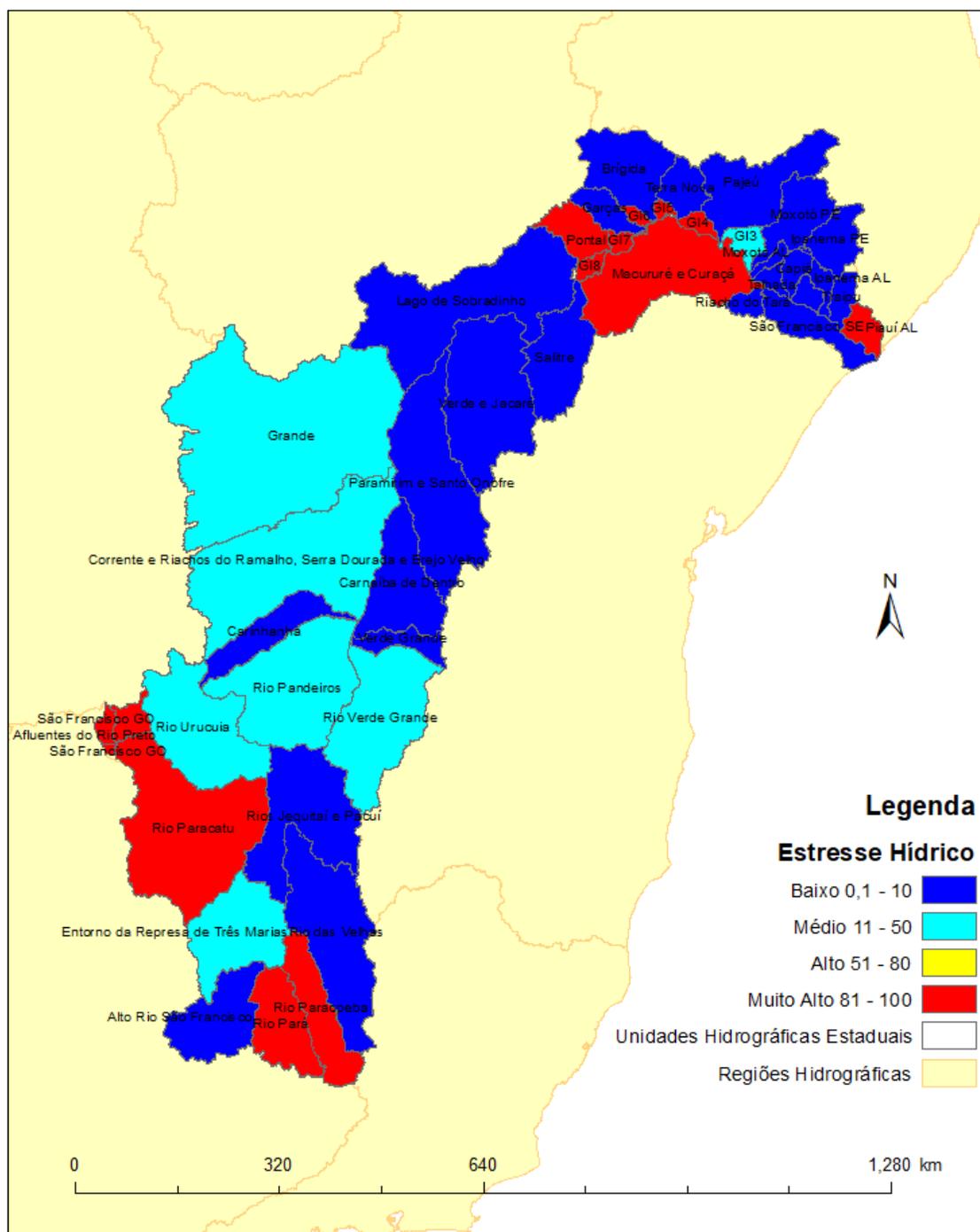
Fator de Caracterização Escassez Hídrica por UHE para a RHSF - mês julho



Fonte: Elaborada pela autora (2017).

Mapa 11: Fatores de caracterização regionalizados para o mês de agosto.

