

PROF. DRA. VIRGINIA GRACE BARROS – UDESC



SEGURANÇA HÍDRICA E MUDANÇA CLIMÁTICA:

*o que você
precisa saber?*





Sumário

1	INTRODUÇÃO	3
2	REVISÃO DE CONCEITOS	6
2.1	HIDROLOGIA E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS	6
2.1.1	CICLO HIDROLÓGICO	6
2.1.2	BACIA HIDROGRÁFICA	9
2.1.3	BALANÇO HÍDRICO.....	10
2.1.4	ANO HIDROLÓGICO	12
2.1.5	TEMPO DE CONCENTRAÇÃO	12
2.1.6	VAZÃO DE PERMANÊNCIA	12
2.1.7	VAZÃO DE REFERÊNCIA	13
2.1.8	VAZÃO OUTORGÁVEL	13
2.1.9	GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS.....	13
2.2	MUDANÇAS CLIMÁTICAS.....	18
2.2.1	PROJEÇÕES CLIMÁTICAS.....	19
2.2.2	MODELOS CLIMÁTICOS.....	20
2.2.3	SIMULAÇÕES DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS	22
3	IMPORTÂNCIA DE DADOS	23
4	FERRAMENTAS DISPONÍVEIS.....	24
5	CONCLUSÕES	25
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	26



1 INTRODUÇÃO

Esta capacitação se destina a relacionar conceitos sobre como as mudanças climáticas influenciam os recursos hídricos e de que forma podemos, no presente, estimar o impacto dessas mudanças. E mais importante, estarmos preparados para enfrentá-las. Apesar de fundamental, não só para o desenvolvimento, mas também para a sobrevivência da sociedade, o manejo dos recursos hídricos em todo o mundo ainda está aquém do necessário. Em muitas regiões, a visão da sociedade e governantes apenas se dirige para este assunto, quando ocorre algum evento extremo, como por exemplo, seca ou inundação (MADANI, 2019), deixando as ações de prevenção (mais econômicas) em último plano.

A água doce é um bem natural finito e sua disponibilidade diminui gradativamente, como mostra o Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Observatório do Clima – SEEG/OG (2020). Entre os fatores que se relacionam ao aumento de seu consumo e/ou redução da disponibilidade podem ser citados o crescimento populacional, a expansão das fronteiras agrícolas, a urbanização, a degradação do meio ambiente (CECH, 2018; TUCCI, 2005; TUCCI, 2009) e as mudanças climáticas (UNESCO; UN-WATER, 2020). Observa-se que a qualidade das águas tem sido impactada pelo uso do solo, além disso, os aumentos de temperatura irão alterar as velocidades de reações químicas nas águas e aumentar o risco de contaminação das mesmas.

Segundo o Programa de Avaliação da Água das Nações Unidas - WWAP (2016) 78% dos empregos no mundo dependem da água e, de acordo com a Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO) e Água das Nações Unidas (UN-Water) (2020) o consumo de água aumentou seis vezes nos últimos cem anos, crescendo 1% ao ano em 2020. A UNESCO e UN-Water (2020) apresentam, ainda, que atualmente em torno de quatro bilhões de pessoas no mundo sofrem de escassez física severa de água ao menos em um mês por ano, quadro que tende a se agravar devido às mudanças climáticas. Estima-se que, até 2050, 685 milhões de pessoas terão acesso reduzido à água doce em 10% devido às alterações do clima.



Li e Fang (2021) apontam que a intensidade dos efeitos das mudanças climáticas pode variar de acordo com as características de cada região. Esta visão é compartilhada por Dosdogru *et al.* (2020), que apresentam, ainda, a interferência do uso e ocupação do solo em seu trabalho. Para garantir este recurso tão importante é necessário que sejam feitos estudos, revelando os efeitos da ocupação, do clima e futuros usos na disponibilidade hídrica de uma região. Estudos deste porte têm maior eficácia quando tratados na escala da bacia hidrográfica, que, de acordo com a Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997 (BRASIL, 1997) é a unidade de gestão dos recursos hídricos no território brasileiro.

Somado à mudança da cobertura do solo, cenários futuros apresentados pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas – IPCC (2019a), apontam aquecimento global médio de 1,5 a 2 °C até 2030, quando comparado ao período pré-industrial. De acordo com o relatório especial do IPCC (2019a), eventos extremos, secas e chuvas intensas, já têm se tornado mais frequentes em algumas regiões da América do Sul, uma tendência crescente para o futuro. A UNESCO e UN-Water (2020) afirmam que os efeitos das mudanças climáticas se dão em cascata, de modo que com menor precipitação, menor será a umidade do solo, a vazão nos rios e a recarga de aquíferos. Entretanto, a magnitude desse efeito está intrinsecamente ligada às características geológicas, à vegetação, às propriedades do solo e aos usos de cada região (LI; FANG, 2021). Assim, estudos sobre como o ciclo hidrológico pode ser afetado por futuras mudanças se fazem necessários (IPCC, 2014).

Fica claro que avaliações que envolvem cenários futuros seja de clima, seja de alteração de uso do solo, necessitam de abordagens robustas que envolvem diferentes ferramentas. Neste contexto, a modelagem e simulação matemática se mostra de grande ajuda, devido à complexidade dos eventos que ocorrem numa bacia. Por meio da modelagem é possível criar cenários futuros com mudanças no clima, uso e ocupação do solo, entre outros, para se estudar as respostas causadas à hidrologia, ao solo e à qualidade da água. A partir deste conhecimento deve-se buscar formas de organizar a ocupação territorial da região de modo sustentável (UZEIKA, 2009).



Destaques

78% dos empregos no mundo dependem da água

O consumo de água aumentou 6x nos últimos 100 anos

4 bilhões de pessoas no mundo sofrem de escassez física severa de água ao menos em 1 mês por ano

Estima-se que, até 2050, 685 milhões de pessoas terão acesso reduzido à água doce em 10% devido às alterações do clima

É necessário que sejam feitos estudos, revelando os efeitos da ocupação, do clima e futuros usos na disponibilidade hídrica de uma região

4 bilhões de pessoas no mundo sofrem de escassez física severa de água ao menos em 1 mês por ano

Estima-se que, até 2050, 685 milhões de pessoas terão acesso reduzido à água doce em 10% devido às alterações do clima

É necessário que sejam feitos estudos, revelando os efeitos da ocupação, do clima e futuros usos na disponibilidade hídrica de uma região

