



GOVERNO DO ESTADO
RIO GRANDE DO SUL
SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE
E INFRAESTRUTURA

Zoneamento Ambiental da Silvicultura

Anexo I – Análise Ambiental dos Recursos Hídricos

Porto Alegre, 2023



SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	5
2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	8
2.1. Balanço Hídrico Climatológico	8
2.2. Uso e Ocupação do Solo	8
2.3. Atualização da classificação	13
2.4. Dados Hidrológicos	14
2.4.1. Evapotranspiração (ET)	17
2.4.2. Capacidade de água disponível no solo (CAD)	18
2.4.3. Cálculo do Balanço Hídrico Climatológico (BHC)	21
2.5. Redução de vazão (Qi)	22
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
3.1. Uso e Ocupação do Solo	23
3.1.1. Capacidade de Água Disponível (CAD)	31
3.2. Dados Climatológicos	34
3.2.1. Excedente Hídrico.....	37
3.3. Redução de Vazão.....	42
3.4. Ocupação Atual da Silvicultura no Estado	49
3.5. Limite de Ocupação das Bacias Hidrográficas.....	51
3.6. Índices Redutores do Limite de Ocupação	55
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	69
5. REFERÊNCIAS	71



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localização das estações pluviométricas (ANA) utilizadas neste estudo.	16
Figura 2. Solos do Rio Grande do Sul do projeto RADAMBRASIL (1986)	20
Figura 3. Modelo Esquemático de cálculo de Balanço Hídrico Climatológico.	22
Figura 5. Classificação de uso e cobertura do solo do Rio Grande do Sul.	30
Figura 6. Variação espacial da Capacidade de Água Disponível no solo.	33
Figura 7. Variação espacial média mensal da precipitação do estado do Rio Grande do Sul.	35
Figura 8. Variação espacial média mensal da evapotranspiração real do estado do Rio Grande do Sul.	36
Figura 9. Variação espacial do excedente hídrico anual da vegetação campestre e agrícola.....	40
Figura 10. Variação espacial do excedente hídrico anual da vegetação florestal e da silvicultura.....	41
Figura 11. Redução da vazão específica (Qi).	48
Figura 12. Áreas de silvicultura do estado do Rio Grande do Sul atualizadas neste estudo.....	50



ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Acurácia da classificação de uso e cobertura do solo ESRI – 2020.....	12
Tabela 2. Área por classe de uso e cobertura do solo para o estado do Rio Grande do Sul.	23
Tabela 3. Composição do Uso e Cobertura do Solo por UPN e BH.....	24
Tabela 4. Estimativa do excedente hídrico anual e da vazão específica para áreas com vegetação campestre e com vegetação florestal (nativa e silvicultura) no Rio Grande do Sul.	37
Tabela 5. Redução das vazões específicas (Qi) por bacia hidrográfica e área (ha).	43
Tabela 6. Comparação da redução das vazões específicas (Qi) do ZAS de 2008 e deste estudo.....	45
Tabela 7. Nível de comprometimento das bacias hidrográficas do estado do Rio Grande do Sul. Comparativos entre dados de Vazão Média Anual de 2008 (ZAS) e situação próxima à atual (2018).	52
Tabela 8. Nível de comprometimento das bacias hidrográficas do estado do Rio Grande do Sul. Comparativos entre dados de Demanda Média Anual de 2008 (ZAS) e 2018 (situação atual).	54
Tabela 9. Limite de ocupação final, considerando índices redutores	59
Tabela 10. Área potencial para silvicultura por Bacia Hidrografica.	67



1. INTRODUÇÃO

A organização do espaço e o planejamento do território são aspectos primordiais em tomadas de decisões, tanto na implementação de novos modelos quanto na otimização do uso e ocupação do solo antropizado. A evolução de tecnologias e a implementação de Sistemas de Informações Geográficas, potencializam uma gestão integrada e eficaz dos ecossistemas e dos possíveis usos atribuídos ao território.