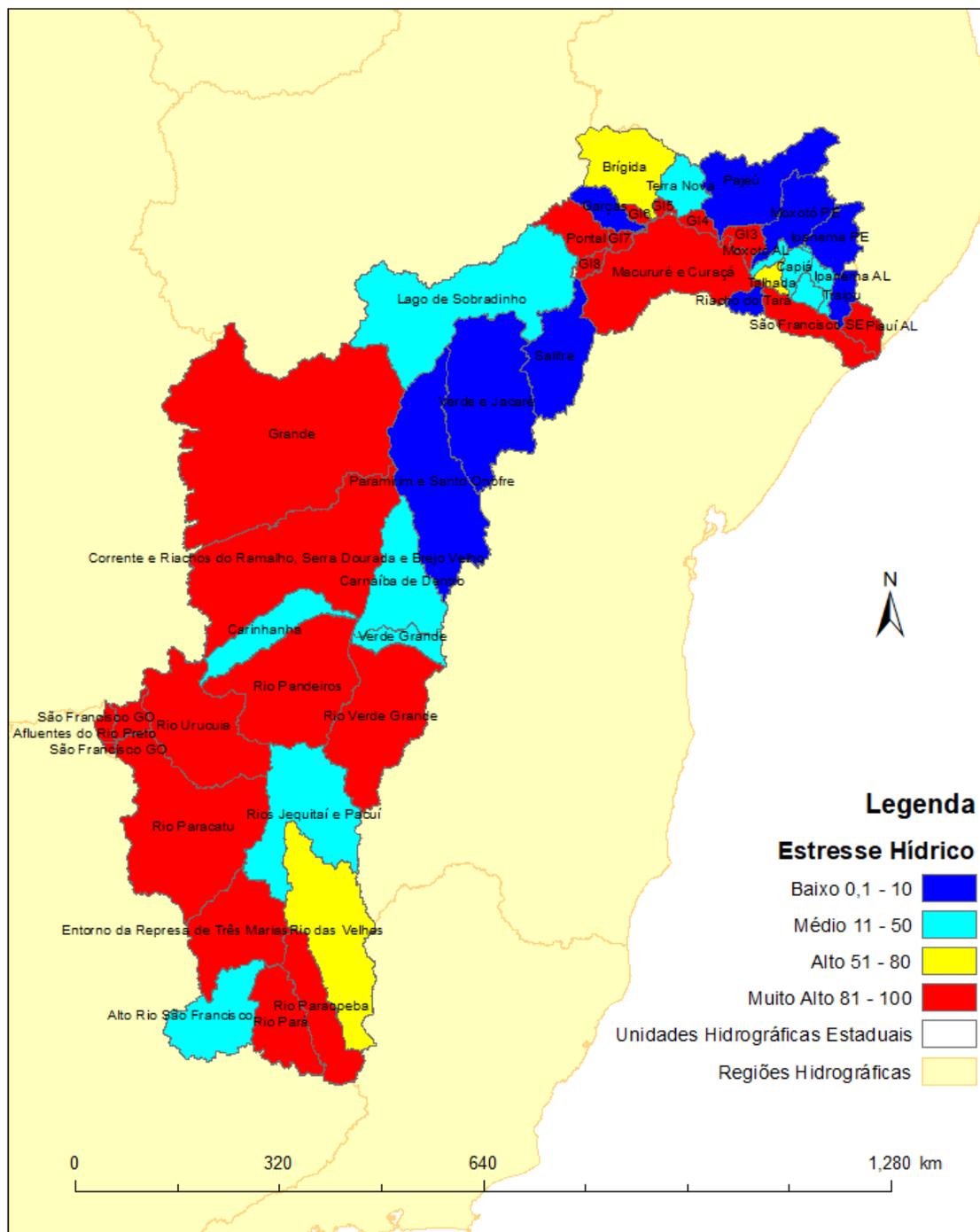
Fator de Caracterização Escassez Hídrica por UHE para a RHSF - mês agosto



Fonte: Elaborada pela autora (2017).

Mapa 12: Fatores de caracterização regionalizados para o mês de setembro.