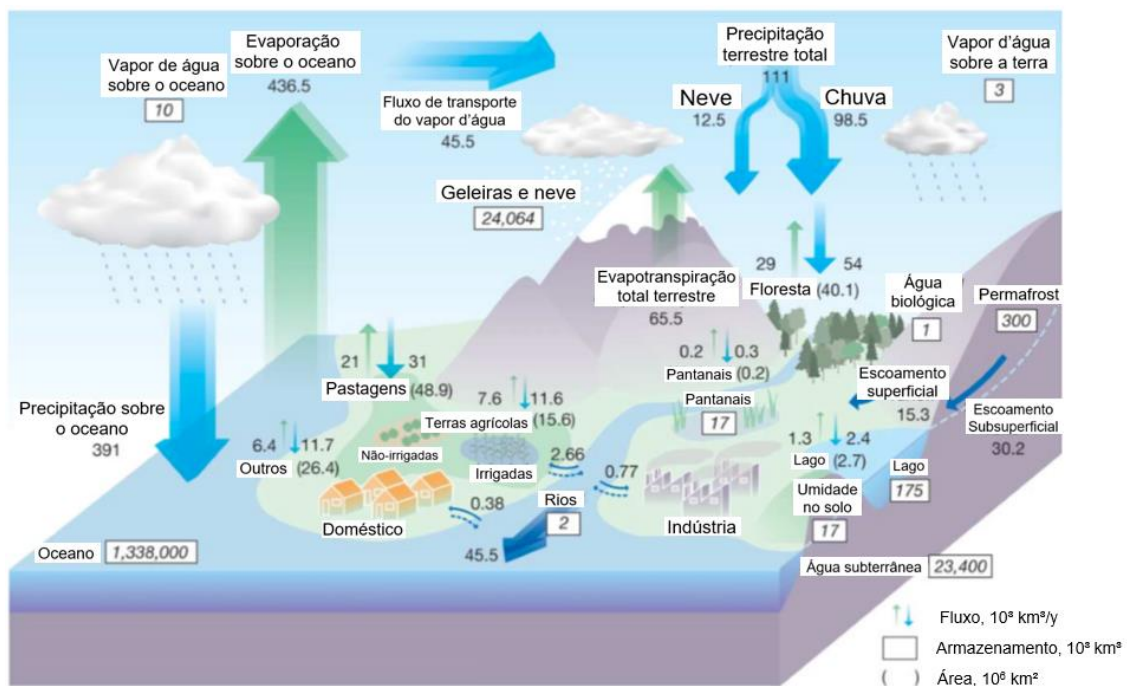
2 REVISÃO DE CONCEITOS

2.1 HIDROLOGIA E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS


2.1.1 CICLO HIDROLÓGICO

De acordo com Chow, Maidment, Mays (1988) e Xavier (2005) o ciclo hidrológico é o ponto central da hidrologia. É um processo contínuo, sem começo ou fim, com diversas etapas, denominadas de processo hidrológico. A **Figura 1**, adaptada de Oki e Kanae (2006), traz uma representação de todas essas etapas, além dos fluxos transportados e armazenados em nível global, salvo Antártica.

Figura 1 - Ciclo Hidrológico e Armazenamento



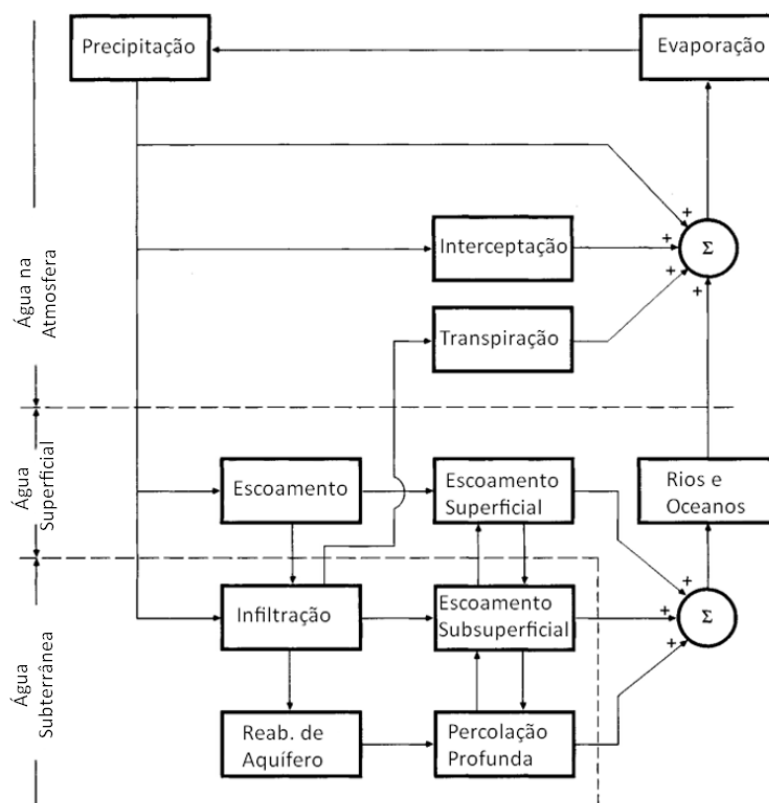
Fonte: Adaptado de Oki e Kanae (2006).



Já a **Figura 2** exibe um diagrama da interação entre os componentes do ciclo, apresentados a seguir:

- a) **Evaporação** – é a passagem da água do meio líquido para o gasoso (vapor d'água), tornando-se parte da atmosfera. Ocorre principalmente nos oceanos, lagos e rios, e, em menor intensidade, pelo solo;
- b) **Transpiração** – condiz sobre a perda de água das plantas para a atmosfera. Fator com grande importância em áreas com vasta vegetação;
- c) **Precipitação** – o vapor d'água é transportado e acende, ao ponto em que condensa e precipita sobre a terra e oceano;
- d) **Escoamento Superficial** – a precipitação pode ser interceptada pela vegetação ou atingir diretamente o solo, em ambos os casos, se houver fluxo de água acima do solo, é denotado como escoamento superficial. Parte deste volume, volta para a atmosfera através da evaporação;
- e) **Infiltração** – corresponde à penetração da água da chuva no solo;
- f) **Escoamento Subsuperficial** – corresponde ao movimento da água infiltrada pelas camadas mais superficiais do solo, principal componente na criação e preservação do escoamento em rios, córregos e lagos;
- g) **Percolação** – definida pela movimentação da água dentro do perfil do solo. Pode ser rasa (escoamento subsuperficial) ou profunda, esta última responsável pela recarga dos aquíferos.

Figura 2 - Interação dos Componentes do Ciclo Hidrológico





Fonte: Adaptado de Chow, Maidment, Mays (1988).

Cada componente do ciclo hidrológico – precipitação, escoamento superficial, armazenamento de águas superficiais e subterrâneas e evaporação – tem potencial de alterar a qualidade de água de outro componente (TUCCI, 2009). Ainda, de acordo com Chow, Maidment, Mays (1988) e Xavier (2005), aspectos como tipo de cobertura do solo, tipo e parâmetros do solo e intensidade da chuva têm direta influência na qualidade e quantidade de precipitação que infiltra ou escoam no terreno. Dentre as ações que mais afetam o percentual de infiltração da precipitação, a urbanização é evidenciada, devido ao alto valor de impermeabilização (JACOBSON, 2011; JIANG; ZEVENBERNGEN; MA, 2018).


“

Dentre as ações que mais afetam o percentual de infiltração da precipitação, a urbanização é evidenciada, devido ao alto valor de impermeabilização.

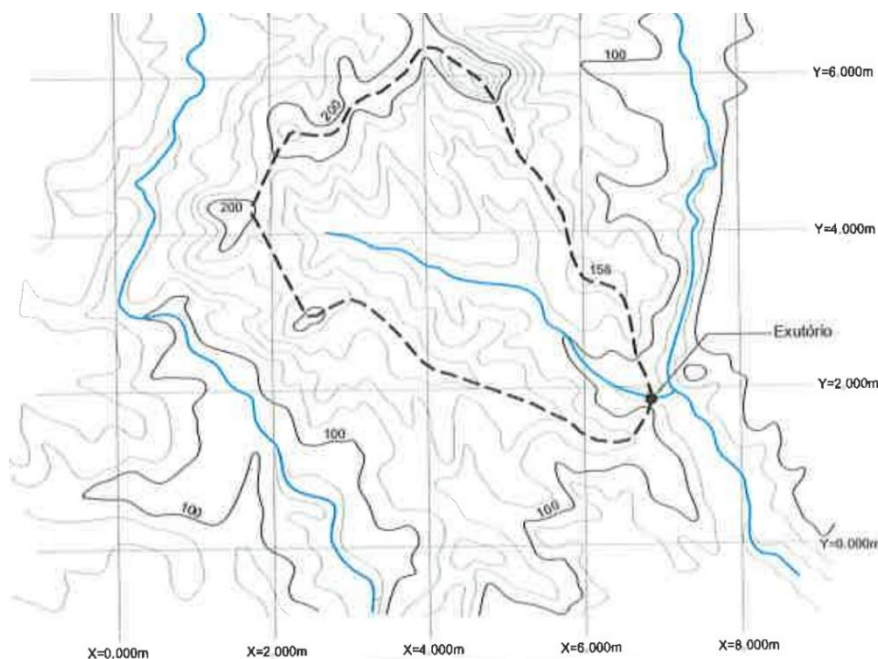



2.1.2 BACIA HIDROGRÁFICA

Cada rio possui uma área bem definida, delimitada pelos divisores topográficos de maior cota, que capta toda e qualquer precipitação que ali ocorre, e a direciona para o canal principal, esta área é chamada de área de captação ou de drenagem (GRIBBIN, 2013). A definição de uma bacia hidrográfica requer a definição de um curso d'água, de um ponto ou seção de referência ao longo deste curso d'água e de informações sobre o relevo da região (COLLISCHONN; TASSI, 2008).