A exploração de florestas nativas durante o período de colonização do Brasil desempenhou importante papel econômico. Já no final do século XIX, a expansão das atividades agrícolas mecanizadas contribuiu para o surgimento de discussões sobre o esgotamento dos recursos naturais, permitindo que se intensificasse a busca de novas espécies para a produção de matéria-prima florestal em meados de 1908. Porém, somente com maiores incentivos ao reflorestamento no final do século XX é que o interesse pelo cultivo de eucalipto (*Eucalyptus spp.*) e de outras espécies de crescimento rápido, como acácia-negra (*Acacia mearnsii*) e pinus (*Pinus spp.*), tomou destaque na atividade silvícola no país.

Os plantios florestais possuem grande importância para a economia brasileira. O estado do Rio Grande do Sul se destaca dos demais estados na sua cadeia produtiva de base florestal. No ano de 2014 essa atividade contribuiu com 4% do PIB do estado, 7% da geração de empregos, 3% da arrecadação de impostos e 2% do valor de venda de produtos de base florestal exportados do estado (AGEFLOR, 2015).

Segundo o IBGE (2018), a região Sul é responsável por 36,1% das florestas plantadas do Brasil, sendo a maior região produtora de madeira do país. O Rio Grande do Sul, especificamente, é responsável por aproximadamente 10% da área total de florestas plantadas do Brasil.

O conhecimento da distribuição temporal e espacial da disponibilidade hídrica configura-se como uma ferramenta de fundamental importância para o adequado planejamento da agricultura em busca de desenvolvimento sustentável (CASTRO et al. 2016). Nesta perspectiva, a análise territorial para planejamento de qualquer



atividade agrícola deve levar em consideração a estrutura e a dinâmica dos processos naturais e antrópicos que ocorrem sobre o território.

No estado do Rio Grande do Sul o primeiro esforço para o ordenamento territorial de uma atividade agrícola foi realizado para a silvicultura no ano de 2008 e teve como resultado o Zoneamento Ambiental da Silvicultura (ZAS) (Resolução CONSEMA nº 187, de 09 de abril de 2008, posteriormente alterada pela Resolução 227/2009 do mesmo órgão, de 20 de novembro de 2009). Nesta perspectiva, o ZAS constitui um instrumento de orientação para o ordenamento territorial da atividade de silvicultura no estado, possuindo abrangência macrorregional.

Em contraponto, a escassez hídrica pode ser um dos maiores desafios a ser enfrentado pela humanidade no século XXI (SCHEWE et al., 2014) e, conseqüentemente, torna-se um ponto central a ser discutido pelas entidades responsáveis pela promoção e fomento da silvicultura.

A disputa pela água tem se acirrado, tornando-se motivo de conflitos em diversas regiões do mundo (MATOS, 2010; SCHEWE et al., 2014). Além disso, a ocupação e as mudanças do uso do solo no Brasil ocorrem geralmente de forma desordenada, sem haver uma estimativa prévia sobre os possíveis impactos causados aos recursos naturais (SILVA et al., 2013).

O gerenciamento dos recursos hídricos e, portanto, o ordenamento do território considera as bacias hidrográficas como unidade de planejamento ambiental conforme previsto no Código Estadual do Meio Ambiente do Rio Grande do Sul. Ainda, enfatiza-se a importância da consideração do ciclo hidrológico na integridade das mesmas.

É consenso na comunidade científica que as bacias hidrográficas são as unidades do território geralmente mais apropriadas para o planejamento ambiental e para a organização do espaço, do uso dos recursos naturais e das atividades antrópicas (LIMA, 2006; PADILHA, 2014). No ZAS estabeleceu-se originalmente que a Bacia Hidrográfica (BH) e a Unidade de Paisagem Natural (UPN) são as bases para a definição das diretrizes de uso para a atividade de Silvicultura no Rio Grande do Sul.



Os resultados apresentados neste estudo se baseiam, de modo geral, em dados climáticos robustas e atualizadas de representação espacial melhorada; além de maior detalhamento do uso do solo ocupado pela atividade de silvicultura no estado do Rio Grande do Sul.