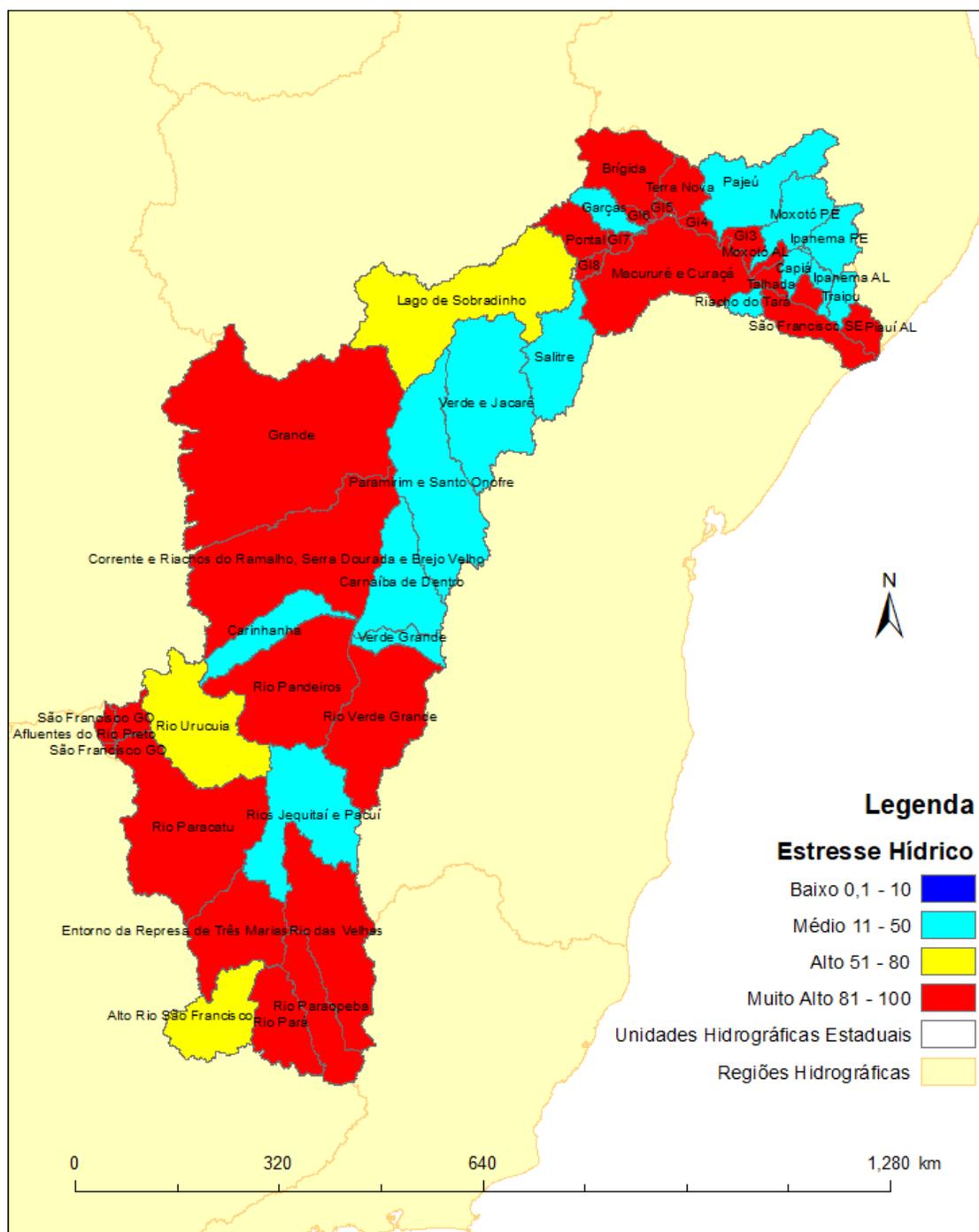
Fator de Caracterização Escassez Hídrica por UHE para a RHSF - mês setembro



Fonte: Elaborada pela autora (2017).

Mapa 13: Fatores de caracterização regionalizados para o mês de outubro.

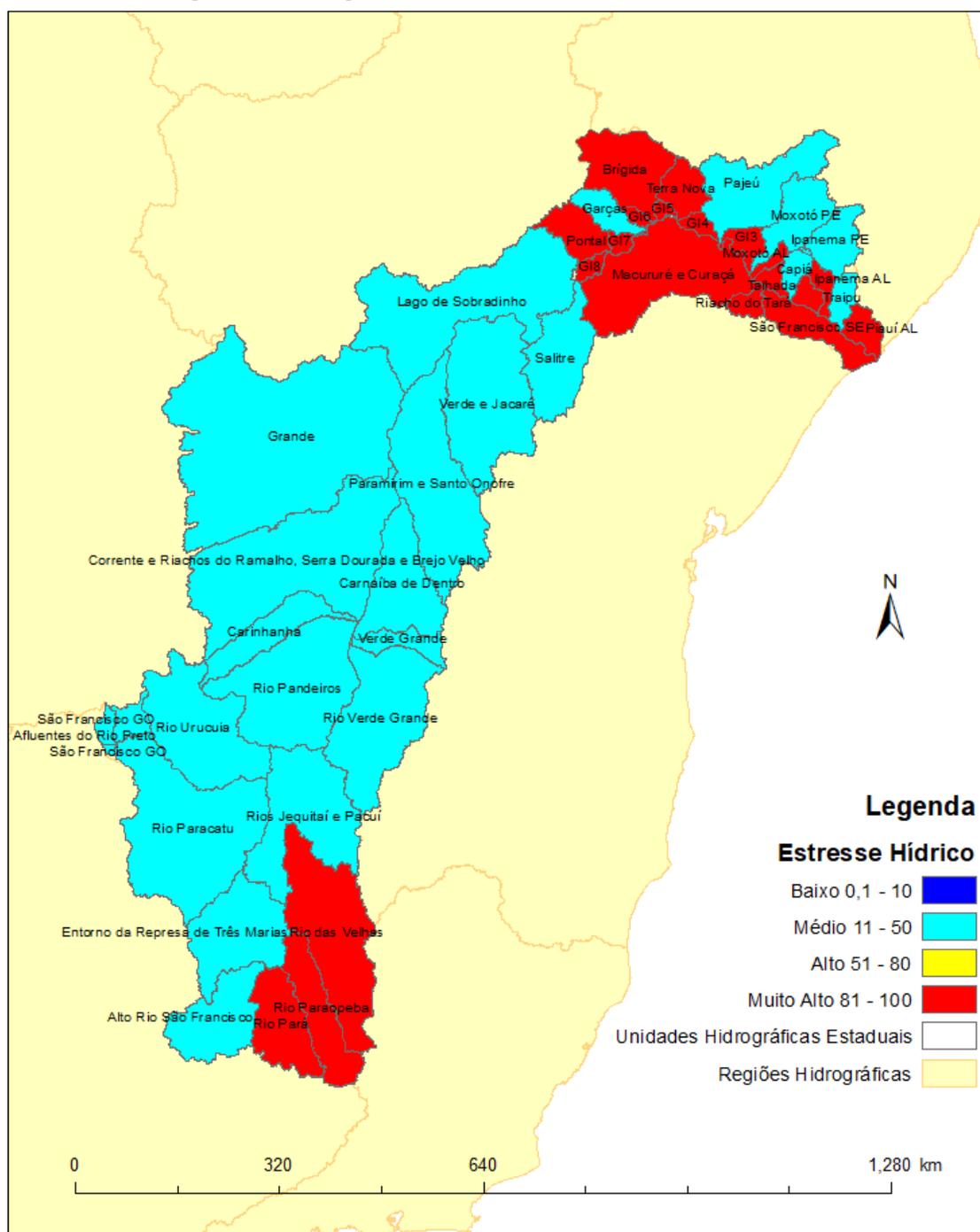
Fator de Caracterização Escassez Hídrica por UHE para a RHSF - mês outubro



