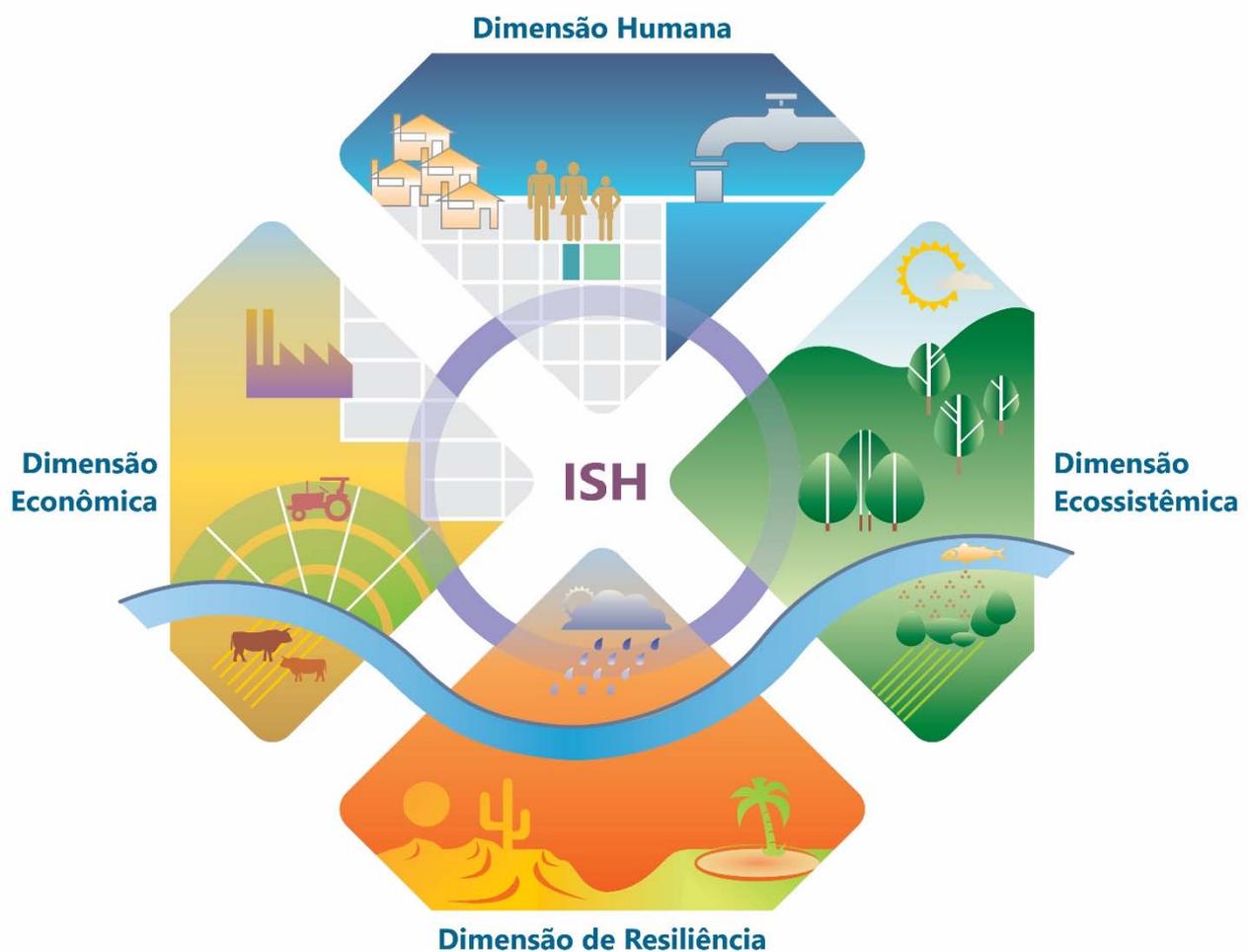


AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS

ANA

ÍNDICE DE SEGURANÇA HÍDRICA

-ISH-



MANUAL METODOLÓGICO

VERSÃO 1.0

EQUIPE TÉCNICA

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS

Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos (SPR)

Alexandre Abdalla Araujo
Ana Catarina Nogueira da Costa Silva
Bolívar Antunes Matos
Carlos Alberto Perdigão Pessoa
Daniel Assumpção Costa Ferreira
Elizabeth Siqueira Juliatto
Filipe Sampaio Casulari Pinhati
Marco Vinícius Castro Gonçalves
Marcos Irineu Pufal
Mariane Moreira Ravello
Saulo Aires de Souza
Sérgio Rodrigues Ayrimoraes Soares
Teresa Luisa Lima de Carvalho
Thiago Henriques Fontenelle

ENGECORPS ENGENHARIA S.A.

Daniel Thá
Emerson Massaiti Haro
Fábio Avigo de Castro Pinto
José Manoel de Moraes Jr
Lígia de Souza Girnius
Marcos Oliveira Godoi
Maria Bernardete Sousa Sender

ÍNDICE

	<i>PÁG.</i>
1. INTRODUÇÃO.....	5
2. ESTRUTURA METODOLÓGICA.....	6
2.1 BASE GEOESPACIAL	8
2.2 BALANÇO HÍDRICO SUPERFICIAL.....	9
2.3 FUNÇÃO DE RISCO	11
2.4 COMPOSIÇÃO DAS DIMENSÕES.....	13
3. DIMENSÃO HUMANA.....	14
3.1 GARANTIA DE ÁGUA PARA ABASTECIMENTO DA POPULAÇÃO URBANA	14
3.2 COBERTURA DA REDE DE ABASTECIMENTO URBANO	15
3.3 ESTRUTURA DE CÁLCULO	16
4. DIMENSÃO ECONÔMICA.....	18
4.1 GARANTIA DE ÁGUA PARA AGRICULTURA E PECUÁRIA.....	19
4.2 GARANTIA DE ÁGUA PARA USO INDUSTRIAL.....	22
4.3 ESTRUTURA DE CÁLCULO	23
5. DIMENSÃO ECOSSISTÊMICA.....	25
5.1 QUANTIDADE DE ÁGUA ADEQUADA PARA USOS NATURAIS.....	25
5.2 QUALIDADE DE ÁGUA ADEQUADA PARA USOS NATURAIS.....	26
5.3 SEGURANÇA DAS BARRAGENS DE REJEITO DE MINERAÇÃO.....	27
6. DIMENSÃO DE RESILIÊNCIA	28
6.1 RESERVAÇÃO ARTIFICIAL	29
6.2 RESERVAÇÃO NATURAL	31
6.3 POTENCIAL DE ARMAZENAMENTO SUBTERRÂNEO.....	32
6.4 VARIABILIDADE PLUVIOMÉTRICA	33
7. ÍNDICE DE SEGURANÇA HÍDRICA.....	34
7.1 COMPOSIÇÃO DO ÍNDICE	34
7.2 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS.....	35

Lista de Figuras

Figura 1 – Elementos da base Hidrográfica.....	8
Figura 2– Metodologia de cálculo do indicador de Reservação Artificial.....	29
Figura 3 – Índice de Segurança Hídrica – ISH 2035	36
Figura 4 – Dimensão Humana do ISH 2035.....	37
Figura 5 – Dimensão Econômica do ISH 2035	38
Figura 6 – Dimensão Ecossistêmica do ISH 2035	39
Figura 7 – Dimensão Resiliência do ISH 2035	40

ÍNDICE DE SEGURANÇA HÍDRICA

1. INTRODUÇÃO

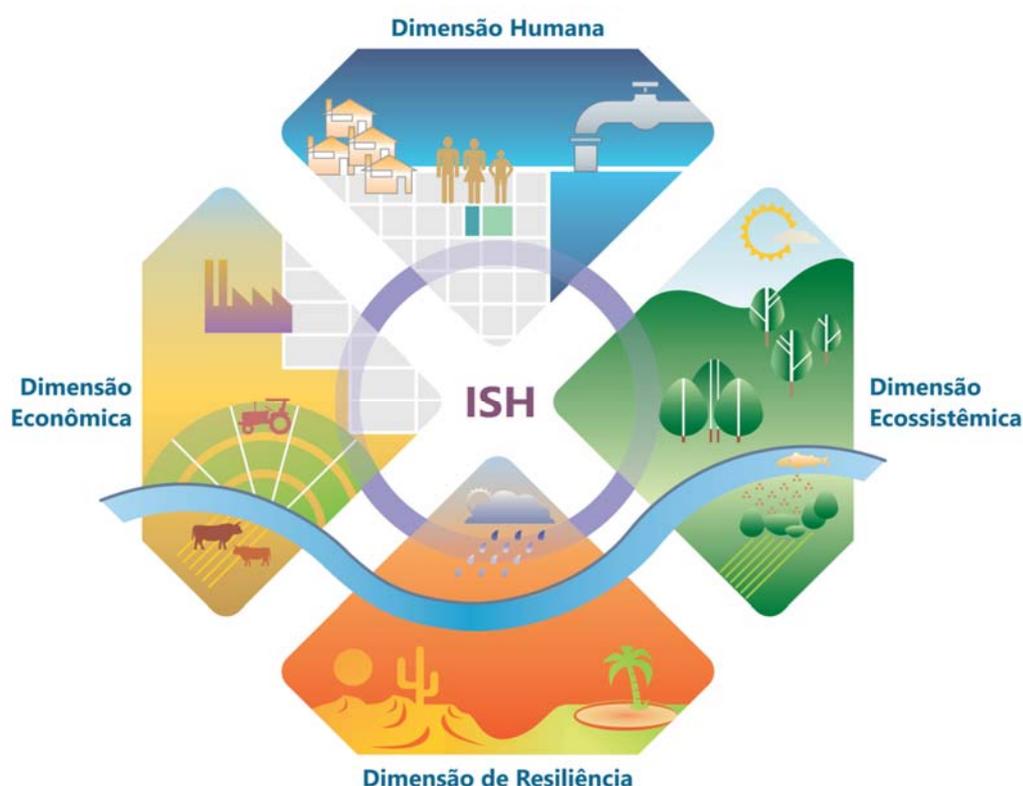
De acordo com o conceito da Organização das Nações Unidas (ONU), a Segurança Hídrica existe quando há disponibilidade de água em quantidade e qualidade suficientes para o atendimento às necessidades humanas, à prática das atividades econômicas e à conservação dos ecossistemas aquáticos, acompanhada de um nível aceitável de risco relacionado a secas e cheias, devendo ser consideradas as suas quatro dimensões como balizadoras do planejamento da oferta e do uso da água em um país.

O Índice de Segurança Hídrica – ISH foi concebido no âmbito do Plano Nacional de Segurança Hídrica – PNSH para retratar as diferentes dimensões da segurança Hídrica dentro do território brasileiro.

2. ESTRUTURA METODOLÓGICA

Os conceitos envolvidos na composição do ISH foram estruturados segundo dimensões, indicadores e variáveis ou atributos, assim definidos e relacionados:

- Foram consideradas quatro dimensões de Segurança Hídrica (Humana, Econômica, Ecológica e de Resiliência) que são combinadas para formar o Índice de Segurança Hídrica.
- Cada dimensão é composta por um ou mais indicadores, capazes de quantificar aspectos a ela pertinentes.
- Cada indicador é formado por uma combinação de variáveis ou atributos mensuráveis.
- Os indicadores têm seus valores classificados em cinco faixas de gradação, normalizadas com a atribuição dos números naturais de 1 a 5, em ordem crescente do nível de segurança hídrica. A exceção é o indicador de segurança das barragens de rejeito, que varia de 1 a 3



Indicadores do ISH	
Dimensão	Indicador
Humana	Garantia de água para abastecimento
	Cobertura da rede de abastecimento
Econômica	Garantia de água para Irrigação e Pecuária
	Garantia de água para atividade Industrial
Ecológica	Quantidade adequada de água para usos naturais
	Qualidade adequada de água para usos naturais
	Segurança de barragens de rejeito de mineração
Resiliência	Reservação artificial
	Reservação natural
	Potencial de armazenamento subterrâneo
	Variabilidade pluviométrica

No processo de composição do ISH, em cada dimensão, foram atribuídos pesos aos respectivos indicadores para cálculo da média ponderada e normalização do índice. As classes e os pesos foram atribuídos segundo a visão de especialistas e testes de aderência à realidade, tendo por base o papel que cada um dos aspectos considerados desempenha na representação da segurança hídrica.