No que se refere à análise da proteção da flora e fauna, dos patrimônios cultural, arqueológico e paleontológico e no resguardo das terras dos povos indígenas e das comunidades quilombolas, foram considerados prioritariamente os recortes espaciais referentes às UPNs. Já para inferir quantitativamente segundo a demanda e oferta intrínseca de água, as unidades hidrológicas, espaço físico das BHs do estado, foram consideradas em conjunto com as UPNs sobre a área passível de ser ocupada pela silvicultura, de modo a conduzir um estudo preciso com a maior aproximação à realidade do estado do Rio Grande do Sul.

O presente estudo tem como principal objetivo promover atualização do ZAS, considerando-se a constante evolução das tecnologias disponíveis. Procurou-se manter as bases metodológicas originalmente propostas e já aceitas, assim como explorar novas ferramentas e utilizar dados atualizados para representar o panorama atual do uso e ocupação do solo no Estado do Rio Grande do Sul.



2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Balanço Hídrico Climatológico

Para a definição da metodologia de cálculo do Balanço Hídrico Climatológico (BHC) foram pesquisadas as evidências científicas dos efeitos decorrentes da alteração do uso do solo pela introdução de florestas plantadas. Dados climatológicos e meteorológicos das bacias hidrográficas do estado, oriundos da Agência Nacional de Águas (ANA) e informações sobre consumo e demanda de recursos hídricos já estabelecidos e controlados pela rede de monitoramento do Departamento de Recursos Hídricos (DRH) da SEMA são os principais dados de entrada da metodologia utilizada.

Foram consideradas as variações espaciais e temporais da demanda atmosférica por vapor de água e as respectivas capacidades de produção de água nas diferentes áreas das unidades hidrográficas do Rio Grande do Sul.

2.2. Uso e Ocupação do Solo

A classificação de uso e cobertura do solo serve como base para a definição das classes de Capacidade de Água do Solo (CAD) e o cálculo do BHC, explicada no item 2.4.2. Esta classificação advém de uma iniciativa da empresa ESRI de mapeamento de uso e cobertura do solo em escala global para o ano de 2020, tendo sido publicado em julho de 2021. Os dados de entrada foram utilizados em projeção Universal Transversa de Mercator (UTM) enquanto o mosaico resultante foi reprojetoado para WGS84 devido a sua extensão global.

A elaboração da classificação baseou-se no uso de inteligência artificial de *deep learning* com massivas quantidades de amostras de treinamento de bilhões de pixels identificados humanamente como pertencentes à determinadas classes. O processamento dos dados se deu no ambiente do Microsoft Planetary Computer, o qual processou mais de 400.000 observações da Terra a partir de imagens de 10 m (0,00008983152098239751 graus) de resolução espacial do satélite sensor ESA Sentinel-2. Documentação oficial complementar é disponibilizada através do



endereço eletrônico <https://livingatlas.arcgis.com/landcover/>. As classes originalmente contidas na camada matricial são:

- Água

Áreas onde a água esteve predominantemente presente ao longo do ano; pode não cobrir áreas com água esporádica ou efêmera; contém pouca ou nenhuma vegetação esparsa, nenhum afloramento rochoso nem características construídas como docas; exemplos: rios, lagoas, lagos, oceanos, planícies de sal inundadas.

- Vegetação florestal

Qualquer aglomeração significativa de vegetação densa alta (~ 15 m ou mais alta), normalmente com uma copa fechada ou densa; exemplos: vegetação arborizada, aglomerados de vegetação alta densa dentro de savanas, plantações, pântanos ou manguezais (vegetação densa / alta com água efêmera ou dossel muito espesso para detectar água embaixo).

- Vegetação campestre

Áreas abertas cobertas por gramíneas homogêneas com pouca ou nenhuma vegetação mais alta; cereais selvagens e gramíneas sem dispersão humana óbvia (ou seja, não contém um campo plantado); exemplos: prados naturais e campos com pouca ou nenhuma cobertura de árvores, savana aberta com poucas ou nenhuma árvore, parques / campos de golfe / gramados, pastagens.