Um exemplo de uma bacia hidrográfica delimitada sobre um mapa topográfico é apresentado pela **Figura 3**. É possível, entretanto, que mais de um curso d'água esteja presente, e, neste caso, deve-se determinar qual o rio principal (VIESSMAN; LEWIS; KNAPP, 1989).

Figura 3 - Bacia Hidrográfica Delimitada em Mapa Topográfico



Fonte: Adaptado de Collischonn e Dornelles (2013).

2.1.3 BALANÇO HÍDRICO

O balanço hídrico calcula o volume de água em uma determinada área, geralmente é utilizada a bacia hidrográfica. A equação fundamental para o cálculo do balanço hídrico se resume na diferença entre o volume de água que entra na bacia e o volume que sai, como é apresentado pela **Equação 1** a seguir (RIGHETTO, 1998).

$$Q_e - Q_s = \Delta V \quad (1)$$


Onde:

- Q_e representa o volume de água que entra na bacia [m^3];

- Q_s o volume de água que sai da bacia [m^3], e;

- ΔV corresponde à variação do volume armazenado [m^3].

Entretanto, segundo o autor, a equação pode se tornar mais detalhada em virtude das informações necessárias e do estudo que será efetuado. Detalhamento sobre as



parcelas que compõem cada um dos volumes mencionados são extremamente comuns, um exemplo deste detalhamento é a **Equação 2**.

$$\Delta V = Pt - Qt - Gt - Et - Tt \quad (2)$$

Onde:

- Pt o volume precipitado [m^3];
- Qt o volume do escoamento superficial [m^3];
- Gt o volume do escoamento subterrâneo [m^3];
- Et o volume da evaporação [m^3] e;
- Tt o volume da transpiração [m^3].


De acordo com Collischonn e Tassi (2008) é comum determinar o balanço para espaços de tempo específicos. Nestes casos, utiliza-se uma variação da **Equação 1**, exemplificada para um balanço em escala horária pela **Equação 3**, a seguir:

$$\frac{\Delta V}{\Delta t} = P - ET - Q \quad (3)$$

onde:

- ΔV é a variação do volume de água armazenado na bacia [m^3];
- Δt é o intervalo de tempo considerado [s];
- P é a intensidade da precipitação [m^3/s];
- ET é a evapotranspiração [m^3/s] e;
- Q é o escoamento [m^3/s].

Ao utilizar períodos de escala anual ou maior, pode-se considerar $\Delta V = 0$, ou seja, volume de entrada na bacia é igual ao volume de saída.



Com base no balanço hídrico de uma bacia, a hidrologia define conceitos que auxiliam o entendimento e gestão das águas. Dentre os principais, estão: o ano hidrológico, o tempo de concentração, a vazão média, a vazão de permanência, a vazão outorgável.

2.1.4 ANO HIDROLÓGICO

O ano hidrológico é definido como um período contínuo de 12 meses, com contagem iniciada no começo de período chuvoso do local, e finalizada ao término do período seco. Como seu início e fim estão ligados ao clima, diferentes locais podem ter seu ano hidrológico começando e terminando em épocas diferentes (SIMON; PICKBRENNER; MARCUZZO, 2013). Observa-se que análises hidrológicas devem ser feitas levando em consideração o ano hidrológico local.


2.1.5 TEMPO DE CONCENTRAÇÃO

O tempo de concentração, Collischonn e Tassi (2008), é o tempo necessário para que toda a bacia (ou área de estudo) contribua para a vazão na seção de saída, ou interesse. Em outras palavras, é o tempo que a partícula de chuva que precipita no ponto mais remoto da bacia leva, escoando superficialmente, até chegar na seção de estudo.

Dentre os aspectos da bacia que mais afetam o tempo de concentração estão a declividade e o curso d'água. A declividade atua principalmente na velocidade do escoamento, quanto maior for a declividade, maior a velocidade e menor o tempo necessário para efetuar o percurso. Já o curso do rio, extremamente dependente do relevo, afeta o tempo através de seu comprimento e sinuosidade, quanto maior a extensão e/ou sinuosidade, maior o tempo de concentração. O efeito da sinuosidade é observado pelo seu impacto na redução da velocidade de escoamento das águas do rio (COLLISCHONN; TASSI, 2008).

2.1.6 VAZÃO DE PERMANÊNCIA

A vazão de permanência, tem origem na curva de permanência. Esta curva retrata a variação da vazão e sua permanência no tempo, permite conhecer os intervalos de tempo em que determinadas vazões foram igualadas ou superadas. É uma ferramenta essencial para definição dos volumes a serem outorgados e da vazão mínima para manutenção do ecossistema do rio. Alguns exemplos de valores utilizados de vazões de



referência são: Q_{95} , Q_{90} , Q_{75} etc., que representa a vazão igualada ou superada em 95, 90 e 75 por cento do tempo, respectivamente (TUCCI; MENDES, 2006).

2.1.7 VAZÃO DE REFERÊNCIA


De acordo com Camara (2003) a vazão de referência é o valor da vazão tida como limite superior utilizável da água de um rio e é com base nela que são atribuídos os valores máximos outorgáveis. No Estado de Santa Catarina, de acordo a Portaria SDS nº 51, de 02 de outubro de 2008 da Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico e Sustentável – SDS (2008b), a vazão de referência a ser adotada no Estado de SC é a Q_{98} , com algumas exceções.

2.1.8 VAZÃO OUTORGÁVEL

A vazão outorgável é determinada com base na vazão de referência e na vazão mínima necessária para garantir a sobrevivência dos ecossistemas aquáticos (quantitativa e qualitativamente). O volume passível de outorga, apesar de baseado nos itens acima citados, pode variar de acordo com a região. Segundo a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA (2011), locais semiáridos como o nordeste do país podem permitir volume de outorgas, percentualmente, maiores que regiões de clima tropical. Para o Estado de Santa Catarina, é considerada a vazão outorgável como 50% da Q_{98} (SDS, 2008b).

2.1.9 GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

A gestão de águas pode ser definida como o conjunto de ações que são estruturadas e organizadas com a participação da sociedade para o controle e regulamentação do uso dos recursos hídricos, visando a sua disponibilidade para essa e para as próximas gerações (ANA, 2017). De acordo com a Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997 (BRASIL, 1997), que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SNGRH), a gestão deve ser compartilhada e descentralizada. A partir desta lei, a bacia hidrográfica é a unidade territorial de gestão dos recursos hídricos. Para a PNRH, aspectos como quantidade e qualidade das águas não devem ser dissociados. Além do mais, aspectos geográficos, socioeconômicos, de planejamento em seus diferentes níveis (regional, estadual ou



nacional), questões ligadas à gestão ambiental, de uso do solo, zonas costeiras e sistemas estuarinos também devem ser consideradas (ANA, 2017).

Quanto aos seus fundamentos, a PNRH destaca que a água é um bem de domínio público, finito e dotado de valor econômico; a bacia hidrográfica é a unidade territorial de gestão para a implementação da política, devendo propor o seu uso múltiplo, ser descentralizada e contar com a participação dos entes envolvidos (poder público, usuários e comunidades); e, em situações de escassez, a prioridade deverá ser o consumo humano e a dessedentação de animais (BRASIL, 1997).

Dentre os objetivos da PNRH, destacam-se:

- Assegurar a atual e as futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos;
- A utilização racional e integrada dos recursos hídricos, incluindo o transporte aquaviário, com vistas ao desenvolvimento sustentável;
- Prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais;
- Incentivar e promover a captação, a preservação e o aproveitamento das águas pluviais.