As dimensões humana e econômica permitem quantificar os déficits de atendimento às demandas efetivas (abastecimento humano e setor produtivo) e riscos associados, enquanto as demais dimensões, ecológica e de resiliência, possibilitam identificar as áreas mais críticas e vulneráveis.

2.1 BASE GEOESPACIAL

Todos os indicadores que compõem o ISH estão associados a uma base hidrográfica de referência. Essa base está discretizada em trechos de rio, aos quais está associada uma área de contribuição hídrica. As áreas de contribuição hídrica são codificadas segundo a metodologia de Otto Pfafstetter, tal que é possível guardar as relações de fluxo (montante–jusante) entre os trechos. Do método de codificação deriva a denominação Base Hidrográfica Ottocodificada (BHO), chamando-se ordinariamente de ottobacias as áreas de contribuição hídrica a cada trecho da rede hidrográfica (Figura 1).

Para construção e apresentação do ISH foi utilizada a BHO 2013, com cerca de 600 mil ottobacias. A transferência de informações de uma base geográfica de origem para as ottobacias da BHO se deu a partir da intersecção do polígono da ottobacia com os polígonos, pontos ou grades contendo a informação de origem, atribuindo-se à ottobacia o valor da feição de origem proporcional à área comum de intersecção, conforme as características de cada informação.

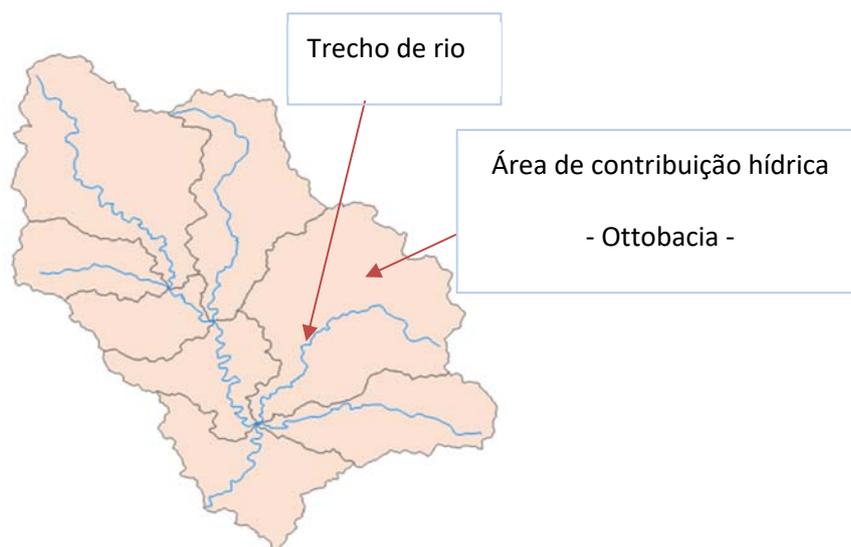


FIGURA 1 – ELEMENTOS DA BASE HIDROGRÁFICA

2.2 *BALANÇO HÍDRICO SUPERFICIAL*

O balanço hídrico superficial refere-se à relação entre demandas e disponibilidades hídricas (dem/disp), informando o percentual de comprometimento da oferta de água. Esta é a principal variável do ISH, aplicada diretamente nos cálculos relacionados às dimensões Humana, Econômica e Ecológica.

A Disponibilidade Hídrica corresponde à quantidade de água ofertável com uma dada garantia no tempo. Neste estudo, ela corresponde a uma vazão natural com 95% de garantia (Q95) nos trechos de rio em geral. Nos trechos sob influência de reservatórios a disponibilidade é tal que à jusante da barragem de um reservatório adota-se sua vazão mínima defluente somada às contribuições de Q95 que afluem a partir dali. Já no lago dos reservatórios adota-se a vazão regularizada deduzida da vazão defluente. No lago dos reservatórios operados pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS, é desconsiderada a capacidade de regularização, adotando-se apenas a vazão Q95 verificada no local das barragens. Eventuais transferências por canais são adicionadas ou subtraídas na rede hidrográfica conforme o caso.

A base de disponibilidade hídrica é produzida na ANA e é suscetível a atualização conforme melhorias metodológicas ou no conjunto de dados primários.

A base de Demanda Hídrica foi produzida no âmbito do Manual de Usos Consuntivos (ANA, 2019) que estimou as vazões municipais de retirada, consumo e retorno de água por setor usuário. Para realização do balanço entre oferta e demanda, as estimativas de retirada de água municipais foram distribuídas em áreas específicas, conforme o uso, e em seguida espacializadas por ottobacia.

A transposição de demandas municipais para ottobacias segue diferentes critérios, de acordo com as melhores informações disponíveis à época de cada consolidação da base nacional pela ANA. Atualmente, essa alocação espacial possui bom nível de precisão, em função da maior disponibilidade de dados georreferenciados, como: pontos de captação de abastecimento urbano, mapeamentos de áreas irrigadas, mapeamentos de uso da terra, outorgas superficiais e subterrâneas, delimitação de lavras etc. A modelagem procura atribuir as demandas a partir do cruzamento desses diferentes temas com as ottobacias, dentro do mesmo município.

Na versão da base de demandas utilizada para o cálculo do ISH, no caso do abastecimento Humano Urbano, a quantidade de água retirada por município foi distribuída entre os pontos de captação superficiais e subterrâneos conforme percentual e localização indicados no Atlas Brasil de Abastecimento (ANA, 2010) e suas atualizações. Para o balanço superficial, foi utilizada apenas a demanda referente aos pontos de captação superficiais.

O abastecimento rural foi distribuído nos setores censitários rurais, proporcionalmente a sua população verificada no Censo Demográfico 2010, do IBGE.

Durante a elaboração do Manual de Usos Consuntivos, foi realizada uma consolidação dos mapeamentos disponíveis à época para distribuir demandas municipais de água da indústria, mineração, abastecimento animal e irrigação.

A demanda de água municipal da indústria foi atribuída aos polígonos de área urbana.

No caso do abastecimento animal, como cerca de 98% da demanda total é atribuída ao rebanho bovino, a modelagem espacial utilizou um mapa consolidado de pastagens para atribuição dos valores municipais.

A demanda de irrigação por sua vez, é composta por três componentes: arroz, cana-de-açúcar e outras culturas. As demandas de irrigação do arroz inundado e da cana-de-açúcar de cada município foram atribuídas às áreas mapeadas dessas culturas, estabelecidas em estudos específicos (ANA, 2017a).

As demais culturas foram consideradas em conjunto, sendo a demanda municipal atribuída em função da proporção entre pivôs centrais e outros métodos de irrigação presentes no município: a demanda dos pivôs foi espacializada nas ottobacias onde foram identificados pivôs ativos em estudo específico (ANA & Embrapa, 2019); a demanda residual foi distribuída nas áreas agrícolas do mapeamento de uso da terra, descontadas todas as áreas de arroz, cana e pivôs, proporcionalmente ao tamanho das áreas dentro dos municípios e ottobacias.

A modelagem de demandas em ottobacias procura distribuir o uso da água nas áreas prováveis de captação/consumo. No caso da demanda de abastecimento urbano, a transferência foi realizada diretamente pelo cruzamento dos pontos de captação superficial com os polígonos de ottobacias. Nos demais casos, a transferência foi proporcional à área de intersecção entre os polígonos temáticos com atribuição de demanda e os polígonos das ottobacias.

O Balanço Hídrico Superficial calculado para o ISH, considera o somatório das demandas de retirada desses cinco setores usuários (humano urbano, humano rural, animal, indústria e irrigação) e relaciona com a quantidade de água disponível. Após o computo do comprometimento hídrico em determinado trecho, devolve-se ao curso d'água a parcela não consumida (retornos) que se soma a disponibilidade do trecho seguinte.

A distribuição das vazões de retorno foi realizada de maneira análoga às vazões de retirada a exceção da vazão de retorno do abastecimento urbano, que foi alocada nos pontos de lançamento de efluentes levantados no Atlas Esgotos (ANA, 2017b) e conforme valores ali estabelecidos.

O balanço hídrico subterrâneo é utilizado apenas no âmbito da Dimensão Humana. A disponibilidade subterrânea é originária do Atlas Brasil de Abastecimento (ANA, 2010) e a demanda do abastecimento humano urbano subterrâneo está associada aos pontos de captação subterrâneos.

2.3 FUNÇÃO DE RISCO

A exposição e a vulnerabilidade a determinado evento são os elementos-chave quando se estuda risco ou segurança. Assim, se de um lado, tem-se, em uma região, população que depende da água para sua sobrevivência e para suas atividades econômicas, portanto, exposta à ocorrência de eventos extremos, do outro, caberiam medidas de engenharia e de gestão de risco para reduzir tal vulnerabilidade.

No contexto do PNSH, o risco hídrico, derivado do balanço hídrico entre demanda e oferta de água, foi caracterizado em duas grandes tipologias:

Risco pós-déficit: corresponde ao valor em risco quando uma parcela da demanda não está sendo suprida – relação entre demanda e disponibilidade hídrica superior a 100%.

Risco iminente: corresponde ao valor em risco que pode ocorrer no limiar do déficit, porém, ainda antes de sua ocorrência. É progressivamente maior à medida que o resultado da relação entre demanda e disponibilidade hídrica se aproxima de 100%. Após se concretizar o déficit, uma parte da população ainda permanece em risco iminente enquanto outra parte se encontra no risco pós déficit. Nesse caso, o risco iminente decresce à medida que aumenta o risco pós-déficit.

Enquanto o balanço hídrico se propõe a apresentar o percentual de comprometimento hídrico através da razão ($dem/disp$), a função de risco é baseada no inverso do balanço, dado que:

- ✓ dem – Demanda Total de Retirada do manancial (m^3/s);
- ✓ $disp$ – Disponibilidade Hídrica do manancial (m^3/s);
- ✓ FR – Fator de Risco.

Se há déficit ($disp/dem < 1$):

$$FR_{(total)} = FR_{(Pós-déficit)} + FR_{(Iminente)}$$

$$FR_{(Pós-déficit)} = 1 - \left(\frac{disp}{dem}\right)$$

$$FR_{(Iminente)} = \frac{1}{3} \left(\frac{disp}{dem}\right)$$

Se não há déficit ($disp/dem \geq 1$):

$$FR_{(Pós-déficit)} = 0$$

$$FR_{(Iminente)} = \frac{1}{3} \left(\frac{disp}{dem}\right)^{-2}$$

A tabela 1 abaixo ilustra o Fator de Risco percentual para diferentes relações entre disponibilidade e demanda.