- Vegetação inundada

Áreas de qualquer tipo de vegetação com mistura óbvia de água durante a maior parte do ano; área sazonalmente inundada que é uma mistura de grama / arbusto / árvores / solo descoberto; exemplos: manguezais inundados, vegetação emergente, arrozais e outra agricultura fortemente irrigada e inundada.

- Agricultura

Cereais plantados / dispersos antropicamente, gramíneas e safras fora da altura das árvores; exemplos: milho, trigo, soja, pousios em terrenos estruturados.



- Vegetação arbustiva

Mistura de pequenos grupos de plantas ou plantas isoladas dispersas em uma paisagem que mostra solo ou rocha exposta; clareiras cheias de arbustos dentro de florestas densas que claramente não são mais altas do que árvores; exemplos: cobertura moderada a esparsa de arbustos, arbustos e tufos de grama, savanas com gramíneas muito esparsas, árvores ou outras plantas.

- Área construída

Estruturas feitas pelo homem; principais redes rodoviárias e ferroviárias; grandes superfícies impermeáveis homogêneas, incluindo estruturas de estacionamento, edifícios de escritórios e residências; exemplos: casas, vilas / cidades densas, estradas pavimentadas, asfalto.

- Solo exposto

Áreas de rocha ou solo com vegetação muito esparsa ou sem vegetação durante todo o ano; grandes áreas de areia e desertos com nenhuma a pouca vegetação; exemplos: rocha ou solo exposto, deserto e dunas de areia, planícies / depressões salinas secas, leitos de lagos secos, minas.

- Neve/Gelo

Grandes áreas homogêneas de neve ou gelo permanente, normalmente apenas em áreas montanhosas ou latitudes mais altas (e.g. geleiras, neve permanente, campos de neve).

- Nuvens

Nenhuma informação de cobertura do solo devido à cobertura de nuvens persistente.

Além disso, utilizou-se do cálculo de acurácia definido pela ESRI para uma melhor compreensão do perfil de exatidão de cada classe. Para isso avaliaram-se, através das áreas estimadas proporcionais, a acurácia de omissão, acurácia de adição e acurácia global. Após, estimou-se a área para cada classe resultando em



uma matriz de confusão com precisão global de 86%. A Tabela 1 mostra os resultados de acurácia para cada classe e a acurácia global resultante.

Tendo em vista a baixa acurácia das classes *vegetação campestre* e *vegetação arbustiva* foi realizada uma atualização destas classes, conforme demonstrado a seguir no item 2.2.1 deste documento. Foi observado que as maiores confusões na classificação se deram na conversão de *vegetação arbustiva* para *agricultura*, portanto esta última também passou por um processo de atualização. Ainda, as classes de Neve/Gelo e Nuvens foram desconsideradas uma vez que foram atribuídas à uma quantia insignificante de pixels.



Tabela 1. Acurácia da classificação de uso e cobertura do solo ESRI – 2020.

Classes	Água	Vegetação florestal	Vegetação campestre	Vegetação inundada	Agricultura	Vegetação arbustiva	Área construída	Solo exposto	Total	Acurácia (adição)	Acurácia (omissão)	Acurácia global
Água	4.275.518	448.170	13.469	72.099	123.837	148.733	63.534	6.035	5.151.395	0,83	0,99	0,86
Vegetação florestal	5.616	6.643.727	26.433	32.665	132.827	433.606	73.687	4.843	7.353.404	0,90	0,91	
Vegetação campestre	1.614	14.071	174.260	16.049	141.299	52.696	48.215	4.736	452.940	0,38	0,47	
Vegetação inundada	2.819	13.621	5.520	372.760	161.871	35.542	50.153	5.352	647.638	0,58	0,73	
Agricultura	2.688	63.360	113.362	9.110	5.253.462	256.643	68.746	27.953	5.795.324	0,91	0,90	
Vegetação arbustiva	884	107.956	35.857	4.140	16.507	1.194.833	71.460	5.995	1.437.632	0,83	0,49	
Área construída	5.313	1.767	174	149	10.449	50.346	1.950.581	17.547	2.036.326	0,96	0,84	
Solo exposto	15.301	2.761	172	2.162	1.453	290.546	4.188	502.719	819.302	0,61	0,87	
Total	4.309.753,00	7.295.433,00	369.247,00	509.134,00	5.841.705,00	2.462.945,00	2.330.564,00	575.180,00	23.693.961,00			