A PNRH prevê os instrumentos de gestão a serem implementados:

- Planos de Recursos Hídricos;
- Enquadramento dos corpos de água em classes;
- Outorga dos direitos de uso de recursos hídricos;
- Cobrança pelo uso de recursos hídricos;
- Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos.

Na esfera federal, é criado o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), responsável por arbitrar conflitos sobre o uso de água em bacias federais e por estabelecer as diretrizes necessárias para implementar a estrutura institucional e os instrumentos contidos na PNRH. Os **planos de recursos hídricos** objetivam, em uma visão a longo prazo, a efetivação da PNRH e o gerenciamento dos recursos hídricos. O **enquadramento dos corpos de água em classes** visa garantir e reduzir, respectivamente, a qualidade das águas e os custos de combate à sua poluição. A **outorga dos direitos de uso** visa certificar o controle, em quantidade e qualidade, assim como o uso efetivo dos direitos de acesso à água. A **cobrança pelo uso** tem como



objetivo reconhecer o valor da água, incentivar o seu uso racional e consciente, além de captar recursos financeiros para a implementação das iniciativas propostas nos planos de recursos hídricos. Por último, o **sistema de informações de recursos hídricos** contempla a coleta, armazenamento e recuperação de dados de recursos hídricos (BRASIL, 1997).


Quanto à gestão dos recursos hídricos e implementação dos instrumentos da PNRH, através do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH), foi instituída, por meio da Lei nº 9.984 de 17 de julho de 2000, a criação da Agência Nacional de Águas (ANA), que mais tarde se tornou Agência Nacional de Águas e Saneamento, órgão esse que, junto aos outros 27 órgãos estaduais de recursos hídricos, são responsáveis pela gestão das águas do país de forma integrada (ANA, 2017).

O estado catarinense possui a Política Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Santa Catarina – PERH, Lei nº 9.748 de 30 de novembro de 1994, (SANTA CATARINA, 1994). Os fundamentos e objetivos apresentados na PERH coincidem aos abordados pela PNRH. Quanto aos instrumentos, a PERH cita apenas a outorga de direito de uso dos recursos hídricos (SANTA CATARINA, 1994). Trindade (2016) afirma que os outros instrumentos contidos na PNRH (planos de recursos hídricos, o enquadramento dos corpos d'água em classes, a cobrança pelo uso, a compensação aos municípios e os sistemas de informações) não são tratados na PERH como instrumentos de gestão. Observa-se que o único instrumento previsto na PERH, a outorga de direito de uso de água, possui valores de referência diferentes dependendo da bacia hidrográfica. Além da PERH existem vários outros documentos entre portarias e resoluções que dispõem sobre o assunto, o que dificulta o processo de gestão.

Mais tarde, foi publicada a Lei nº 15.249 de 3 de agosto de 2010, que trata da efetivação da PERH e formulação e atualização do Plano Estadual de Recursos Hídricos, que agrupou a sociedade civil, órgãos e entidades estaduais e municipais intervenientes no planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos (ANA, 2019).

De acordo com a Portaria SDS nº 51, de 02 de outubro de 2008, a vazão de referência para o Estado de Santa Catarina é a Q_{98} , e a máxima vazão outorgável por seção será 50% da Q_{98} (SANTA CATARINA, 2008b). Entretanto, de acordo com a portaria SDS nº 38, de 06 de novembro de 2006, exclusiva para a Bacia Hidrográfica do Rio Cubatão, a vazão de referência é a Q_{95} , sem estabelecer claramente qual o limite outorgável (SANTA CATARINA, 2006).

Na esfera estadual, os Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos (CERH) atuam de forma análoga ao CNRH, porém ao nível estadual. As Instituições Estaduais de Gestão de

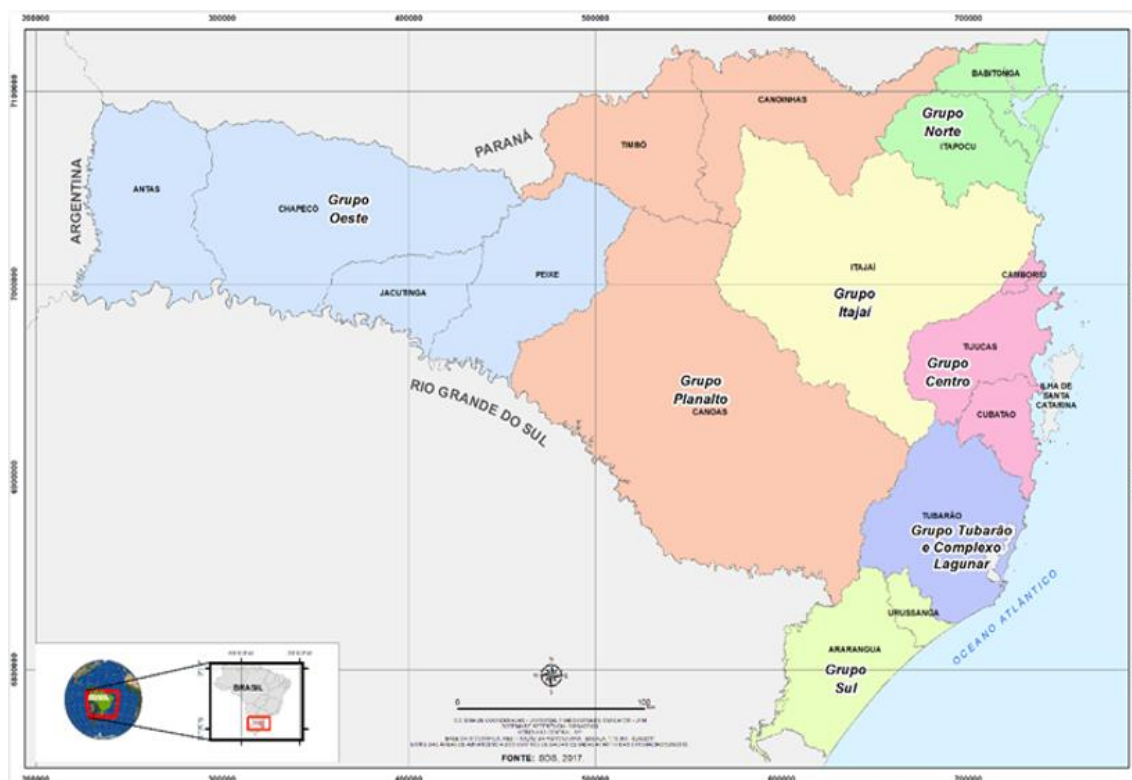


Recursos Hídricos são responsáveis por implementar as diretrizes estabelecidas pelo CERH. Por fim, os Comitês de Bacias e as Agências de Águas atuam diretamente na área das bacias, independentemente da divisão territorial política (BRASIL, 1997; VEIGA; MAGRINI, 2013).

Conforme a **Figura 4**, atualmente existem 16 comitês de bacias hidrográficas no Estado de Santa Catarina, sendo estes (ANA, 2019; SIRHESC, 2021):

Comitê	Ano de Instalação	Nº municípios
ANTAS E PEPERI-GUAÇÚ	2003	35
ARARANGUÁ E MAMPITUBA	2001	23
BABITONGA	1998	6
CANOAS E PELOTAS	2001	32
CANOINHAS E NEGRO	2003	10
CAMBORIÚ	1997	3
CHAPECÓ E IRANÍ	2010	59
CUBATÃO E MADRE	1993	8
ITAJAÍ	1997	61
ITAPOCU	2001	13
JACUTINGA	2003	19
PEIXE	2001	29
TIMBÓ	2002	11
TIJUCAS E BIGUAÇU	2001	17
TUBARÃO E COMPLEXO LAGUNAR	1998	26
URUSSANGA	2006	10


Figura 4 – Comitês de Bacias Hidrográficas do Estado de Santa Catarina.



Fonte: SIRHESC, 2021.