TABELA 1: EXEMPLIFICAÇÃO DO FATOR DE RISCO (FR)

	Disp	Dem	Disp/Dem	FR _(iminente)	FR _(pós-deficit)	FR _(total)
Pré-Déficit	300	100	3.00	3.70%	0.00%	3.70%
	200	100	2.00	8.33%	0.00%	8.33%
	150	100	1.50	14.81%	0.00%	14.81%
	120	100	1.20	23.15%	0.00%	23.15%
	110	100	1.10	27.55%	0.00%	27.55%
	100	100	1.00	33.33%	0.00%	33.33%
Pós-Déficit	90	100	0.90	30.00%	10.00%	40.00%
	80	100	0.80	26.67%	20.00%	46.67%
	50	100	0.50	16.67%	50.00%	66.67%
	20	100	0.20	6.67%	80.00%	86.67%
	10	100	0.10	3.33%	90.00%	93.33%

Após o cálculo do balanço hídrico para todo Brasil, são calculados os fatores de risco em cada ottobacia, de acordo com as equações apresentadas.

Conforme as metodologias definidas para cada caso, os riscos hídricos foram valorados em termos de número de pessoas (na dimensão humana do ISH) e de valores monetários (na dimensão econômica).

2.4 COMPOSIÇÃO DAS DIMENSÕES

De forma geral, os graus de Segurança Hídrica de cada uma das Dimensões, resultam de um média simples ou ponderada dos graus de segurança de cada indicador que a compõe. Os cálculos são realizados em cada ottobacia e os indicadores que apresentam valor nulo não participam da média.

Nos casos de operações envolvendo graus/níveis/classes de segurança hídrica predefinidos, os valores resultantes são reclassificados conforme o Quadro 2.1 para fins de apresentação das Dimensões.

Quadro 2.1 – Intervalos de Classe dos Graus de Segurança Hídrica

Símbolo	Intervalo	Grau
	1,00 - 1,5	Mínimo -1
	1,51 - 2,5	Baixo - 2
	2,51 - 3,5	Médio - 3
	3,51 - 4,5	Alto - 4
	4,51 - 5,0	Máximo - 5

3. DIMENSÃO HUMANA

A dimensão humana do ISH avalia a garantia da oferta de água para o abastecimento de todas as cidades do País. Busca quantificar a população exposta a maiores riscos de não atendimento e identificar regiões críticas.

Dado que cerca de 85% da população brasileira é urbana, o indicador restringe-se a avaliar o abastecimento de água urbano por município, considerando dois indicadores:

- Abastecimento da População Urbana
- Percentual de Cobertura da Rede de Abastecimento Urbano.

A composição da Dimensão Humana se dá a partir de uma média ponderada correspondendo a 70% do valor do grau associado ao abastecimento da população urbana e 30% do valor do grau associado à cobertura de rede, desde que este último grau seja inferior ao primeiro. A média é realizada para cada município brasileiro.

O grau de segurança por município é espacializado nas ottobacias que cruzam as áreas de setor censitário urbano (IBGE 2010) do município. Em ottobacias com habitantes de dois ou mais municípios, o grau calculado corresponde a uma ponderação pela população urbana de cada município na referida ottobacia. Essa população por sua vez é proporcional à área de intersecção dos setores censitários com as ottobacias.

Os valores finais obtidos por ottobacia são reclassificados conforme Quadro 2.1., para fins de apresentação.

Ottobacias localizadas em áreas não urbanas apresentam valor nulo para a dimensão humana.

3.1 GARANTIA DE ÁGUA PARA ABASTECIMENTO DA POPULAÇÃO URBANA

A avaliação da garantia de água foi realizada com base na disponibilidade hídrica dos mananciais superficiais e subterrâneos utilizados para abastecimento da população de cada sede municipal e na sua capacidade de atendimento às demandas.

As vazões demandadas para atendimento à população urbana municipal são estimadas no Manual de Usos Consuntivos (ANA, 2019). As estimativas de retirada de água para abastecimento humano municipais foram distribuídas entre os pontos de captação superficiais e subterrâneos conforme percentual e localização indicados no Atlas Brasil de Abastecimento (ANA, 2010). Durante o desenvolvimento do ISH, houve um processo de consistência e atualização,

alterando pontos de captação e respectivos percentuais de atendimento em alguns municípios.

Partindo do cálculo do Balanço Hídrico superficial e de um balanço hídrico subterrâneo baseado na vazão explotável estimada no Atlas Brasil (ANA, 2010), são obtidas as relações entre disponibilidades e demandas (Disp/Dem) nos trechos de rio de cada ponto de captação. De posse dessa relação, foi calculado o Fator de Risco (iminente e pós-déficit) de cada ponto de captação, conforme item 2.3.

Para fins desse indicador considerou-se que a quantidade de pessoas é o ativo em risco. Desta forma, a população em risco de desabastecimento é obtida multiplicando o Fator de Risco (FR) pela população urbana municipal (Contagem da população, IBGE 2017c) associada a cada ponto de captação, tal que população urbana em risco em cada município corresponde ao somatório da população em risco associada a cada ponto de captação do município.

Em alguns municípios, por carência de informação, a soma dos percentuais de atendimento de seus pontos de captação não totaliza 100%. Desta forma, foi aplicada uma correção no percentual de população em risco, dividindo seu valor pela soma do percentual de atendimento dos pontos de captação conhecidos de cada município.

Por fim, o valor total de população urbana em risco por município e seu respectivo valor percentual é associado a um grau de segurança em função da matriz de classificação apresentada no Quadro 3.1:

QUADRO 3.1 - GRAU DE SEGURANÇA MUNICIPAL EM FUNÇÃO DA POPULAÇÃO URBANA EM RISCO

<i>População Urbana em Risco (absoluta)</i>	<i>População Urbana em Risco (%)</i>				
	<i>0 - 20%</i>	<i>20 - 40%</i>	<i>40 - 60%</i>	<i>60 - 80%</i>	<i>80 - 100%</i>
< 2.000	5	5	4	4	3
2.000 - 5.000	5	4	3	3	2
5.000 - 10.000	4	3	3	2	2
10.000 - 50.000	4	3	2	2	1
> 50.000;	3	2	2	1	1

3.2 COBERTURA DA REDE DE ABASTECIMENTO URBANO

Esta variável foi utilizada para captura do grau de acesso à água pela população. Os percentuais de cobertura de rede de abastecimento público urbano foram obtidos a partir do SNIS (2017). quando não informado no SNIS, foram utilizados os dados de cobertura do Censo (IBGE 2010).

Os percentuais de cobertura foram associados a um grau de segurança hídrica conforme Quadro 3.2.

QUADRO 3.2 – GRAU DE SEGURANÇA MUNICIPAL EM FUNÇÃO DA COBERTURA DA REDE DE ABASTECIMENTO

<i>Grau de Segurança Adotada</i>	<i>Cobertura de Rede de Abastecimento (%)</i>	
	<i>Limite Inferior</i>	<i>Limite Superior (<=)</i>
1	0	80%
2	80%	90%
3	90%	95%
4	95%	98%
5	98%	100%

Na composição do ISH humano do município, considerou-se que a situação da cobertura de rede urbana deve funcionar apenas como fator penalizante, uma vez que sua existência plena não aumenta a segurança de um local com escassez hídrica.

Desta forma, o grau de segurança hídrica da cobertura de rede só é utilizado quando é menor que o grau da garantia de abastecimento humano, correspondendo a 30% do valor da dimensão humana.

3.3 ESTRUTURA DE CÁLCULO

Em resumo, cálculo do ISH na dimensão Humana se realiza através dos seguintes passos:

1. Calcula-se o Balanço Hídrico e os Fatores de Risco em toda a base hidrográfica. Esse resultado é utilizado nas dimensões humana, econômica e ecossistêmica.
2. Listam-se, por município, os pontos de captação superficiais e subterrâneos e o respectivo percentual de contribuição no abastecimento municipal por cada manancial.
3. Para cada ponto de captação superficial, atribui-se o Fator de Risco - FR (iminente e pós-deficit) referente à ottobacia do ponto de captação.
4. Para cada ponto de captação subterrâneo, faz-se o cálculo do Fator de Risco (iminente e pós-deficit) em função do balanço hídrico subterrâneo proveniente do Atlas Brasil de Abastecimento para o ponto de captação.
5. Aplica-se o FR dos pontos de captação aos respectivos percentuais populacionais, obtendo-se a população em risco iminente, em risco pós-déficit e em risco total.

6. Agrega-se o quantitativo de população urbana em risco por município e calcula-se seu respectivo valor percentual.
7. Para os casos em que o somatório do percentual de atendimento do município por ponto de captação é inferior a 100% (ou seja, quando há uma lacuna de informação), o percentual de população em risco do município é dividido pelo percentual de atendimento conhecido de cada município.
8. Associa-se um grau de segurança ao município a partir da matriz de classificação (Quadro 3.1).
9. Atribui-se um nível de segurança ao percentual de cobertura da rede urbana de distribuição de água dos municípios a partir do Quadro 3.2.
10. Calcula-se o ISH humano para cada município pela média ponderada dos dois indicadores, sendo 70% para a garantia do abastecimento humano e 30% para cobertura de rede, somente nos casos em que o grau de segurança da cobertura é inferior ao grau de segurança de garantia do abastecimento. Quando o grau de segurança da cobertura da rede é o maior, o ISH humano é dado apenas pelo grau de segurança da garantia do abastecimento.
11. Espacializa-se o grau de segurança nas ottobacias que cruzam os polígonos de setor censitário urbano do referido município. Na ottobacia compartilhada por dois ou mais municípios, o grau de segurança corresponde a uma ponderação pela população urbana de cada município na ottobacia.
12. Os municípios sem qualquer informação sobre ponto de captação do abastecimento, não tiveram o ISH calculado (6% dos municípios brasileiros).

4. *DIMENSÃO ECONÔMICA*

A dimensão econômica é composta por indicadores que buscam valorar os riscos dos setores econômicos que fazem uso de recursos hídricos no território nacional. Com base na divisão de setores econômicos, foram considerados dois indicadores:

- Garantia de Água para Agricultura e Pecuária
- Garantia de Água para atividade Industrial

Cabe ressaltar que os setores econômicos dependentes do abastecimento urbano de água (i.e., comércio e serviços) são contemplados no risco associado à dimensão humana, já que dependem dos mesmos sistemas de abastecimento e seus volumes de água utilizados compõem a demanda urbana total.

Para incorporar os setores que utilizam em maior proporção captações próprias de águas (irrigação, pecuária e indústria), valores monetários foram associados à produção para quantificar o dano potencial de não suprimento das demandas hídricas relacionadas à produção econômica. O valor em risco e seu percentual em relação ao total produzido pelo município, para cada atividade, foram classificados em níveis de segurança hídrica municipais.

Conforme apresentado no item 2.2, para o cálculo do balanço hídrico conhece-se para cada ottobacia a demanda por água para irrigação, abastecimento animal e indústria. Assim, baseando-se na demanda por água associada às ottobacias, proveniente do Manual de Usos Consuntivos, os graus de segurança hídrica obtidos por município foram transferidos para as ottobacias que interceptam o município, desde que haja demanda por água relacionada ao setor econômico considerado.

Assim, todas as ottobacias inseridas em um município receberam um mesmo grau de segurança hídrica, conforme a atividade considerada.

Para definição do indicador de Garantia de Água para Agricultura e Pecuária, realizou-se uma média dos graus de segurança de agricultura e pecuária na ottobacia, considerando-se um peso de 70% para a agricultura e 30% para a pecuária. Na ausência de uma das duas atividades, adotou-se para atividade faltante o grau 5. Não havendo demanda nem para agricultura nem para dessedentação animal, o indicador foi considerado de classe nula.