Fonte: Elaborada pela autora (2017).

Mapa 14: Fatores de caracterização regionalizados para o mês de novembro.

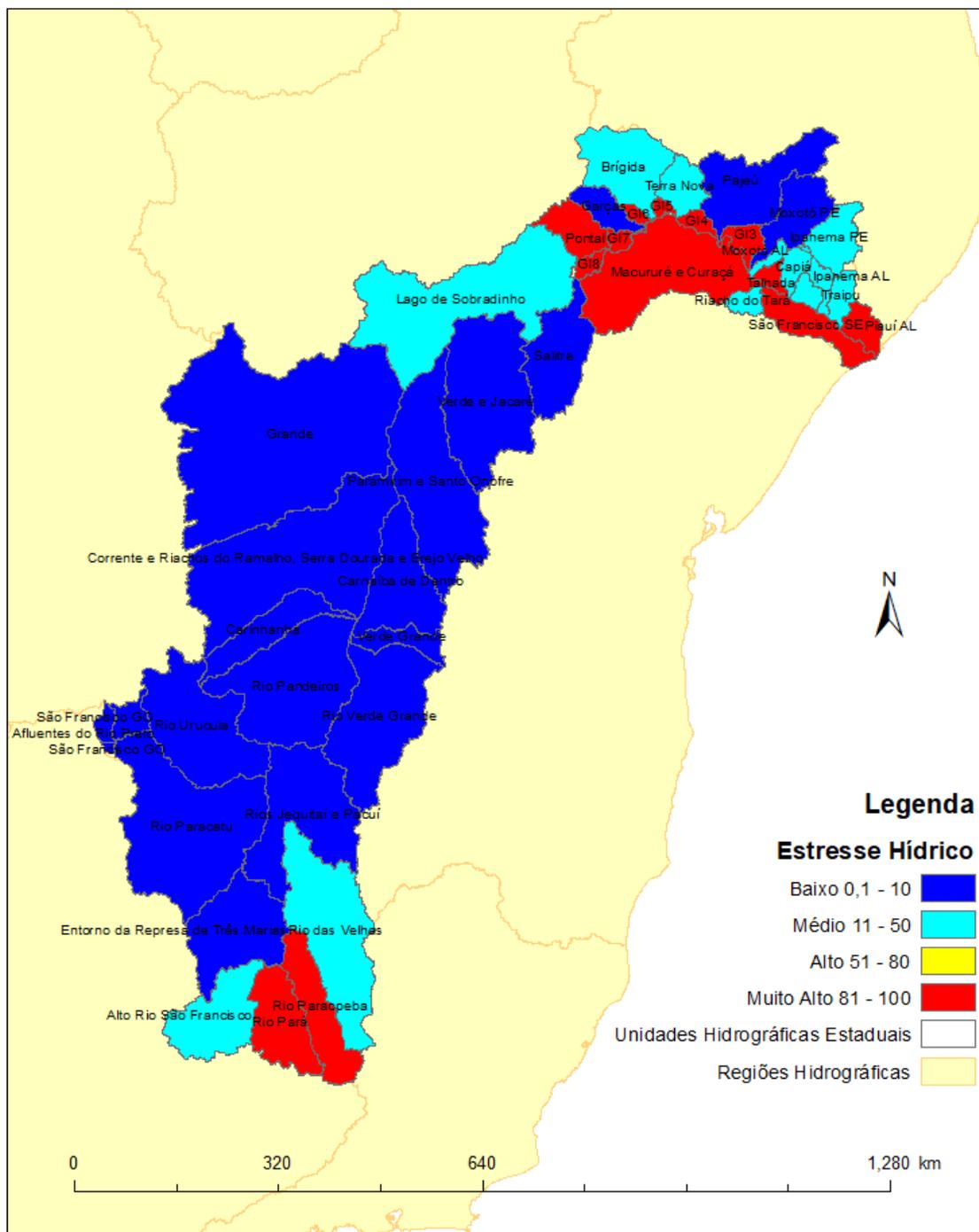
Fator de Caracterização Escassez Hídrica por UHE para a RHSF - mês novembro