Aos comitês, competem as atribuições de elaboração e aprovação do plano de bacia hidrográfica, assim como sua implementação; aprovação de programas de investimentos em serviços e obras para a bacia; promover a cooperação e a compatibilização dos interesses entre os usuários de água, de forma que eventuais conflitos sejam minimizados; a realização de estudos visando o estabelecimento das prioridades em serviços e obras visando a coletividade, dentre outros (SANTA CATARINA, 1994).

Atividades como a alta produção industrial, energética, agrícola, assim como a demanda populacional, emissões atmosféricas, além do aumento da temperatura global, têm afetado a disponibilidade e qualidade dos recursos hídricos, desencadeando uma crise ambiental mundial na qual a água é o elemento central (SILVA, 2015). Logo, instituições que regulamentam a gestão desses recursos deveriam desenvolver abordagens que se adaptem e busquem tomadas de decisão mais assertivas e integradas (MAY, 2018).



As demandas atuais dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos nas bacias são, geralmente: abastecimento público e industrial, agricultura, aquacultura, diluição de esgotos, mineração, navegação, pecuária, produção de energia, entre outros.


2.2 MUDANÇAS CLIMÁTICAS

De acordo com o IPCC (2018) e a Organização Mundial de Meteorologia -WMO (2019) há consenso na comunidade científica que ações antropogênicas têm influenciado o clima mundial e a emissão de gases do efeito estufa (GEE) têm aumentado a temperatura média global. Índícios apontam que a concentração de gás carbônico, metano e óxido nítrico estão em seus níveis mais altos dos últimos 800.000 anos (IPCC, 2014; IPCC, 2018; WMO, 2019). WMO (2019) indica que a temperatura média do planeta aumentou 0,9°C desde o século XIX, e que o maior aquecimento ocorreu nos últimos 35 anos, além disso, as cinco leituras mais quentes já registradas ocorreram após 2010. IPCC (2018) relata que mesmo que os níveis de emissão GEE atinjam a meta do Acordo de Paris¹, a temperatura média global ainda ultrapassará em mais de 1,5°C a temperatura pré-industrialização até 2030.

Uma das áreas da ciência mais afetadas por essas alterações no clima é a hidrologia. Os efeitos da mudança hidrológica serão severos no futuro interferindo não apenas no ciclo d'água, mas também em diversos aspectos sociais e econômicos (UNESCO; UN-Water, 2020). IPCC (2018) informa que a expectativa é a ocorrência de maiores volumes de evaporação da água do solo devido ao aumento de temperatura. Esse efeito pode ser amenizado nas áreas com aumento na precipitação, entretanto a tendência ainda aponta para maiores perdas e, como consequência, menores volumes de águas nos rios, principalmente em regiões com expectativa de redução da precipitação.

O Programa de Avaliação da Água das Nações Unidas WWAP (2016) aponta a alta dependência da sociedade em relação à disponibilidade de água e, segundo as previsões de mudanças climática a maior parte das regiões no mundo irá sofrer com redução da disponibilidade hídrica (UNESCO; UN-WATER, 2020). Esse efeito será evidente em setores como a agricultura e a indústria, maiores consumidores de água no mundo, chegando ao ponto de limitar o crescimento econômico e ameaçando oportunidades de emprego (WWAP, 2016). Evidentemente, o consumo humano também irá sofrer as consequências das mudanças climáticas, com maiores valores de evaporação, menos

¹ Tratado global adotado em dezembro de 2015 por países signatários da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC), durante a 21ª Conferência das Partes (COP21) que prevê metas para a redução da emissão de gases do efeito estufa.




água estará disponível para captação, seja nos rios, lagos ou de captação em poços (UNESCO; UN-WATER, 2020). IPCC (2018) ressalta, ainda, que frequência e intensidade de eventos extremos tendem a aumentar, prejudicando os recursos hídricos disponíveis. Isto ocorre por disseminação dos poluentes em eventos de alta precipitação, ocasionando ou não inundações, por meio do aumento da concentração de poluentes em períodos de secas etc.

De acordo com a UNESCO e UN-Water (2020) os efeitos das mudanças climáticas a nível global apresenta a tendência de aumento de temperatura e redução de precipitação. Porém IPCC (2019b) ressalva que cada região pode apresentar cenários distintos, até opostos, a essa tendência. Alguns exemplos de estudos sobre os efeitos de mudanças climáticas em regiões específicas podem ser vistos em Li e Fang (2021) na Tailândia com redução seguida de aumento da vazão da bacia do Rio Mun, Zhao *et al.* (2019) que avaliaram as projeções climáticas futuras corrigidas de viés de três modelos climáticos globais (GCMs) selecionados com dois cenários de emissão (RCP 4.5, RCP 8.5) na bacia do Rio Weihe na China e verificaram que a bacia apresentará condições de seca. Já Dosdogru *et al.* (2020) em estudos no Alabama (USA), verificaram que o aumento da temperatura no verão e a diminuição da precipitação no outono são esperados na região de estudo, por outro lado é esperado aumento dos fluxos mensais máximos, especialmente em junho-setembro, alterando potencialmente a disponibilidade de habitat para organismos aquáticos. Monteagudo, Palzón e Beguería (2020) avaliando a redução de vazão e neve nos Pirineus, que é a principal fonte de água para uma grande região do sul da Europa, verificaram que há previsão que a disponibilidade anual de água superficial até 2050 poderá ser 10 a 20% menor do que o período de referência de 1970 a 2000.

Para entender um pouco mais sobre como podemos avaliar e, mais importante, prever o impacto das mudanças climáticas, para trabalhar na redução de suas consequências, vamos a alguns conceitos e explicações.

2.2.1 PROJEÇÕES CLIMÁTICAS

De acordo com INPE (2017) uma projeção climática é a resposta simulada do sistema climático a cenários de emissão ou concentração futura de Gases de Efeito Estufa (GEE) e aerossóis, geralmente **derivados de modelos climáticos**. Esses cenários são conhecidos como *Representative Concentration Pathways* (RCPs). São representações das emissões de GEE. Cada um destes RCPs indica o quanto foi possível controlar a concentração dos gases do efeito estufa na atmosfera. Os RCPs mais comuns são RCP2.6,



RCP4.5, RCP6.0 e RCP8.5, representando, respectivamente, de maior a menor controle dos gases do efeito estufa (SILVEIRA *et al.*, 2013). As projeções climáticas são diferenciadas das previsões climáticas por sua dependência a um cenário de emissão/concentração/forçamento radiativo utilizado, que por sua vez se baseia em suposições relativas, por exemplo, a futuros desenvolvimentos socioeconômicos e tecnológicos que podem ou não ser realizados (IPCC 2018).

2.2.2 MODELOS CLIMÁTICOS


São uma representação numérica do sistema climático com base nas propriedades físicas, químicas e biológicas de seus componentes (atmosfera, oceano, gelo, superfície terrestre) e suas interações. Os modelos climáticos são aplicados como uma ferramenta de análise e pesquisa para estudar e simular o clima (IPCC, 2018).

As projeções climáticas (ou cenários climáticos) são os resultados apresentados a partir dos cálculos dos modelos climáticos. Elas, as projeções climáticas, não se confundem com as previsões meteorológicas. Estas são feitas com modelos para previsão do tempo e tem escala de tempo reduzidas, de dias a semanas, ou ainda sazonais, previsão para alguns meses. Os modelos de projeção climática simulam o clima futuro para uma escala temporal maior, de anos a décadas, com base em suposições sobre este futuro como, por exemplo, os efeitos de uma possível trajetória de aumento, ou redução, nas concentrações dos Gases de Efeito Estufa (GEE) na atmosfera (cenários de emissões de GEE (RCPs)), INPE (2017). Cada um destes indica o quanto foi possível controlar a concentração dos gases do efeito estufa na atmosfera até 2099. De acordo com INPE (2017) para:

RCP4.5 – nesse cenário o CO₂ atinge cerca de 650 ppm até o final do século XXI, as estratégias para reduzir as emissões de GEE fazem com que as forças radiativas se estabilizem em 4,5 W/m² antes do ano 2100.