Por fim, o grau de segurança da dimensão econômica na ottobacia é dado pelo menor valor entre os atribuídos aos indicadores a) Garantia de água para Agricultura e Pecuária e b) Garantia de água para uso Industrial. Caso não haja nenhuma dessas atividades econômicas na ottobacia, a dimensão econômica é considerada nula.

4.1 GARANTIA DE ÁGUA PARA AGRICULTURA E PECUÁRIA

Este indicador busca representar o valor em risco associado à produção primária, focado na agricultura irrigada e na pecuária, dado que a necessidade de extração de água superficial para garantia de produção é mais bem definida e representativa nessas duas atividades do setor primário.

A valoração da agricultura irrigada por município foi obtida por uma composição de informações disponíveis na Pesquisa Agrícola Municipal-PAM (IBGE, 2017a) e no Atlas Irrigação (ANA, 2017a).

A composição é necessária tendo em vista que os dados informados na PAM se referem a toda produção municipal e este indicador de segurança hídrica foca na parcela irrigada da produção.

No Atlas Irrigação estão disponíveis as informações de área equipada para irrigação de arroz inundado, de cana-de-açúcar, das demais culturas com pivô central e demais culturas com outros sistemas de irrigação. Também se dispõe de um coeficiente municipal que indica o número médio de safras por ano, que varia de acordo com as principais culturas irrigadas e o manejo do solo e da água realizados no município. O coeficiente de safra varia de 1,0 a 2,5.

Os coeficientes foram multiplicados pelas áreas equipadas definindo-se uma área colhida irrigada de referência para arroz, cana-de-açúcar e demais culturas (somando-se as áreas ajustadas de pivôs com as de outros sistemas).

Para valorar a parte irrigada da produção foi estimada uma taxa regional média de produção (R\$/ha) partindo-se dos dados da PAM de *Valor da Produção Anual (R\$)* e a *Área Cultivada (ha)* por município das culturas arroz, cana-de-açúcar e total (soma dos valores totais de culturas temporárias e culturas permanentes), relativos ao ano de 2017.

A taxa de produção (R\$/ha) foi calculada por Região Rural (IBGE, 2015) dividindo a soma do *Valor da Produção Anual (R\$)* pela soma das respectivas áreas cultivadas dos municípios inseridos em cada região. Ficou definida, assim, uma taxa regional para cada um dos 3 casos (arroz, cana e demais culturas).

O valor da produção irrigada de arroz, cana e demais culturas em cada município foi estimado multiplicando-se suas taxas de produção regionais pelas respectivas áreas colhidas irrigadas de referência. Para considerar o ganho de produtividade gerado pelos equipamentos de irrigação, a taxa média, para o caso das demais culturas, foi duplicada.

O valor da produção irrigada municipal foi definido pela soma dos valores de produção irrigada de arroz, cana e demais culturas.

Para a alocação de valor aos rebanhos animais, teve-se como ponto de partida os quantitativos de rebanhos, auferidos ao final do ano, em cada município apresentados na Pesquisa da Pecuária Municipal-PPM do IBGE (2017b). Este rebanho não está vinculado a um valor de produção, pois este valor só é auferido quando de fato se extrai um produto do animal ou quando ocorre o abate. Não obstante, cotações de mercado permitem inferir um valor de referência para o rebanho vivo, que seria seu valor de corte, por meio da representação do valor de cada cabeça animal viva.

Desta feita, para estimar valor intrínseco do rebanho, que é o que o pecuarista arrisca perder caso não se tenha água suficiente em um determinado evento de escassez hídrica, foi realizada uma cotação dos valores de mercado a partir do portal Agrolink (Agrolink, 2018).

Foram obtidos os valores do mês de dezembro de 2017 do boi gordo, búfalo, suíno (tipo carne), caprino e ovino adulto e frango, conforme Tabela 2. As referências de preço são para 15 kg de carne de cada um desses rebanhos, exceto o frango que é relativo a 1kg. Uma vez que esses valores são aqueles de referência para a carne, estabeleceu-se o percentual de 60% para o valor intrínseco do rebanho. Para equinos foi adotado o mesmo valor dos bovinos.

TABELA 2 : VALORES DE REFERÊNCIA PARA VALORAÇÃO DA PECUÁRIA MUNICIPAL

	Bovino	Bubalino	Suíno	Caprino	Ovino	Galináceo
Valor adotado por cabeça (60%)	2.080,00	2.800,00	300,00	180,00	180,00	3,38
Valor por cabeça (a preço de carne)	3.466,67	4.666,67	500,00	300,00	300,00	5,63
Peso abate	400	500	100	30	30	2,50
R\$/15kg	130	140	75	150	150	2,25
KG da cotação	15	15	15	15	15	1
Tipo cotado no Agrolink	Boi Gordo	Búfalo	Suíno (Carne)	Adulto	Adulto	Frango

O valor da produção pecuária por município foi obtido multiplicando-se o valor adotado por cabeça da tabela 2 pelo número de cabeças no município informado na PPM de 2017.

Após o estabelecimento dos valores de produção (em reais) por município para agricultura e pecuária, esses foram rateados nas ottobacias inseridas na área do município, proporcionalmente à demanda de retirada de água para irrigação e dessedentação animal, respectivamente.

O Fator de Risco (FR) de cada ottobacia (item 2.3), definido com base no balanço hídrico, foi multiplicado pelo valor da produção, resultando num valor em risco para agricultura e para pecuária na ottobacia.

Esses valores em risco, estabelecidos por ottobacia, foram reaglutinados por município, resultando num valor em risco municipal, para cada atividade.

O valor em risco e seu percentual em relação ao valor total da produção foram classificados em graus de segurança hídrica para a agricultura irrigada e pecuária, conforme Quadro 4.1 e Quadro 4.2, nessa ordem.

QUADRO 4.1 – GRAU DE SEGURANÇA MUNICIPAL EM FUNÇÃO DO VALOR DE PRODUÇÃO AGRÍCOLA IRRIGADA EM RISCO

Valor em risco (mi R\$)	Valor em Risco (%)				
	0 - 10%	10 - 20%	20 - 30%	30 - 40%	> 40%
< 1,0	5	5	4	3	3
1,0 - 5,0	5	4	3	3	2
5,0 - 10,0	4	3	3	2	2
10,0 - 50,0	3	3	2	2	1
> 50,0	3	2	2	1	1

QUADRO 4.2 – GRAU DE SEGURANÇA MUNICIPAL EM FUNÇÃO DO VALOR DE PRODUÇÃO PECUÁRIA EM RISCO

Valor em risco (mi R\$)	Valor em Risco (%)				
	0 - 10%	10 - 20%	20 - 30%	30 - 40%	> 40%
< 1,0	5	5	4	3	3
1,0 - 5,0	5	4	3	3	2
5,0 - 15,0	4	3	3	2	2
15,0 - 35,0	3	3	2	2	1
> 35,0	3	2	2	1	1

Os graus de segurança hídrica para agricultura e pecuária, a nível municipal, foram então transferidos para as ottobacias da área do município onde havia, respectivamente, demandas para irrigação e dessedentação animal. Assim, por atividade, todas as ottobacias inseridas no município receberam um mesmo grau de segurança.

Para as demandas de pecuária, exclusivamente, devido ao seu caráter difuso no território, optou-se por não associar uma classe de segurança para bacias com valores de retirada de água muito pequenos (inferiores a 0,1 L/s).

Por fim, para compor o indicador de Garantia de Água para Agricultura e Pecuária, realizou-se uma média das classes de agricultura e pecuária na ottobacia,

considerando-se um peso de 70% para a agricultura e 30% para a pecuária. Na ausência de uma das duas atividades, adotou-se para atividade faltante a classe 5. Não havendo demanda nem para agricultura nem para dessedentação animal, o indicador foi considerado de classe nula.

4.2 GARANTIA DE ÁGUA PARA USO INDUSTRIAL

O indicador de segurança hídrica na Indústria busca valorar o risco de não atendimento às demandas industriais por água, baseando-se no Valor Agregado Bruto – VAB Industrial calculado na pesquisa Produto Interno Bruto dos Municípios – PIBMunic, (IBGE,2016).

Semelhante à metodologia adotada para as atividades do setor primário (item 4.1), o VAB industrial municipal de 2016 foi transferido para as ottobacias inseridas na área do município, de forma proporcional às demandas de retirada de água para a indústria, conforme dados do Manual de Usos Consuntivos (ANA, 2019).

Com base no resultado do balanço hídrico entre disponibilidade e demanda por água, foi calculado o Fator de Risco (FR) de cada ottobacia (ver item 2.3) que, multiplicado pelo VAB industrial, resultou no valor em risco da atividade industrial na ottobacia.

O valor em risco de cada ottobacia na área do município foram somados resultando num valor em risco municipal para a indústria. Esse valor em risco e seu percentual em relação ao seu VAB industrial foram classificados em níveis de segurança hídrica, conforme Quadro 4.3.

Os graus de segurança hídrica municipais foram transferidos para as ottobacias inseridas na área do município onde havia demanda de retirada de água para a indústria, tal que todas essas ottobacias receberam o mesmo grau de segurança definido para seu município.

QUADRO 4.3 – GRAU DE SEGURANÇA MUNICIPAL EM FUNÇÃO DO VALOR AGREGADO BRUTO DO SETOR INDUSTRIAL EM RISCO

Valor em risco (mi R\$)	Valor em Risco (%)				
	0 - 10%	10 - 20%	20 - 30%	30 - 40%	> 40%
< 1,0	5	5	4	3	3
1,0 - 10,0	5	4	3	3	2
10,0 - 25,0	4	3	3	2	2
25,0 - 150,0	3	3	2	2	1
> 150,0	3	2	2	1	1

4.3 ESTRUTURA DE CÁLCULO

Em resumo, cálculo do ISH na dimensão Econômica se realiza através dos seguintes passos:

1. Calcula-se o valor de produção municipal para cada uma das 3 atividades econômicas consideradas, conforme metodologia descrita nos itens 4.1 e 4.2.
2. Rateia-se o valor de produção municipal nas ottobacias inseridas na área do município de forma proporcional à demanda de retirada de água na ottobacia, estabelecida no Manual de Usos Consuntivos (ANA, 2019). O rateio ocorre por atividade, tal que o valor da agricultura irrigada se relaciona com a demanda para irrigação, o valor da pecuária com a demanda para abastecimento animal e o valor da indústria com a demanda para uso industrial.
3. Multiplica-se Fator de Risco (FR) de cada ottobacia (ver item 2.3) pelo seu respectivo valor da produção, estabelecendo-se um valor em risco da atividade na ottobacia.
4. Os valores em risco de cada atividade são somados por município, definindo-se o valor em risco municipal da atividade e seu respectivo percentual em risco.
5. Os valores e percentuais em risco municipais são classificados em níveis de segurança hídrica, conforme Quadro 4.1, Quadro 4.2 e Quadro 4.3.
6. Os graus de segurança municipais de cada atividade são transferidos para as ottobacias inseridas na área do município onde se verifica demanda por água relacionada à atividade em questão, de forma que todas as ottobacias dentro do município recebem o mesmo grau de segurança.
7. Exclusivamente no caso da pecuária, devido ao seu caráter difuso no território, optou-se por não associar uma classe para ottobacias com valores de retirada de água muito pequenos (inferiores a 0,1 L/s).
8. Nos casos em que a ottobacia com demanda da referida finalidade esteja dividida entre dois ou mais municípios cujos graus de segurança são diferentes, seu grau é calculado como a média ponderada dos graus de segurança dos municípios que a compõem com relação às suas áreas dentro da ottobacia.
9. O grau de segurança hídrica para o indicador *Garantia de Água para Agricultura e Pecuária* é estabelecido por uma média ponderada, sendo 70% associado à agricultura irrigada e 30% associado à pecuária. Caso na ottobacia se verifique apenas um dos dois usos, adota-se classe 5 para o uso não existente. Não

existindo demanda para irrigação nem abastecimento animal na ottobacia, essa não é classificada e recebe valor nulo.