Fonte: Elaborada pela autora (2017).

Mapa 15: Fatores de caracterização regionalizados para o mês de dezembro.

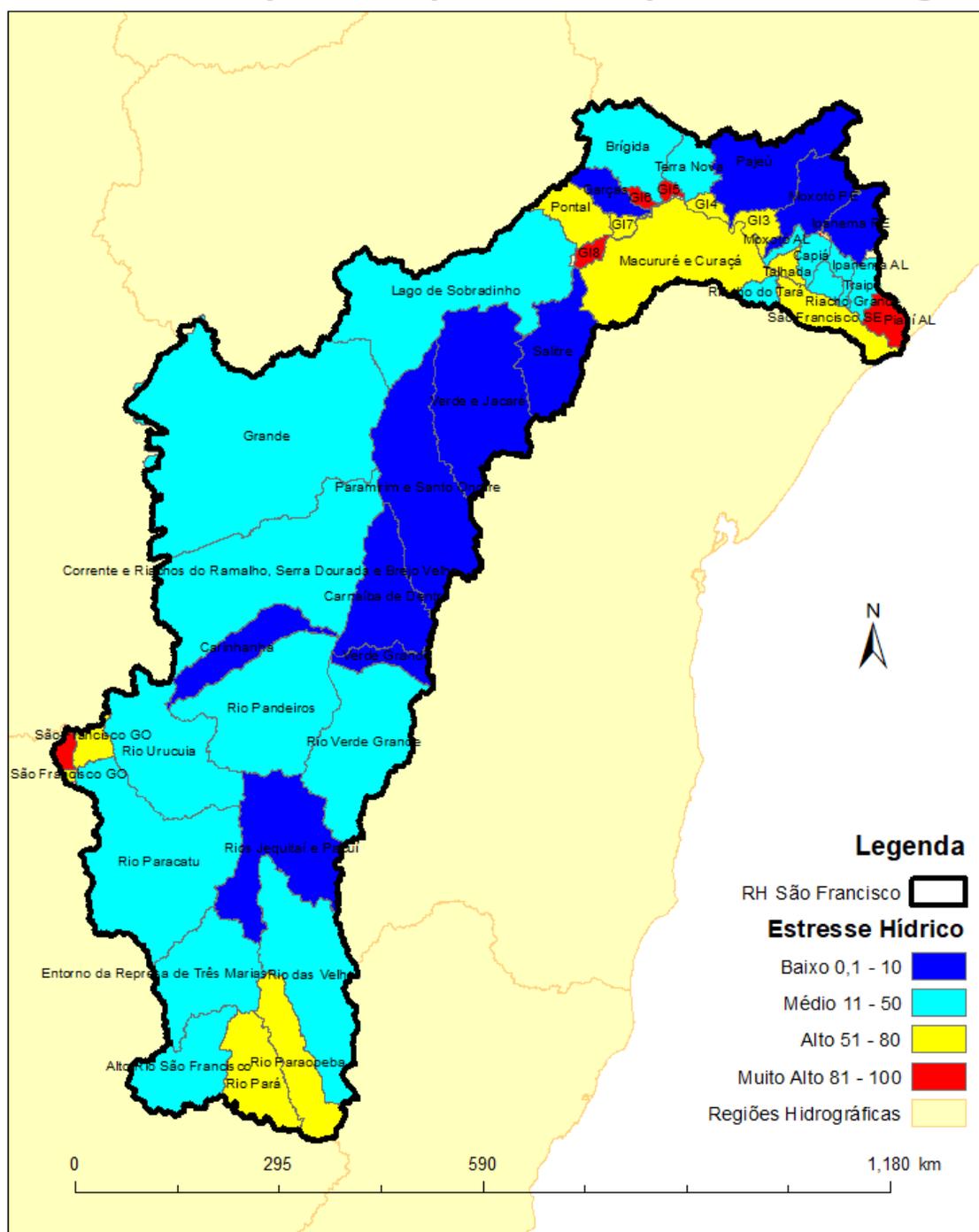
Fator de Caracterização Escassez Hídrica por UHE para a RHSF - mês dezembro



Fonte: Elaborada pela autora (2017).