RCP8.5 – corresponde a um cenário de alta emissão das concentrações de GEE, em que em que o CO₂ equivalente excede a 1000 ppm até o final do século XXI e, com isso, o forçamento radiativo atingirá 8,5 W/m² até o ano 2100. Esse cenário é o mais próximo das tendências observadas nas medições atuais das concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera.

Tanto os modelos climáticos globais quanto regionais têm tido grandes avanços nos últimos anos em termos da representação de processos e fenômenos críticos para estudo dos impactos, mitigação e adaptação devido às mudanças climáticas globais.




Parte do avanço vem do aumento da resolução espacial desses modelos e, parte, da inclusão de novas componentes do sistema climático e da interação entre eles.

De forma a entender o sistema terrestre e quais as implicações da ação antropogênica, o Coupled Model Intercomparison Project (CMIP) coordena experimentos desenvolvidos por diversas instituições na elaboração de Modelos Climáticos Globais (GCM). No Projeto de Intercomparação de Modelo Acoplado, Fase 5 – CMIP5, são considerados os cenários RCPs já mencionados. Alguns GCMs que simulam dinamicamente a física da atmosfera e do oceano mais comuns são: GFDL-ESM2M; HadGEM2-ES; IPSL-CM5A-LR; MIROC-ESM-CHEM; NorESM1-M. Cada um destes GCMs é gerado para o CMIP5, simulando diferentes RCPs. Todos os GCMs devem passar um processo de alteração e padronização de escala e correção de vieses (ABBASPOUR *et al.*, 2019). Maiores informações sobre o CMIP5 podem ser encontradas em Taylor, Stouffer e Meehl (2012) e, sobre as modificações nos GCMs, em Abbaspour *et al.* (2019).

As informações sobre a nomenclatura, assim como a localização de detalhes sobre cada modelo estão apresentados a seguir:

- a) **GFDL-ESM2M** – Modelo elaborado pela Administração Oceânica e Atmosférica Nacional dos Estados Unidos (NOAA) e o Laboratório Geofísico de Dinâmica de Fluidos (GFDL), do tipo Modelo de Sistema Terrestre (ESM). A letra “M” no final da nomenclatura indica a utilização do Modelo de Oceano Modular v. 4.1 para as análises físicas dos oceanos. Mais detalhes estão disponíveis em Dunne *et al.* (2012);
- b) **HadGEM2-ES** – Modelo desenvolvido pelo *Met Office Hadley Centre* e classificado com ESM. O final “ES” aponta a utilização de componentes externos ao modelo, denominados componentes do Sistema Terrestre pelos autores. A metodologia aplicada na criação do HadGEM2-ES juntamente com a lista dos componentes utilizados está descrita em Collins *et al.* (2011);
- c) **IPSL-CM5A-LR** – Gerado pelo Instituto Pierre-Simon Laplace (IPSL), também chamado de Modelo de Circulação versão 5 (CM5), pode ser considerado um modelo ESM, a depender das configurações, dos processos e suas interações. A sigla A-LR informa o método utilizado na análise oceânica e a “baixa” resolução do modelo. Para maiores detalhes consultar Dufresne *et al.* (2013);
- d) **MIROC-ESM-CHEM** – Modelo ESM baseado no modelo climático global MIROC (Modelo para Pesquisa Interdisciplinar sobre Clima). O MIROC-ESM-



CHEM foi desenvolvido em parceria entre a Universidade de Tokio, o Instituto Nacional de Estudos Ambientais do Japão (NIES) e a Agência Japonesa para Ciência e Tecnologia Marinho-Terrestre (Jamstec). O final “CHEM” da nomenclatura infere a inserção da análise química atmosférica no modelo. Watanabe *et al.* (2011) explanam o processo e detalhes sobre a elaboração do MIROC-ESM-CHEM.

- e) **NorESM1-M** – Criada pelo Centro Climático Norueguês, a família NorESM são modelos ESM, onde o NorESM1 representa a primeira versão. O término “M” aponta qual o modelo oceânico utilizado, além de características da análise atmosférica considerados. Informações sobre o NorESM1-M podem ser obtidos em Betsen *et al.* (2012) e Iversen *et al.* (2013).

2.2.3 SIMULAÇÕES DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Para simular mudanças climáticas, buscam-se modelos de previsão baseados no Projeto de Intercomparação de Modelo Acoplado, Fase 5 – CMIP5, ou fase 6, gerido pelo Programa Mundial de Pesquisa do Clima – WCRP, utilizado na elaboração do relatório especial do IPCC (2019a) que possui intuito de fortalecer as ações internacionais de combate ao aquecimento global. Sua meta é impedir que a temperatura média global chegue a 2°C acima da temperatura pré-industrialização (IPCC, 2019a).



3 IMPORTÂNCIA DE DADOS

Como percebemos, os modelos matemáticos precisam de muitos dados para que simulações robustas sejam feitas. Estes dados são os mais diferentes, em função do que se deseja simular, da complexidade do modelo e da certeza que queremos ter. Com relação aos dados hidrológicos de chuva e vazão, por exemplo, é possível buscar as informações na plataforma HIDROWEB (<http://hidroweb.ana.gov.br/>) da ANA. Verifica-se que os dados lá presentes são os dados que dispomos para realizar todos os tipos de modelagem necessárias. Porém, destacamos pontos que são deficitários com relação aos dados: há poucos postos de monitoramento, as séries disponíveis são falhas e curtas em sua maioria, não há dados suficientes para cálculos de evapotranspiração, por exemplo. Além disso, os dados relativos às águas subterrâneas e seus parâmetros, como: capacidade de armazenamento, taxas de recarga, etc. são ainda mais escassos. Ainda em relação aos dados, são igualmente necessários bons dados de tipo de solo e seus horizontes, uso atual e futuro, tipo de vegetação, etc. A escassez de dados leva a problemas de incertezas maiores nas simulações.



4 FERRAMENTAS DISPONÍVEIS

Pelo exposto anteriormente, se percebe a complexidade dos conceitos e dos cálculos envolvidos nestas simulações. Existem várias ferramentas disponíveis para simular mudanças climáticas em diferentes escalas, nacional, regional ou local. Para modelar mudanças climáticas muitos dados são necessários, além de grande capacidade de processamento de informações. Felizmente, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, disponibiliza o Portal Projeções Climáticas no Brasil (PCB) (<http://pclima.inpe.br/analise/>), uma plataforma de fácil acesso para conhecer, visualizar e baixar projeções de mudanças climáticas sobre o território brasileiro a partir de modelagens brasileiras e internacionais. Nesta capacitação utilizaremos o portal PCB para conhecer os impactos do aquecimento global no Brasil.



5 CONCLUSÕES

Mudanças climáticas costumam ser lembradas como acontecimentos abruptos, que destroem casas, inundam a terra e ceifam vidas. Mas além dos eventos extremos, também há mudanças sutis que precisam ser observadas, como a extensão das estações do ano ou secas e chuvas inesperadas em algumas regiões. Essas alterações têm um impacto tanto em atividades como agricultura e pecuária quanto na nossa saúde.

De acordo com a United Nations Environment Programme (UNEP) a mudança climática é real e as atividades humanas, em grande parte a liberação de gases poluentes da queima de combustíveis fósseis (carvão, petróleo, gás), são a principal causa. Elas já estão acontecendo, e vários países, e blocos, como: Escócia, Irlanda, Argentina, Comunidade Europeia, etc. já declararam estado de emergência climática. Os efeitos das emissões que já estão na atmosfera serão sentidos por muitos anos, mesmo que elas fossem zeradas. Desta forma, é necessário estarmos preparados para reduzir as consequências dos eventos extremos que já estão ocorrendo e que se intensificarão, especialmente sobre os recursos hídricos. A gestão integrada dos recursos hídricos tem papel fundamental no processo de aumento da sustentabilidade por meio da governança. Cobrar diretrizes para preparação, planos de ação e recursos dos políticos e tomadores de decisão é essencial. O Brasil é signatário de vários acordos de redução de emissões de GEE. De que forma estamos mitigando os efeitos das mudanças climáticas? Como estamos nos adaptando? Devemos desenvolver cidades resilientes, sem isso haverá muitas perdas de vidas e patrimônio. Ter consciência que nossas vidas e das futuras gerações dependem dos ecossistemas e que eles estão em perigo por diferentes fatores como, excesso ou falta de chuvas, incêndios, ondas de calor, entre outros, faz com que a humanidade também esteja em perigo, pois vivemos em ecossistemas ameaçados estejamos, ou não, cientes disso.