10. Nas ottobacias onde não há demanda para uso industrial, o indicador *Garantia de Água para uso Industrial* não é classificado, recebendo valor nulo.
11. Por fim, o grau de segurança hídrica da Dimensão Econômica é definido em nível de ottobacia a partir da adoção do mínimo grau dentre os graus dos indicadores *Garantia de Água para Agricultura e Pecuária* e *Garantia de Água para uso Industrial*.

5. DIMENSÃO ECOSSISTÊMICA

Foram considerados três indicadores para caracterizar a dimensão ecossistêmica, buscando mensurar condições minimamente saudáveis para o meio ambiente do ponto de vista da segurança hídrica. Os indicadores escolhidos foram:

- Quantidade de água adequada para usos naturais
- Qualidade de água adequada para usos naturais
- Segurança das barragens de rejeitos de mineração

Os graus de segurança hídrica da dimensão ecossistêmica na escala de ottobacia são obtidos através de uma média simples dos graus de segurança não nulos de cada indicador. Desta forma, indicadores nulos não influenciam no computo da dimensão.

Para apresentação, o valor médio obtido para a dimensão ecossistêmica é classificado conforme Quadro 2.1.

5.1 QUANTIDADE DE ÁGUA ADEQUADA PARA USOS NATURAIS

Este indicador foi elaborado como forma de contemplar a quantidade mínima de vazão necessária para usos naturais associados a um determinado trecho de rio, nas condições de ocorrência de vazões baixas.

Foi adotado, para tanto, o percentual remanescente da vazão natural com permanência de 95% no trecho ($Q_{95\%}$), após as retiradas de água para usos consuntivos. Ou seja, a partir do resultado do balanço hídrico (item 0) que fornece o percentual de comprometimento hídrico, foi estabelecido o percentual de vazão remanescente dado por 100% menos o resultado do balanço. Quando o comprometimento é superior ou igual a 100%, o percentual de vazão remanescente, quando da ocorrência da $Q_{95\%}$, é 0(zero).

Os valores percentuais de vazão $Q_{95\%}$ remanescente foram classificados em faixas conforme Quadro 5.1. Os trechos de rio que naturalmente possuem regime intermitente (onde a $Q_{95\%}$ é zero) e não contam com aporte de água de reservatórios não foram classificados, apresentando para esse indicador grau nulo.

QUADRO 5.1 - GRAU DE SEGURANÇA EM RELAÇÃO AO PERCENTUAL DE VAZÃO REMANESCENTE

<i>Grau de Segurança Adotada</i>	<i>Vazão Remanescente (razão de $Q_{95\%}$)</i>
1	0 – 5%
2	5 – 10%
3	10 – 30%
4	30 – 50%
5	≥ 50%

5.2 QUALIDADE DE ÁGUA ADEQUADA PARA USOS NATURAIS

O indicador de qualidade considera o atendimento à qualidade da água em cada trecho de rio, em função da concentração de DBO_{5,20}, estimada no âmbito do Atlas Esgotos - Despoluição de bacias hidrográficas (ANA,2017).

A concentração de DBO ao longo dos trechos de rio foi calculada considerando as condições de lançamento dos efluentes domésticos urbanos e a capacidade de diluição do curso d'água baseada na vazão Q_{95%} e nas características hídricas de reservatórios, conforme o caso.

As condições de lançamento do esgoto urbano decorrem da adoção de uma carga de 54gDBO/hab.dia, de dados de população urbana dos municípios e das características de coleta e tratamento de esgoto doméstico de cada sede urbana do Brasil, com ano referência 2013.

A classificação da concentração de DBO em níveis de segurança hídrica foi baseada nas concentrações limites das 4 classes de enquadramento estabelecidas na Resolução CONAMA nº. 357/2005, considerando que quanto menor a DBO, mais favorável é o equilíbrio natural do ecossistema. Adicionalmente, foi incorporada uma classe mais crítica (nível de segurança Muito Baixo) para as concentrações acima de 20mg/L de DBO.

Os limites de concentração e respectivos níveis de segurança constam do Quadro 5.2

QUADRO 5.2 - CLASSIFICAÇÃO DE SEGURANÇA EM RELAÇÃO À QUALIDADE DA ÁGUA

<i>Grau de Segurança Adotada</i>	<i>Concentração de DBO_{5,20} no trecho (mg/L)</i>
1	≥ 20
2	10 - 20
3	5 - 10
4	3 - 5
5	< 3

Os trechos de rio com disponibilidade hídrica nula não foram considerados nesse indicador, apresentando classe de segurança nula, de forma que este indicador não participa do computo da dimensão ecossistêmica.

5.3 *SEGURANÇA DAS BARRAGENS DE REJEITO DE MINERAÇÃO*

A presença de barragens de rejeitos de mineração e os possíveis impactos associados ao seu rompimento para os trechos de jusante compõem o indicador de segurança de barragens de rejeito de mineração.

Para construção do indicador utilizou-se o cadastro do Relatório de Segurança de Barragens – RSB, relativo ao ano de 2015, que conta com 17.259 barragens cadastradas. Deste total, foram selecionadas as barragens com finalidade de contenção de rejeitos, totalizando um montante de 724. O relatório também apresenta as informações de Categoria de Risco (relacionado a características estruturais da barragem) e Dano Potencial Associado (impacto causado por um eventual rompimento).

Ademais, foram consideradas as 449 barragens que compuseram o Plano Nacional de Segurança de Barragens 2016 (PNSB 2016) do DNPM. Diversas delas já correspondiam às barragens do RSB. Todos os registros foram levados em conta, de forma a contemplar a situação de maior risco.

A partir da classificação de Risco Estrutural e Dano Potencial, definiu-se o nível de segurança hídrica que varia apenas de 1 a 3, considerando que não existe uma condição de alta segurança para o ecossistema na presença de barragens de rejeito. A classificação é apresentada no Quadro abaixo:

QUADRO 5.3 - GRAU DE SEGURANÇA HÍDRICA CONFORME RISCOS DAS BARRAGENS DE REJEITO

		<i>Dano Potencial (Impacto)</i>		
		Baixo	Médio	Alto ou Sem informação
<i>Risco Estrutural</i>	Baixo	3	3	2
	Médio	3	2	1
	Alto ou Sem informação	2	1	1

Com o grau de segurança definido para cada barragem, e a partir da otobacia em que cada barragem se localiza, replicaram-se os valores para cada uma das bacias de jusante, até a foz do curso d’água barrado. Os trechos com mais de uma barragem a montante receberam o valor do nível de segurança mais crítico.

Nos trechos de rio sem a influência de barramentos a montante, esse indicador foi considerado nulo.

6. DIMENSÃO DE RESILIÊNCIA

A dimensão de resiliência foi concebida para retratar os níveis de segurança hídrica relacionados à a ocorrências de eventos críticos de secas no território brasileiro. Neste sentido, procurou-se utilizar indicadores de suscetibilidade natural a esses eventos, do ponto de vista climático e hidrológico. Considerou-se que quanto menos suscetível é determinado local, maior é sua segurança hídrica.

Por outro lado, buscando contemplar o impacto, na segurança hídrica, de medidas adaptativas a situações de escassez de água, agregou-se um indicador de condições artificiais de aumento de resiliência que é baseado na existência ou não de reservatórios artificiais de armazenamento de água.

Os indicadores das condições artificiais e naturais que compõem a dimensão de resiliência são:

- Reservação Artificial (condição artificial)
- Reservação Natural (condição natural)
- Potencial de Armazenamento Subterrâneo (condição natural)
- Variabilidade da chuva (condição natural)

Para composição da Dimensão de Resiliência, inicialmente foi definida o grau de segurança da condição natural dada pela média simples dos graus de segurança hídrica de seus três indicadores: Reservação Natural, Potencial de Armazenamento Subterrâneo e Variabilidade da Chuva.

Numa segunda etapa, foi realizada uma média simples entre o grau da condição artificial de resiliência, definido pela Reservação Artificial, e o grau da condição natural. Entretanto, a condição artificial só é considerada se contribuir para o aumento da segurança hídrica, ou seja, se sua classe de segurança é superior à classe da condição natural. Caso contrário, a dimensão de resiliência é definida apenas pelos indicadores da condição natural (Quadro 6.1).

Os graus de segurança hídrica para cada um dos quatro indicadores foram definidos a nível de ottobacia e conforme metodologia apresentada nos itens a seguir.

QUADRO 6.1 - COMPOSIÇÃO DA DIMENSÃO DE RESILIÊNCIA

<i>Condição</i>	<i>Peso Relativo</i>
Condição Artificial (CA)	50% se grau CA < CN
	0% se grau CA ≥ CN
Condição Natural (CN)	50% se grau CA < CN
	100% se grau CA ≥ CN

6.1 RESERVAÇÃO ARTIFICIAL

A componente de reservação artificial busca retratar a segurança hídrica pela oferta potencial de água fornecida pelo conjunto de reservatórios existentes no País.

O Índice de Reservação Artificial foi calculado para o centroide de cada área de contribuição hidrográfica (ottobacia), em função do termo apelidado como “volume potencial” – correspondendo à estimativa da propensão de determinado usuário em captar água reservada para abastecer uma região. A variável foi concebida como uma analogia ao cálculo do potencial elétrico (ou gravitacional) em um ponto devido à distribuição espacial de cargas ou massas.

Dessa forma, considerou-se uma disponibilidade potencial de água em um ponto como a soma de contribuições individuais de reservatórios, sendo cada contribuição diretamente proporcional ao volume reservado e inversamente proporcional à distância de cada reservatório ao ponto, como ilustrado na Figura 2.

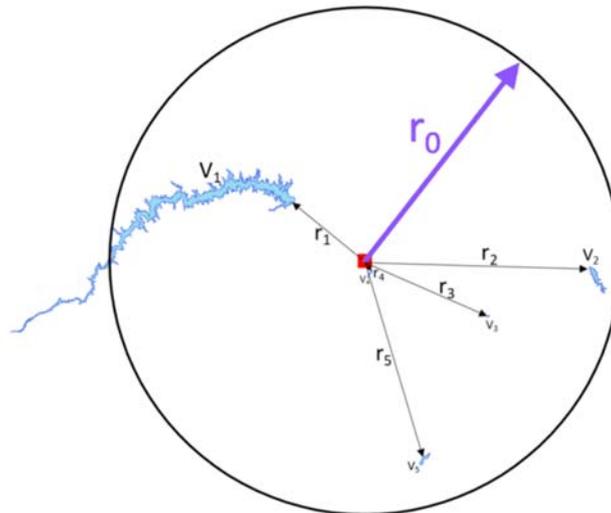


FIGURA 2- METODOLOGIA DE CÁLCULO DO INDICADOR DE RESERVAÇÃO ARTIFICIAL

São considerações adicionais que também se fizeram necessárias para o cálculo do indicador:

- ✓ Utilizou-se a capacidade (volume máximo) dos reservatórios no lugar do volume, onde aplicável. Para os reservatórios localizados na região do semiárido e de que se dispunha de informações, utilizou-se a capacidade de recuperação anual em vez do volume máximo, por corresponder a um valor mais realista da reservação artificial que, para a região, é comprometida pelos altos índices evaporimétricos e baixa pluviometria, como apresentado no projeto Reservatórios do Semiárido Brasileiro – Hidrologia, Balanço Hídrico e Operação (ANA, 2017).
- ✓ Introdução de um raio de corte no entorno do centroide de cada ottobacia, delimitando um círculo de raio de 50 km, para consideração somente dos reservatórios que se inserem nesse limite de distância.