Mapa 16: Fatores de caracterização agregados ponderados pela demanda agrícola.

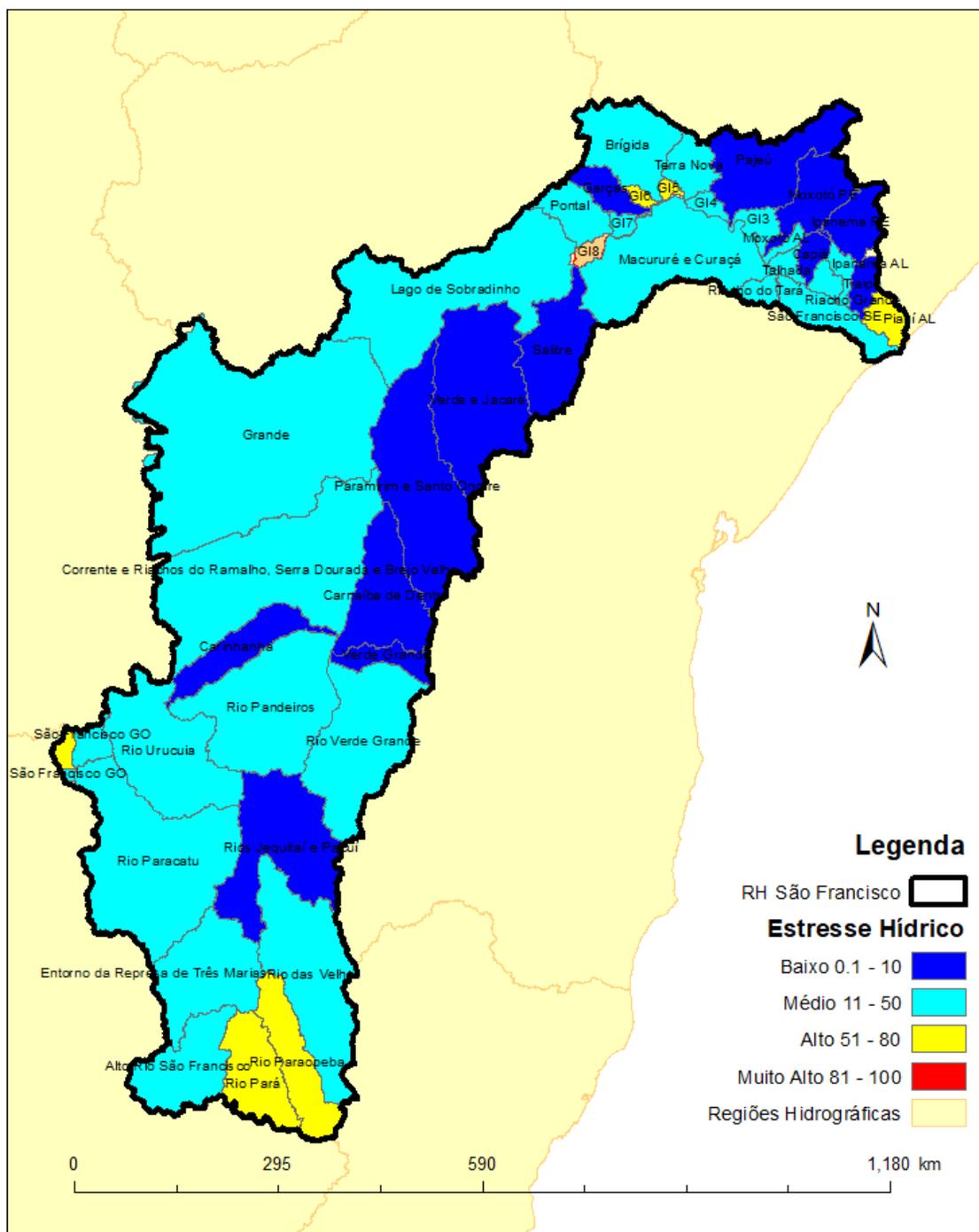
CF_AGRI_uhe,ano
Fatores anuais por UHE, ponderados pela demanda agrícola



Fonte: Elaborada pela autora (2017).

Mapa 17: Fatores de caracterização agregados ponderados pelas demandas não agrícolas.

CF_NON_AGRI_uhe,ano
Fatores anuais por UHE, ponderados pela demanda não-agrícola



Fonte: Elaborada pela autora (2017).

6. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

A regionalização de fatores de caracterização de escassez hídrica para a Região Hidrográfica do São Francisco, realizada neste estudo, é de extrema importância para a compreensão dos impactos de uso da água na bacia. A aplicação de um modelo de caracterização consensado, a utilização de dados de demanda regionais e a escolha de um limite espacial de maior escala foram decisivos para se alcançar um resultado satisfatório dos fatores. A regionalização possibilita uma análise mais detalhada da situação de escassez na região, auxiliando na tomada de decisões de gestores políticos e empresariais, e trazendo à tona a realidade de uma bacia hidrográfica tão importante para as regiões do Nordeste brasileiro e do Semiárido.

O estudo mostrou variabilidades espaciais e temporais no impacto de uso da água, de forma a constatar, por meio do modelo AWARE, a distinção dos períodos de seca, e dos períodos de maior disponibilidade hídrica na RHSF. As variações espaciais mostraram pontos de escassez hídrica críticos no norte da RHSF, na região do Baixo São Francisco, condizendo com as regiões de semiárido, porém as áreas de maior estresse hídrico se concentraram ao sul da região hidrográfica. Esse fato está relacionado, possivelmente, ao cálculo de disponibilidade utilizado no estudo, visto que a adequação das vazões de disponibilidade distribuídas proporcionalmente às áreas das UHEs, não é ideal. A realidade da bacia condiz com regiões de estresse hídrico concentradas principalmente no semiárido, ao norte da bacia e, ao sul, era esperado uma pequena ou nula escassez. A disponibilidade hídrica ao sul da bacia é bem maior do que na região do semiárido, onde as taxas de evaporação são muito altas, e onde a falta de água é uma realidade para as populações dessa região. Em relação a variabilidade temporal, pôde-se observar que os meses de menor escassez condizem com os períodos de maior precipitação, ou seja, quando há um aumento considerado da vazão natural disponível no rio. Da mesma forma, os meses que apresentaram situação de maior escassez, condizem com os períodos secos, de pouca ou nenhuma precipitação na bacia hidrográfica.

A comparação com os fatores do modelo AWARE, mostrou que o presente estudo apresenta uma situação bem mais pessimista da RHSF. Nos meses de setembro e outubro, principalmente, a escassez hídrica prevalece em toda a região hidrográfica. Mesmo tendo o conhecimento da baixa precipitação e, conseqüentemente, da baixa disponibilidade hídrica para estes meses, não era esperado uma realidade tão dura. Os períodos chuvosos, presentes no primeiro

semestre do ano, apresentaram fatores de caracterização bem similares para ambos os estudos, e uma situação branda de escassez. Estes resultados refletem, principalmente, a variação da demanda de irrigação na RHSF. A demanda hídrica para irrigação é a única vazão de retirada de uso humano com variação mensal, e ela impacta diretamente no cálculo do fator. Os dados utilizados no estudo mostram que, dos meses chuvosos aos meses secos, a demanda de irrigação praticamente triplicou, ao mesmo tempo que as vazões disponíveis do rio, nesse período, são muito baixas, o que acarretou em um resultado tão pessimista para estes meses. O mesmo não ocorre nos fatores disponibilizados pelo modelo AWARE, onde é possível ver as variações de escassez ao longo dos anos, mostrando uma pequena crescente nos períodos secos, porém, todos os meses apresentaram uma média abaixo de 10, considerada muito baixa para relatar qualquer escassez hídrica na região.

Finalmente, algumas considerações e recomendações são cabíveis, para uma futura melhoria e aprimoramento do presente estudo. Deve-se levar em conta que, a manipulação dos dados seguindo uma lógica do geoprocessamento está sujeita à pequenos erros de adequação espacial dos fatores. Por exemplo, as ferramentas utilizadas para soma das microbacias para as UHEs leva em consideração todas as microbacias que caem completamente ou interceptam o limite da UHE. Essa adequação acaba por somar mais de uma vez uma mesma microbacia para o cálculo da demanda total da BHSF. Porém, considerando que a RHSF contém, ao todo, cerca de 13 mil microbacias, a quantidade duplicada é irrelevante frente ao total, e não alterou de forma significativa os resultados do estudo.