As mudanças climáticas impactam mais áreas e fatores do que podemos perceber. Empresas e sociedade devem trabalhar em conjunto para encontrar alternativas e diminuir atividades como a queima de combustível fóssil, um dos grandes vilões do clima.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBASPOUR, K. C.; VAGHEFI, S. A.; YANG, H.; SRINIVASAN, R. **Global Soil, Landuse, Evapotranspiration, Historical and Future Weather Databases for SWAT Applications**. *Scientific Data*, [s. l.], v. 6, n. 263, 2019. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41597-019-0282-4>. Acesso em: 16 mar. 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017: relatório pleno / Agência Nacional de Águas**. - Brasília: ANA, 2017. Disponível em: http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/conj2017_rel-1.pdf. Acesso em: 31 jul. 2021.


ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA. **Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos: Caderno de Capacitação em Recursos Hídricos**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente – MMA, 2011. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2012/OutorgaDeDireitoDeUsoDeRecursosHidricos.pdf>. Acesso em: 22 set. 2020.

_____. **HidroWEB: Séries Históricas de Estações**. Brasília, 2021. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>. Acesso em: 17 ago. 2021.

BETSEN, M. The Norwegian Earth System Model, NorESM1-M – Part 1: Description and basic evaluation. **Geoscientific Model Development Discussions**, [s. l.], v. 5, p. 2843-2931, 2012. Disponível em: <https://gmd.copernicus.org/preprints/5/2843/2012/gmdd-5-2843-2012.pdf>. Acesso em: 26 maio 2021.

BRASIL (1997). **Lei n.º 9.433, de 8 de janeiro de 1997**, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm. Acesso em: 15 mar. 2021.

CAMARA, A. C. F. C. **Análise da vazão máxima outorgável e da introdução simplificada da qualidade da água no processo de outorga da bacia do Rio Gramame (PB)**. 2003. 2019 f. Dissertação (Mestre em Engenharia) Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRG. Porto Alegre, 2003. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/1770/000357250.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 27 abr. 2021.



CECH, T. V. **Principles of Water Resources: History, Development, Management, and Policy**. 4 ed. Hoboken: Wiley & Sons. Inc, 2018.

CHOW, V. te; MAIDMENT, D. R.; WAYS, L. W. **Applied Hydrology**. Nova York: McGRAW-Hill, 1988.

COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. **Hidrologia para Engenharia e Ciências Ambientais**. Porto Alegre, 2013.

COLLISCHONN, W.; TASSI, R. **Introduzindo Hidrologia**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, 2008.

COLLINS, W. J. *et al.* **Development and evaluation of an Earth-system model – HadGEM2**. Geoscientific Model Development Discussions, [s. l.], v. 4, p. 997-1062, 2011. Disponível em: <https://gmd.copernicus.org/preprints/4/997/2011/gmdd-4-997-2011.pdf>.


DOSDOGRU, F.; KALIN, L.; WANG, R.; YEN, H. **Potential impacts of land use/cover and climate changes on ecologically relevant flows**. Journal of Hydrology, [s. l.], v. 584, 2020. Disponível em: <https://www-sciencedirect.ez74.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0022169420301141?via%3Dihub>. Acesso em: 27 abr. 2021.

DUFRESNE, J. L. *et al.* **Climate change projections using the IPSL-CM5 Earth System Model: from CMIP3 to CMIP5**. Climate Dynamics, [s. l.], v. 40, p. 2123-2165, 2013. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00382-012-1636-1>. Acesso em: 26 maio 2021.

DUNNE, J. D. *et al.* **GFDL's ESM2 Global Coupled Climate–Carbon Earth System Models. Part I: Physical Formulation and Baseline Simulation Characteristics**. Journal of Climate, [s. l.], v. 25, n. 19, p. 6646-6665, 2012. Disponível em: <https://journals.ametsoc.org/view/journals/clim/25/19/jcli-d-11-00560.1.xml>. Acesso em: 24 maio 2021.

GRIBBIN, J. E. **Introduction to Hydraulics & Hydrology: With Applications for Stormwater Management**. 4 ed. Stamford: Cengage Learning, 2013.

INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. 2017. Disponível em: <http://www.inpe.br/>. Acesso em: 13 jul. 2020.



INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Portal Projeções Climáticas no Brasil**. 2022. Ministério da Ciência, Tecnologia Inovações e Comunicações - MCTI. Disponível em: <http://pclima.inpe.br/>. Acesso em: 30 ago. 2022.

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

IPCC – INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Global Warming of 1,5°C**. Geneva: IPCC, 2019a. Disponível em: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SR15_Full_Report_High_Res.pdf. Acesso em: 22 set. 2020.


_____. **IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate**. Geneva, Suíça: IPCC, 2019b. Disponível em: www.ipcc.ch/srocc/. Acesso em: 28 abr. 2021.

_____. **Summary for Policymakers**. Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. Geneva, Paris: IPCC, 2018. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/sr15/chapter/spm/>. Acesso em: 28 abr. 2021.

IVERSEN, T. *et al.* **The Norwegian Earth System Model, NorESM1-M – Part 2: Climate response and scenario projections**. Geoscientific Model Development, [s. l.], v. 6, p. 389-415, 2013. Disponível em: <https://gmd.copernicus.org/articles/6/389/2013/gmd-6-389-2013.pdf>. Acesso em: 26 maio 2021.

JACOBSON, C. **Identification and Quantification of the Hydrological Impacts of Imperviousness in Urban Catchments: A Review**. Journal of Environment Management, [s. l.], v. 96, n. 6, p. 1438-1448, 2011. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479711000259>. Acesso em: 10 jul. 2020.

JIANG, Y.; ZEVENBERNGEN, C.; MA, Y. **Urban Pluvial Flooding and Stormwater Management: A Contemporary Review of China's Challenges and "Sponge Cities" Strategy**. Environmental Science & Policy, [s. l.], v. 80, p. 132-143, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1462901117306123>. Acesso em: 10 jul. 2020.



LI, C.; FANG, H. **Assessment of climate change impacts on the streamflow for the Mun River in the Mekong Basin, Southeast Asia: Using SWAT model.** Catena, [s. l.], v. 201, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0341816221000588>. Acesso em: 27 abr. 2021.

MADANI, K. **The value of extreme events: What doesn't exterminate your water system makes it more resilient.** Journal of Hydrology, [s. l.], v. 575, p. 269-272, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169419304949?via%3Dihub>. Acesso em: 08 jul. 2020.

MAY, Peter H. **Economia do meio ambiente: teoria e prática** / Peter H. May. – 3ª ed. – Rio de Janeiro: Elsevier, 2018.

MONTEAGUDO, D. H.; PALAZÓN, L.; BEGUERÍA, S. **Long-term sustainability of large water resource systems under climate change: A cascade modeling approach.** Journal of Hydrology, [s. l.], v. 582, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.ez74.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0022169420300068?via%3Dihub>. Acesso em: 27 abr. 2021.


OKI, T.; KANAE, S. **Global Hydrological Cycles and World Water Resources.** Science, v. 313, p. 1068-1072, 2006. Disponível em: <https://science.sciencemag.org/content/313/5790/1068.full>. Acesso em: 09 jul. 2020.

RIGHETTO, A. M. **Hidrologia e Recursos Hídricos.** São Carlos: Eesc-USPP, 1998.

SANTA CATARINA. **Lei nº 9.748, de 30 de novembro de 1994.** Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e dá outras providências [1994]. Florianópolis Disponível em: http://leis.alesc.sc.gov.br/html/1994/9748_1994_lei.html. Acesso em: 06 out. 2021.