- ✓ Utilização do inverso do quadrado da menor distância entre o ponto do centroide e o reservatório.
- ✓ Adotou-se como mínima distância (quando, por exemplo, o ponto avaliado cai dentro da área do reservatório) o valor de 1,0 metro.

Assim sendo, calculou-se o Volume Potencial ponto a ponto como sendo:

$$Vol_{potencial}(r \leq r_0) = \sum_{i=0}^{n_{Res}(r \leq r_0)} \frac{Vol_i^{m\acute{a}x}}{r_i^2}$$

Em que:

- $Vol_{potencial}(r \leq r_0)$ representa o valor do volume potencial associado a um ponto de grade contido dentro de uma área delimitada por um círculo de raio r_0 centrada nesse ponto.
- $Vol_i^{m\acute{a}x}$ representa o volume máximo do reservatório i , situado dentro da área delimitada pelo círculo de raio r_0 .
- r_i representa a distância do ponto ao i -ésimo reservatório contido ou interceptado pela área delimitada por r_0 .
- $n_{Res}(r \leq r_0)$ representa o número total de reservatórios contidos ou interceptados pela área do círculo de raio r_0 .

Com isso, calculou-se para o centroide de cada ottobacia o volume potencial que caracteriza a reservação artificial.

Desta forma, o cálculo do indicador se realiza através dos seguintes passos metodológicos:

1. Calcula-se o volume potencial associado a cada ottobacia, tendo em vista a base de centroides de cada bacia e a base de massas d'água com volumes preenchidos, conforme metodologia apresentada.
2. Faz-se a classificação em quantis para identificação de um grau de segurança associado ao valor de reservação potencial da bacia (Quadro 6.2). Essa classificação foi realizada de forma semiautomática, com a divisão em quatro quantis para valores acima de 1,0 hm^3/km^2 e a adoção de grau 1 para valores inferiores a esse, como forma de contornar o grande número de registros com valor zero.

QUADRO 6.2 - CLASSIFICAÇÃO DE SEGURANÇA EM FUNÇÃO DO VOLUME POTENCIAL DE RESERVAÇÃO

Grau de Segurança Adotado	Volume Potencial por Ottobacia (hm^3/km^2)	
	Limite Inferior	Limite Superior
1	0,000	1,000
2	1,000	1,9022
3	1,9022	4,0671
4	4,0671	16,2072
5	16,2072	-

6.2 RESERVAÇÃO NATURAL

De um modo geral, locais onde as vazões de referência $Q_{95\%}$ estão próximas aos valores das vazões médias de longo termo Q_{MLT} correspondem a regiões onde estão situados aquíferos com recargas importantes. Em áreas onde o inverso se observa, com a $Q_{95\%}$ muito inferior à Q_{MLT} , verifica-se que usualmente as contribuições de vazão subterrânea são mínimas (como em bacias de substrato cristalino).

Isto posto, como a razão entre a $Q_{95\%}$ e a Q_{MLT} se associa diretamente ao armazenamento natural de água nas bacias hidrográficas, este indicador reflete, de modo indireto, as garantias da vazão de base por recarga de águas subterrâneas de uma dada região. Assim, em locais onde a razão possui maiores valores, identifica-se uma capacidade superior de regularização natural das vazões por longos períodos, fator este que reduz a vulnerabilidade à seca da região, contribuindo para uma maior segurança hídrica. Em locais em que o oposto ocorre, identifica-se uma maior vulnerabilidade a períodos mais críticos de oferta hídrica.

Desta maneira, definiu-se a componente de regularização natural pela relação entre a vazão mínima natural $Q_{95\%}$ e a vazão média de longo termo Q_{MLT} . Estas vazões são obtidas da base de disponibilidade hídrica da ANA, a nível de ottobacia.

Os passos metodológicos para a definição do indicador são como segue:

1. A partir da base disponibilidade hídrica por ottobacia, calcula-se a razão entre a vazão com 95% de permanência e a vazão média de longo termo.
2. Associa-se um grau de segurança a cada ottobacia a partir da divisão semiautomática em quantis de todos os valores obtidos, da seguinte forma: filtram-se do universo os valores nulos e divide-se o espaço em cinco quantis para definição dos limites das classes e, por fim, adicionam-se os valores nulos dentro do primeiro quantil.
3. Os limites de razão $Q_{95\%} / Q_{MLT}$ e os respectivos graus de segurança são apresentados no Quadro 6.3.

QUADRO 6.3- GRAU DE SEGURANÇA HÍDRICA EM FUNÇÃO DE Q_{95} / Q_{MLT}

Grau de Segurança Adotado	Razão Q_{95} / Q_{MLT}	
	Limite Inferior	Limite Superior
1	0,000	0,085
2	0,085	0,161
3	0,161	0,253
4	0,253	0,373
5	0,373	-

6.3 POTENCIAL DE ARMAZENAMENTO SUBTERRÂNEO

Este indicador busca retratar a segurança hídrica por meio de uma análise do potencial de reservação de águas subterrâneas nos aquíferos do país, estimado com base no coeficiente de infiltração (CI), o qual é representado por um valor médio em cada aquífero.

Os dados para os aquíferos são provenientes do Mapa das Áreas Aflorantes dos Aquíferos e Sistemas Aquíferos do Brasil, na escala 1:1.000.000, elaborado a partir da análise de consistência, adequação e reclassificação de informações geológicas e hidrogeológicas existentes, de autorias e escalas diversas, e tendo como referencial principal a Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo (CPRM, 2006). Os aquíferos e sistemas aquíferos foram classificados em três domínios: i) Poroso; ii) Fraturado; e iii) Cárstico. A reclassificação de polígonos de unidades geológicas e seus agrupamentos, de acordo com suas características hidrogeológicas, gerou a segregação de 181 Aquíferos e Sistemas Aquíferos Aflorantes. O Mapa de Áreas Aflorantes dos Aquíferos e Sistemas Aquíferos foi produzido pela Coordenação de Águas Subterrâneas (COSUB) da Agência Nacional de Águas (ANA, 2013).

O quadro 6.4 apresenta o grau de segurança hídrica adotado a partir das faixas de valores dos coeficientes de infiltração dos sistemas aquíferos. Desta forma, foi estabelecido um grau de segurança 1 para aquíferos pouco produtivos e com CI abaixo de 1%, escalonando até adotar o grau 5 para os aquíferos muito produtivos e com CI maior ou igual a 15%. Alguns aquíferos complementares que não dispunham de dados confiáveis de coeficiente de infiltração foram avaliados em função do seu domínio, de forma que para unidades pouco produtivas ou não aquíferas foi adotado o grau de segurança 1 e para aquíferos porosos ou cársticos foi arbitrado o grau de segurança 5.

QUADRO 6.4 - GRAU DE SEGURANÇA EM FUNÇÃO DO CRITÉRIO DE COEFICIENTE DE INFILTRAÇÃO E TIPO DE AQUÍFERO

Grau de Segurança Adotado	Critério de CI e tipo de Aquífero
5	CI ≥ 15% e Porosos ou Cársticos sem CI
4	10% < CI < 15%
3	5% < CI < 10%
2	1% < CI < 5%
1	CI < 1% e unidades pouco produtivas

A transferência da informação de grau de segurança para as ottobacias foi realizada a partir do cruzamento do centroide de cada ottobacia com os polígonos de aquífero aflorante, adotando-se para cada ottobacia o grau relativo ao aquífero no qual o ponto de seu centroide se insere.

6.4 VARIABILIDADE PLUVIOMÉTRICA

Esta parcela é representada pelo coeficiente de variação (CV) das séries de precipitação anual das estações pluviométricas do banco de dados da ANA (Hidro) espacializadas para todo o território nacional por meio da técnica de interpolação inverso do quadrado da distância, considerando-se para cada ponto de grade as 4 estações mais próximas de seu centroide.

O CV foi interpolado em uma grade de $0,25^\circ \times 0,25^\circ$, tendo sido utilizadas 3.368 séries de chuvas. A informação, originalmente em grade, foi transferida para a otobacia através da média dos valores provenientes da intersecção entre o centroide da otobacia e o valor da quadrícula. Os valores associados a cada otobacia foram classificados em graus de segurança a partir da distribuição em 5 classes:

QUADRO 6.5 - GRAU DE SEGURANÇA EM FUNÇÃO DA VARIABILIDADE PLUVIOMÉTRICA

Grau de Segurança Adotado	Variabilidade Pluviométrica	
	Limite Inferior	Limite Superior
1	0,25	-
2	0,21	0,25
3	0,19	0,21
4	0,17	0,19
5	0,00	0,17

7. ÍNDICE DE SEGURANÇA HÍDRICA

7.1 COMPOSIÇÃO DO ÍNDICE

O Índice de Segurança Hídrica – ISH é o resultado da composição de suas quatro dimensões: Humana, Econômica, Ecológica e de Resiliência, consideradas em igualdade de condições.

O valor do ISH é definido, então, pela média aritmética simples dos resultados não nulos das 4 dimensões em cada área de contribuição hídrica (ottobacia) da base hidrográfica ottocodificada do Brasil.

No processo de cálculo, foram considerados os valores não inteiros dos graus de segurança hídrica, ou seja, o resultado das operações internas que definiram cada dimensão. Para fins de apresentação, os valores obtidos foram reclassificados conforme Quadro 2.1.

O quadro 7.1 apresenta a relação dos dados utilizados na construção de cada indicador e sua respectiva fonte.

QUADRO 7.1 –RESUMO DOS PLANOS DE INFORMAÇÃO PARA CONSTRUÇÃO DOS INDICADORES

Dimensão	Planos de Informação
Humana	Balanco hídrico (Dem/Disp) por ottobacia - ANA Demandas hídricas(m ³ /s) por tipo de uso, município e ottobacia - Manual de Usos Consuntivos-ANA Pontos de captação para abastecimento urbano - Atlas de Abastecimento Urbano - ANA População urbana municipal - IBGE Polígonos de setor censitário urbano - IBGE Percentual de cobertura de rede de abastecimento urbano – Snis e IBGE
Econômica	Balanco hídrico (Dem/Disp) por ottobacia - ANA Demandas hídricas(m ³ /s) por tipo de uso, município e ottobacia - Manual de Usos Consuntivos-ANA Valor da produção agrícola municipal - PAM - IBGE Área cultivada por município – PAM - IBGE Área irrigada por município – Atlas Irrigação - ANA Regiões Rurais - IBGE Quantitativos de rebanho por município - PPM - IBGE Valor de cabeça animal, por tipo de rebanho - agrolink adaptado Valor Agregado Bruto da indústria - IBGE Polígono das áreas municipais - IBGE
Ecológica	Balanco hídrico (Dem/Disp) por ottobacia - ANA Concentração de DBO por ottobacia - Atlas Esgotos - ANA Categoria de risco e dano potencial de barragens - RSB - ANA
Resiliência	Polígonos de reservatórios e seus volumes - ANA Vazões médias e Q95 por ottobacia - ANA Polígonos de aquíferos aflorantes classificados por tipo e seus coeficientes de infiltração - ANA Coeficiente de variação da chuva anual (Grade) - ANA

7.2 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

No Plano Nacional de Segurança Hídrica, o ISH foi calculado para dois cenários relativos aos anos 2017 e 2035. As mudanças nos cenários se deram em 2 variáveis: nas estimativas de demanda por água do Manual de Usos Consuntivos, o que altera o resultado do balanço hídrico e conseqüentemente todos os indicadores baseados nesse fator, e na estimativa da população urbana, alterando apenas o ISH da Dimensão Humana.