Por fim, a recomendação principal é a utilização de um banco de dados completamente regional. No presente estudo, os dados de demanda foram retirados de um banco de dados local, da Agência Nacional de Águas do Brasil. Porém, devido a resultados insatisfatórios e a uma incoerência com os dados locais, a disponibilidade hídrica foi calculada utilizando o banco de dados global do modelo AWARE, o WaterGAP, o que não é considerado ideal para o cálculo dos fatores. Os resultados alcançados foram, em geral, satisfatórios, mas apresentaram algumas inconsistências em relação à realidade do semiárido da região hidrográfica. Deseja-se, assim, aprimorar o estudo com a utilização de um banco de dados totalmente disponibilizado pela Agência Nacional de Águas. Uma opção seria utilizar as informações das estações fluviométricas da ANA, ou utilizar dados de vazão natural do exultório de cada UHE, sendo necessário um trabalho e uma gestão mais detalhada dos dados antes da aplicação.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCAMO, Joseph et al. Global change and global scenarios of water use and availability: an application of WaterGAP 1.0. **Center for Environmental Systems Research, University of Kassel, Kassel, Germany**, 1997.

ALCAMO, Joseph et al. Development and testing of the WaterGAP 2 global model of water use and availability. **Hydrological Sciences Journal**, v. 48, n. 3, p. 317-337, 2003.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Apresenta legislações, informações e notícias sobre os recursos hídricos. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br/>> . Acessos em: mar-jul. 2017.

ANA. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil**. Brasília, DF, 2013. Disponível em: <http://www3.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/conj2013_rel.pdf>

ANA. Disponibilidade e demandas de recursos hídricos no Brasil. Estudo Técnico. **Caderno de Recursos Hídricos**. Brasília, DF, 123 p., 2005.

ANA/GEF/PNUMA/OEA. Plano Decenal de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco - **PBHSF (2004-2013)**. Módulo 1. Salvador, BA, 319 p., 2004.

A BACIA. CBHSF. Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco. Disponível em:
<<http://cbhsaofrancisco.org.br/a-bacia/>>. Acesso em: maio 2017.

The AWARE method: Available WAter REmaning. WULCA. Disponível em:
<<http://www.wulca-waterlca.org/aware.html>>. Acessos em: mar-jun. 2017

BAUMANN, Henrikke; TILLMAN, Anne-Marie. **The Hitch Hiker's Guide to LCA. An orientation in life cycle assessment methodology and application**. External organization, 2004.

BARBOSA, S. E. da S. et al. Geração de modelos de regionalização de vazões máximas, médias de longo período e mínimas de sete dias para a bacia do Rio do Carmo, Minas Gerais. Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, v. 10, n.1, p. 64-71, 2005. Disponível em:
<<http://www.scielo.br/pdf/esa/v10n1/v10n01a07.pdf>>.

BOULAY, Anne-Marie et al. Consensus building on the development of a stress-based indicator for LCA-based impact assessment of water consumption: outcome of the expert workshops. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 20, n. 5, p. 577-583, 2015.

BOULAY, Anne-Marie et al. The WULCA consensus characterization model for water scarcity footprints: Assessing impacts of water consumption based on available water remaining (AWARE). **The International Journal of Life Cycle Assessment**, p. 1-11, 2017.

CGEE/ANA. **A Questão da Água no Nordeste**. Brasília, DF, 432 p., 24 cm., 2012. ISBN 978-85-60755-45-5

DÖLL, Petra; KASPAR, Frank; LEHNER, Bernhard. A global hydrological model for deriving water availability indicators: model tuning and validation. **Journal of Hydrology**, v. 270, n. 1, p. 105-134, 2003.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 14040: environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework**. Genebra: ISO: 2006a.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 14044: environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines**. Genebra: ISO: 2006b.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 14046: Environmental management – Water footprint – Principles, requirements and guidelines**. Genebra: ISO: 2014.

KOUNINA, Anna et al. Review of methods addressing freshwater use in life cycle inventory and impact assessment. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 18, n. 3, p. 707-721, 2013.

LIMA, J. E. F. W. **Recursos hídricos no Brasil e no mundo**. Embrapa Cerrados, 2001.

MÜLLER SCHMIED, Hannes et al. Sensitivity of simulated global-scale freshwater fluxes and storages to input data, hydrological model structure, human water use and calibration. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 18, n. 9, p. 3511-3538, 2014.

PASTOR, A. V. et al. Accounting for environmental flow requirements in global water assessments. **Hydrology and Earth System Sciences Discussions**, v. 10, p. 14987-15032, 2013.

Portal de Metadados Geoespaciais. ANA. Agência Nacional de Águas. Disponível em: <http://metadados.ana.gov.br>. Acessos em: mar-jun. 2017

Região Hidrográfica do São Francisco. ANA. Agência Nacional de Águas. Disponível em: <http://www2.ana.gov.br/Paginas/portais/bacias/SaoFrancisco.aspx>. Acesso em jun. 2017

RICHTER, Brian D. et al. A presumptive standard for environmental flow protection. **River Research and Applications**, v. 28, n. 8, p. 1312-1321, 2012.

UNEP/SETAC Life Cycle Initiative. **Global Guidance for Life Cycle Impact Assessment Indicators**: Volume 1. Paris, França., 159 p., 2016. ISBN: 978-92-807-3630-4.