SANTA CATARINA (1994). **Lei Estadual nº 9.748, de 30 de novembro de 1994,** que dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e dá outras providências. Disponível em: https://www.aguas.sc.gov.br/jsmallfib_top/DHRI/Legislacao/Lei-Estadual-9748-1994.pdf. Acesso em: 15 mar. 2021.

SISTEMA DE INFORMAÇÕES SOBRE RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DE SANTA CATARINA – SIRHESC. **Comitês de Bacias.** Disponível em: <https://www.aguas.sc.gov.br/segrhsc/comites-de-bacias>. Acesso em: 25 jun. 2021.



_____. **Portaria SDS nº 38, de 06 de novembro de 2006.** Dispõe sobre os critérios de natureza técnica a serem observados no exame dos pedidos de outorga dos usuários da Bacia Hidrográfica do Rio Cubatão (norte) e dá outras providências [2006]. Disponível em:

http://www.aguas.sc.gov.br/jsmallfib_top/Diretoria%20de%20Recursos%20Hidricos/Legislacoes/Estadual/portarias/Portaria_SDE_38_2006.pdf. Acesso em: 01 out. 2021.

_____. **Portaria SDS nº 51, de 02 de outubro de 2008.** Altera a Portaria SDS nº 36, de 29 de julho de 2008 [2008b]. Disponível em:

http://www.sirhesc.sds.sc.gov.br/sirhsc/conteudo_visualizar_dinamico.jsp?idEmpresa=12&idMenu=1011&idMenuPai=333. Acesso em: 01 out. 2021.


SEEG/OG – SISTEMA DE ESTIMATIVAS DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA DO OBSERVATÓRIO DO CLIMA. **Projeto MapBiomias – Coleção v.6.0 da Série Anual de Mapas de Uso e Cobertura da Terra do Brasil.** Brasil, 2020. Disponível em: <https://mapbiomas.org/superficie-de-agua-no-brasil-reduz-15-desde-o-inicio-dos-anos-90>. Acesso em: 02 set. 2021.

SILVA, Luciene Pimentel da. **Hidrologia: engenharia e meio ambiente** / Luciene Pimentel da Silva. — 1. ed. — Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

SILVA, B. F. da. **Análise dos Parâmetros do Modelo Hidrossedimentológico SWAT na Bacia Hidrográfica do Córrego Samambaia, Goiânia-Go.** 2015. 134 f. Dissertação (Mestre em Engenharia do Meio Ambiente) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia do Meio Ambiente, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015. Disponível em: <https://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tede/5154>. Acesso em: 15 jul. 2020.

SILVEIRA, C. da S.; SOUZA FILHO, F. de A. de; COSTA, A. A.; CABRAL, S. L. **Avaliação de desempenho dos modelos do CMIP5 quanto à representação dos padrões de variação da precipitação no século XX sobre a região Nordeste do Brasil, Amazônia e bacia do Prata e análise das projeções para o cenário RCP8.5.** Revista Brasileira de Meteorologia, [s. l.], v. 28, n. 3, p. 317-330, 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rbmet/v28n3/08.pdf>. Acesso em 29 set. 2020.

SIMON, F. W.; PICKBRENNER, K.; MARCUZZO, F. F. N. **Estudo do Regime Pluvial e Fluvial em Bacia Hidrográfica com Precipitação Homogênea,** 2013. IN: XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Bento Gonçalves, 2013. Disponível em: https://s3-sa-east-1.amazonaws.com/abrh/Eventos/Trabalhos/66/SBRH2013__PAP012888.pdf. Acesso em: 21 set. 2020.



TAYLOR, K. E.; STOUFFER, J. S.; MEEHL, G. A. **An Overview of CMIP5 and the Experiment Design**. American Meteorological Society, [s. l], v. 93, n. 4, p. 485-498, 2012. Disponível em: An Overview of CMIP5 and the Experiment Design in: Bulletin of the American Meteorological Society Volume 93 Issue 4 (2012) (ametsoc.org). Acesso em: 24 maio 2021.

TRINDADE, Larissa de Lima. **Gestão integrada de recursos hídricos: papel, potencialidades e limitações dos comitês de bacias hidrográficas**. 2016. 269 f. Tese (Doutorado) - Curso de Doutorado em Ciências Humanas, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/173815/344113.pdf?sequenc e=1&isAllowed=y>. Acesso em: 22 jun. 2021.


TUCCI, C. E. M. **Gestão das Inundações Urbanas**. Porto Alegre: UNESCO - Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura, 2005. Disponível em: https://labgeologiaambiental.jatai.ufg.br/up/285/o/Gest%C3%A3o_de_Aguas_Pluviais_.PDF?1370615799. Acesso em: 02 jul. 2020.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 4 ed. Porto Alegre: ABRH/Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009. Disponível em: https://www.academia.edu/23877127/Hidrologia-_Ci%C3%ancia_e_Aplica%C3%A7%C3%A3o_4a_Ed._Carlos_Tucci_CAP. Acesso em: 05 jul. 2020.

TUCCI, C. E. M.; MENDES, C. A. **Avaliação Ambiental Integrada de Bacia Hidrográfica**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente – MMA, 2006. Disponível em: https://www.mma.gov.br/estruturas/sqa_pnla/_arquivos/sqa_3.pdf. Acesso em: 22 set. 2020.

UNESCO, UN-Water. **United Nations World Water Development Report 2020: Water and Climate Change**. França, Paris: UNESCO, 2020. Disponível em: <https://www.unwater.org/publications/world-water-development-report-2020/>. Acesso em: 27 abr. 2021.

UZEIKA, T. **Aplicabilidade do Modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool) na Simulação da Produção de sedimentos em uma Pequena Bacia Hidrográfica Rural**. 2009. 129 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/19124>. Acesso em: 05 jul. 2020.



VEIGA, L. B. E.; MAGRINI, A. **The Brazilian Water Resources Management Policy: Fifteen Years of Success and Challenges**. *Water Resources Management*, [s. l.], v. 27, n. 7., p. 2287-2302, 2013. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/257673138_The_Brazilian_Water_Resources_Management_Policy_Fifteen_Years_of_Success_and_Challenges. Acesso em: 08 out. 2021.

VISSMAN, W.; LEWIS, G. L., KNAPP, J. W. **Introduction to Hydrology**. 4 ed. Califórnia: Harpercollins College Div, 1989.

WATANABE, S. *et al.* **MIROC-ESM: model description and basic results of CMIP5-20c3m experiments**. *Geoscientific Model Development Discussions*, [s. l.], v. 4, p. 163-1128, 2011. Disponível em: <https://gmd.copernicus.org/preprints/4/1063/2011/gmdd-4-1063-2011.pdf>. Acesso em: 26 maio 2021.

WMO – WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **WMO Statement on the State of the Global Climate in 2018**. Geneva, Suíça: WMO, 2019. Disponível em: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=5789. Acesso em: 28 abr. 2021.

WWAP – WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAM. **The United Nations World Water Development Report 2016: Water and Jobs**. Paris: UNESCO - Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura, 2016. Disponível em: <http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/water/wwap/wwdr/2016-water-and-jobs/>. Acesso em: 08 jul. 2020.

XAVIER, C. F. **Avaliação da influência do uso e ocupação do solo e de características geomorfológicas sobre a qualidade das águas de dois reservatórios da região metropolitana de Curitiba – Paraná**. 2005. 167 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo") - Curso de Pós-graduação em Ciências do Solo, Universidade Federal do Paraná – UFPR, Paraná, 2005. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/58508/R%20-%20D%20-%20CHRISTINE%20DA%20FONSECA%20XAVIER.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 09 jul. 2020.

ZHAO, P. *et al.* **Impacts of climate change on hydrological droughts at basin scale: A case study of the Weihe River Basin, China**. *Quaternary International*, [s. l.], v. 513, p. 37-46, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S104061821831053X?via%3Di> hub. Acesso em: 28 abr. 2021.