Para apresentação dos resultados em mapa, os graus de segurança obtidos em cada dimensão foram classificados conforme Quadro 2.1.

Os resultados do ISH e de cada uma de suas dimensões para o cenário 2035, tendo como unidade espacial o polígono das ottobacias da base hidrográfica BHO2013, são apresentados nas Figuras 3 a 7.

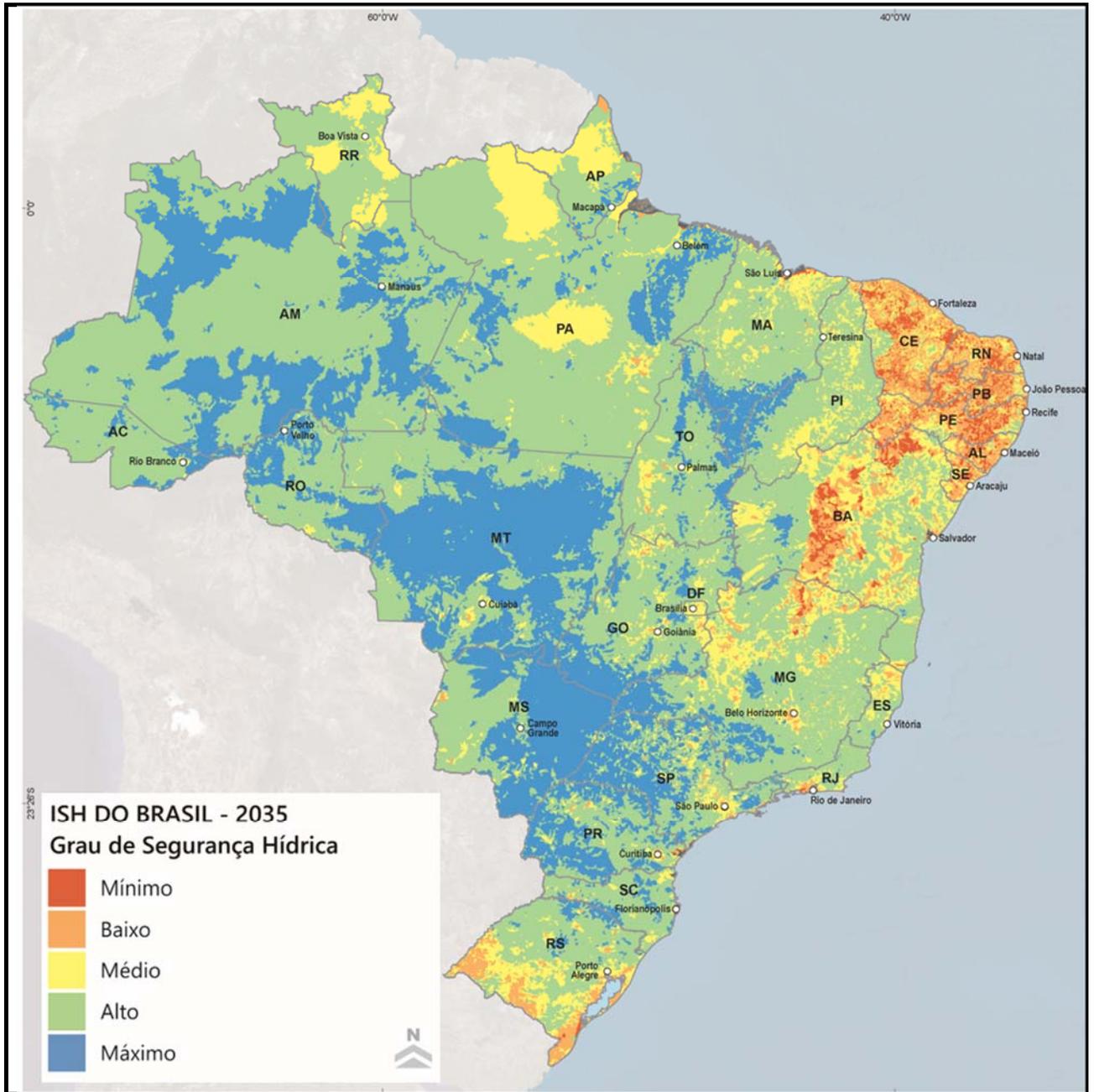


FIGURA 3 - INDÍCE DE SEGURANÇA HÍDRICA - ISH 2035

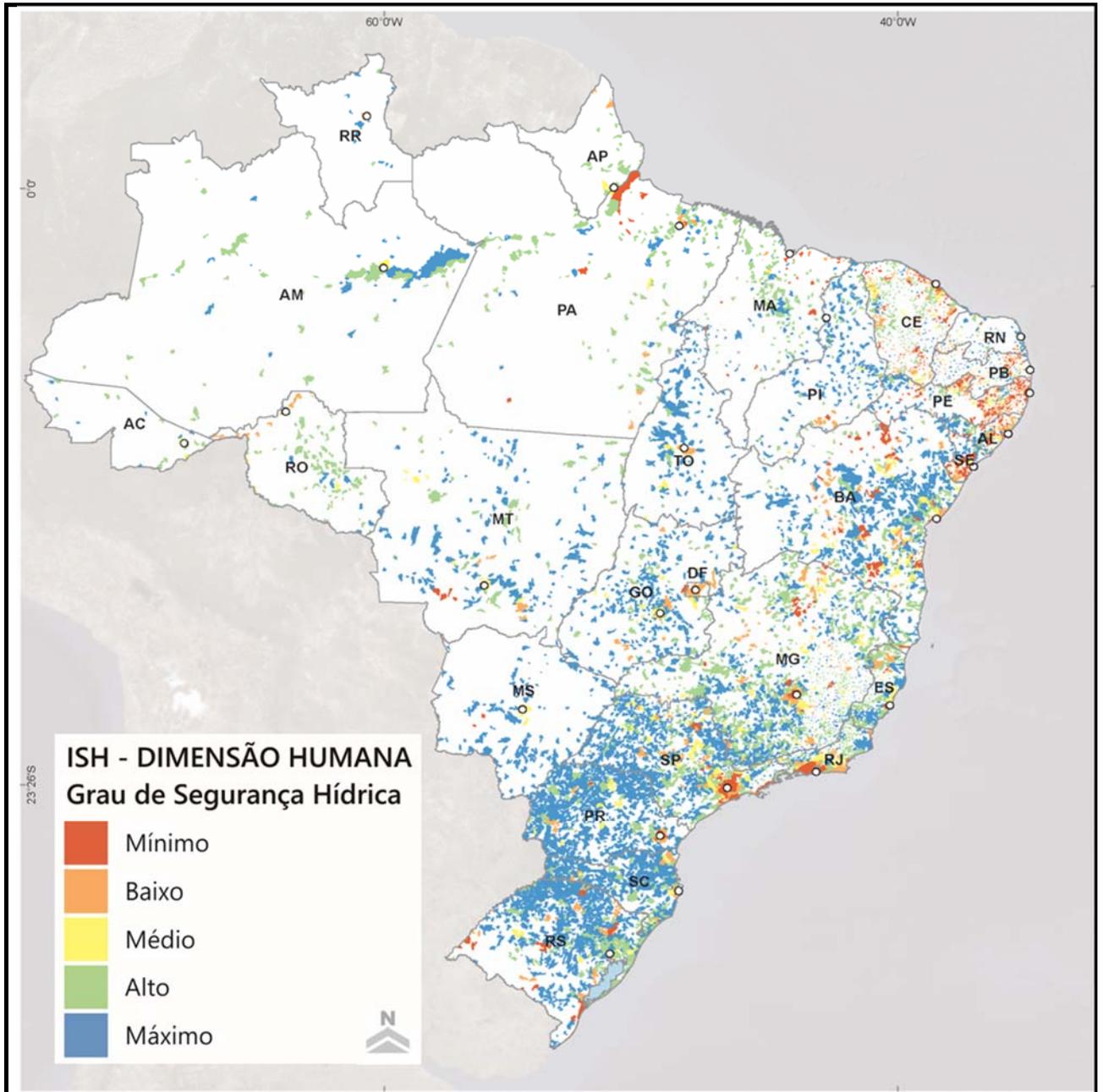


FIGURA 4 - Dimensão Humana do ISH 2035

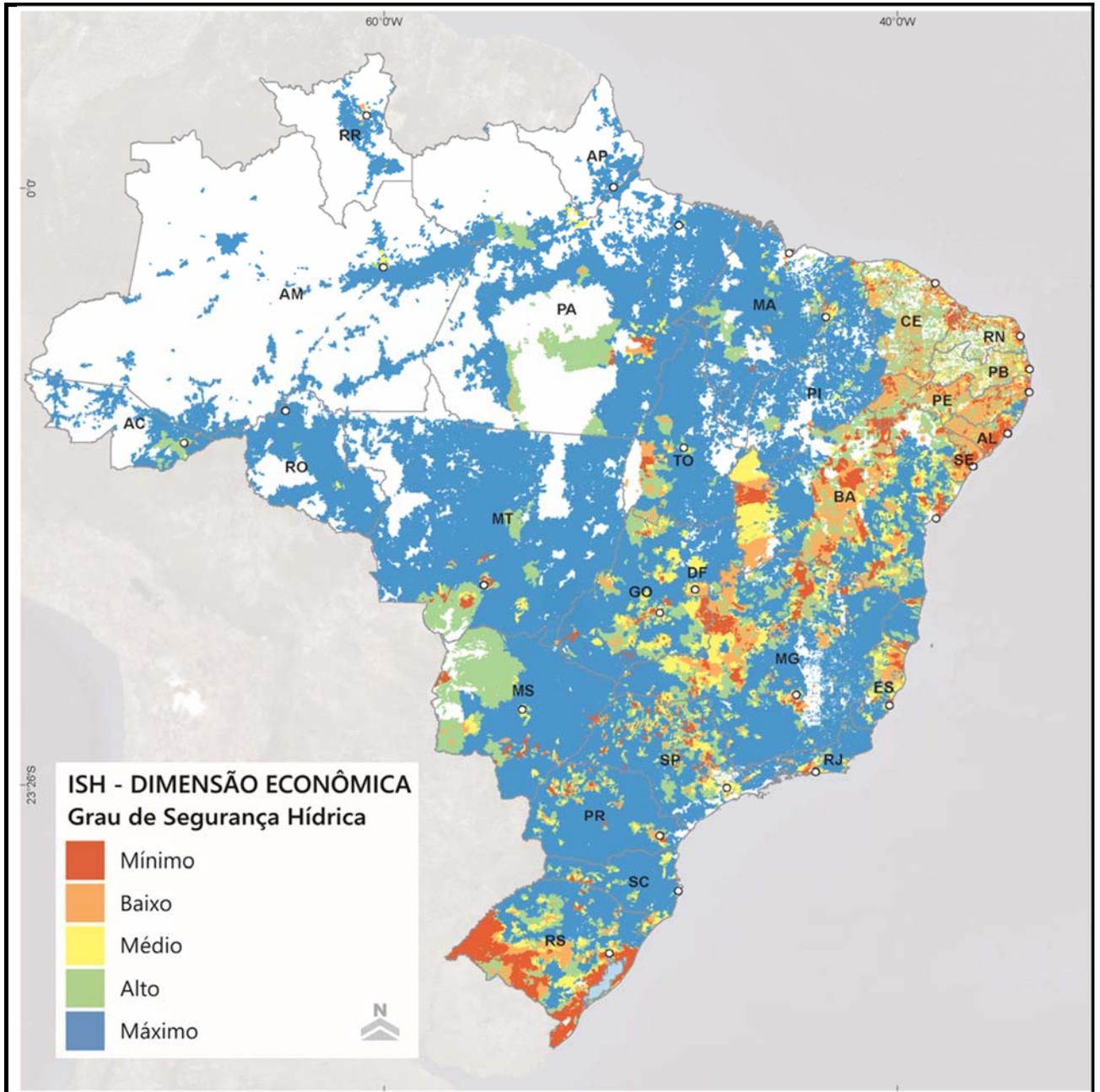


FIGURA 5 - Dimensão Econômica do ISH 2035

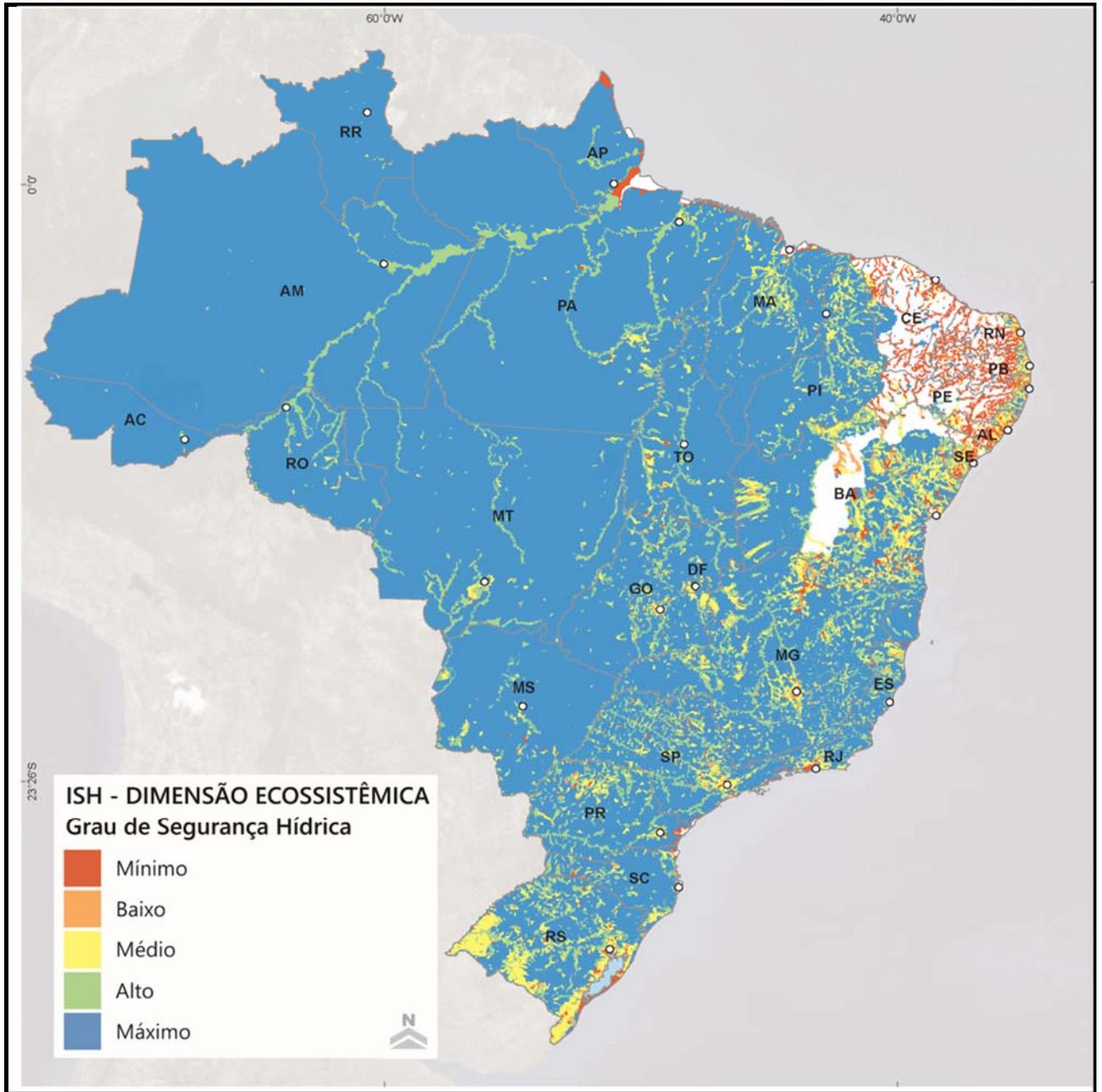


FIGURA 6 - Dimensão Ecosistêmica do ISH 2035

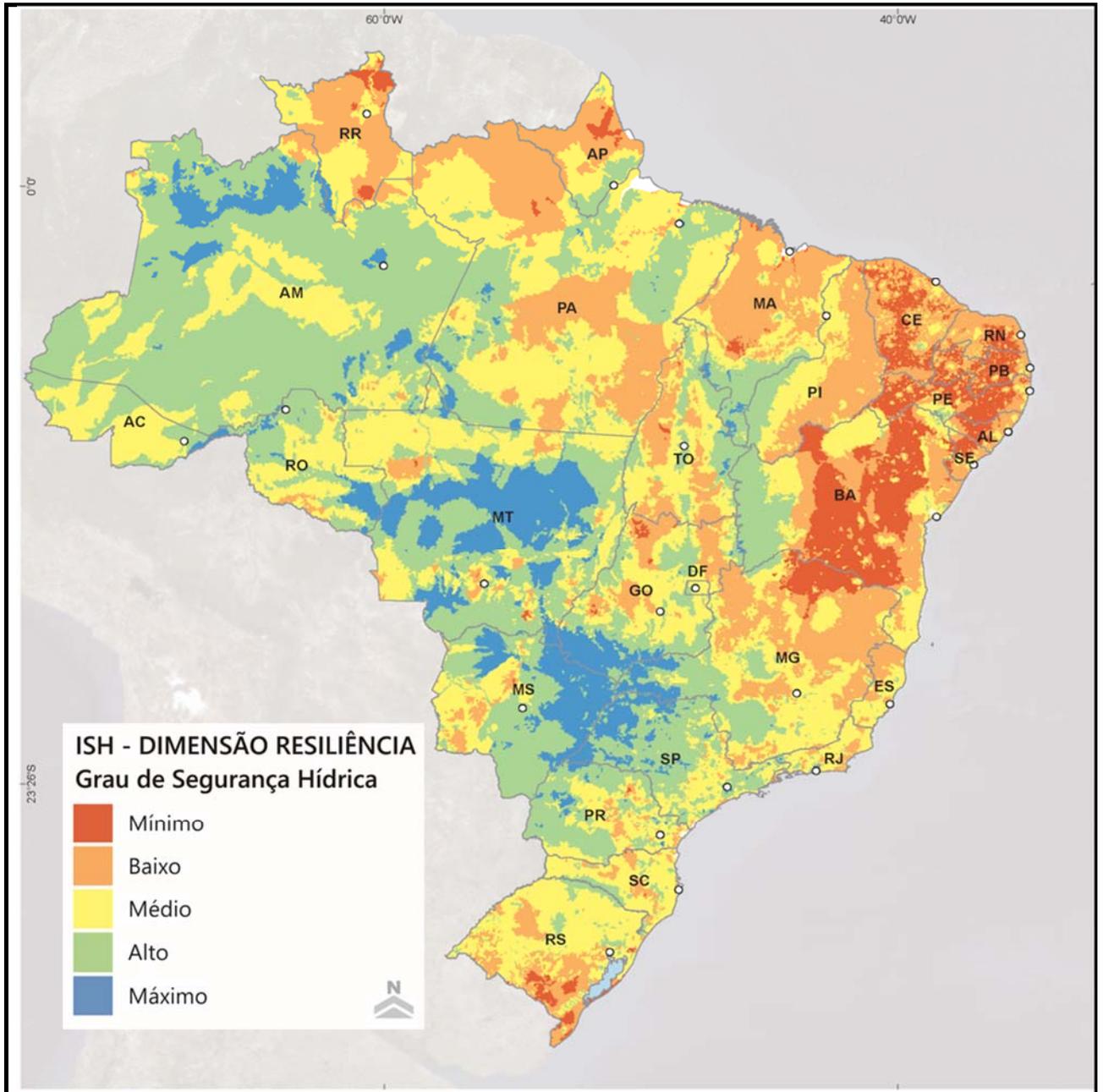


FIGURA 7 - Dimensão Resiliência do ISH 2035

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Atlas Brasil: Abastecimento Urbano de Água. Brasília: ANA, 2010.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Base Hidrográfica otocodificada - BHO2013. Brasília: ANA, 2013. Disponível em: <http://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/main.home?uuid=7bb15389-1016-4d5b-9480-5f1acdadd0f5>

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Relatório de Segurança de Barragens - RSB. Brasília: ANA, 2015. Disponível em: <http://www2.ana.gov.br/Paginas/servicos/cadastros/barragens/RelatoriodeSegurancadeBarragens.aspx>

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Atlas Irrigação. Brasília: ANA, 2017a. Disponível em: <http://atlasirrigacao.ana.gov.br/>

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Atlas Esgotos - Despoluição de Bacias Hidrográficas. Brasília: ANA, 2017b. Disponível em: http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/publicacoes/ATLASESGOTOSDespoluicaoodeBaciasHidrograficasResumoExecutivo_livro.pdf

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Manual de usos consuntivos de água. Brasília: ANA, 2019. Disponível em: http://www.snirh.gov.br/porta1/snirh/centrais-de-conteudos/central-de-publicacoes/ana_manual_de_usos_consuntivos_da_agua_no_brasil.pdf

Agência Nacional de Águas e Embrapa Milho e Sorgo. Levantamento da agricultura irrigada por pivôs centrais no Brasil - 2. ed. - Brasília: ANA & Embrapa, 2019. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/porta1/snirh/centrais-de-conteudos/central-de-publicacoes/levantamento-da-agricultura-irrigada-por-pivos-centrais-2019>

Agrolink - Portal Agrolink. Agrolink, 2017. Disponível em: <https://www.agrolink.com.br/cotacoes/>

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Demográfico: IBGE, 2010. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-demografico/demografico-2010/universo-caracteristicas-da-populacao-e-dos-domicilios>

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Produto Interno Bruto dos Municípios: IBGE, 2016. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pib-munic/tabelas>

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Regiões Rurais: IBGE, 2015. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/divisao-regional/15780-regioes-rurais.html?=&t=o-que-e>

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Pesquisa da Pecuária Municipal – PPM: IBGE, 2017a. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9107-producao-da-pecuaria-municipal.html?edicao=22651&t=resultados>

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Pesquisa Agrícola Municipal – PAM: IBGE, 2017b. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9117-producao-agricola-municipal-culturas-temporarias-e-permanentes.html?edicao=22566&t=resultados>

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Estimativa da População: IBGE, 2017c. Disponível em: ftp://ftp.ibge.gov.br/Estimativas_de_Populacao/Estimativas_2017/serie_2001_2017_TCU.xls

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto: SNIS, 2017. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/diagnostico-agua-e-esgotos/diagnostico-ae-2017>

Agência Nacional de Águas e Embrapa Milho e Sorgo. Levantamento da agricultura irrigada por pivôs centrais no Brasil – 2. ed. – Brasília: ANA & Embrapa, 2019. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/central-de-publicacoes/levantamento-da-agricultura-irrigada-por-pivos-centrais-2019>