2.3. Atualização da classificação

A vegetação, dependendo de suas características bioquímicas e físicas, pode apresentar respostas espectrais variadas em dados de sensoriamento remoto por satélite, principalmente nas especificidades das classes de campo, agricultura e silvicultura no território gaúcho. Neste sentido, mesmo que o mapeamento base, aferido pela ESRI, conte com amostras locais, fez-se necessária uma etapa de detalhamento e atualização dos dados destas respectivas classes.

Utilizaram-se de técnicas de sensoriamento remoto e processamento digital de imagens para qualificação das áreas de vegetação florestal e de uso agrosilvopastoril, distinguindo-as entre si como áreas naturais e áreas de plantio. Em um primeiro momento, foram identificadas áreas de silvicultura com auxílio de imagens de satélites dos sensores remotos intitulados WorldView-3 (mosaico de janeiro de 2016 a dezembro de 2020), RapidEye (mosaico de diversas datas, disponibilizado após compilação em junho de 2021) e, finalmente, Sentinel-2 Level-2A (de agosto de 2021).

Assim, foi possível apontar a classe alvo em diferentes datas, aumentando a possibilidade de recobrimento de todo estado e a correta identificação. Contribuíram para a localização dessas áreas alguns índices de vegetação, como o NDVI (do inglês, *Normalized Difference Vegetation Index*), além de ferramentas de evidenciação de alvos a partir de diferentes composições de bandas.

As feições identificadas como de áreas de silvicultura foram vetorizadas manualmente a partir de inspeção visual não sistemática em tela, em escala compatível ou mais detalhada para obtenção de um produto em escala 1:50.000. As principais adaptações efetuadas dizem respeito às bordas das áreas de plantio, estradas vicinais e pequenas áreas de solo alagado internas às áreas de plantio.

Diferentemente da classificação manual da classe de silvicultura, as classes campo e agricultura foram discriminadas a partir de algoritmos de



classificação supervisionada, treinados com amostras de reflectância espectral de diversos alvos e armazenadas em banco de dados histórico, constantemente atualizado. As imagens de satélite empregadas para essa análise derivam do sensor Sentinel-2A.

Os locais onde a classe de agricultura apresentou maior confusão com a classe de campo foram submetidos a filtros de extensão mínima igual a 54 pixels de 10x10m com o intuito de serem mantidas feições homogêneas. Assim, evitam-se ruídos e mosaicos de pequenas áreas erroneamente classificadas e prioriza-se a contiguidade do dado e a verossimilhança em relação a informação terrestre.

2.4. Dados Hidrológicos

O conhecimento acerca do regime hídrico em uma bacia hidrográfica (BH) é fundamental nos estudos hidrológicos que servem como base para projetos de diferentes usos de água, tornando-se fator indispensável para um gerenciamento adequado dos recursos hídricos (SANTOS et al. 2009; OLIVEIRA et al. 2010). Segundo Campo et al. (2016), as precipitações são fatores de impacto desde a época do povoamento do território e são ainda mais importantes para o desenvolvimento de seus habitantes e de suas atividades produtivas.

A ANA disponibiliza séries pluviométricas pelo sistema de informações hidrológicas Hidro Web. Apesar da grande densidade de estações, há a existência de falhas nestas séries históricas, o que se deve, basicamente, à ausência do observador, falhas nos mecanismos de registro, perda das anotações ou das transcrições dos registros pelos operadores, encerramento das observações, entre outros (OLIVEIRA et al. 2010).

Neste estudo, foi considerado um período de 20 anos de dados (entre 1998 e 2018). Os dados de todas as estações hidrológicas disponíveis foram inspecionados e foram excluídas das análises as estações que apresentavam falhas na série histórica.

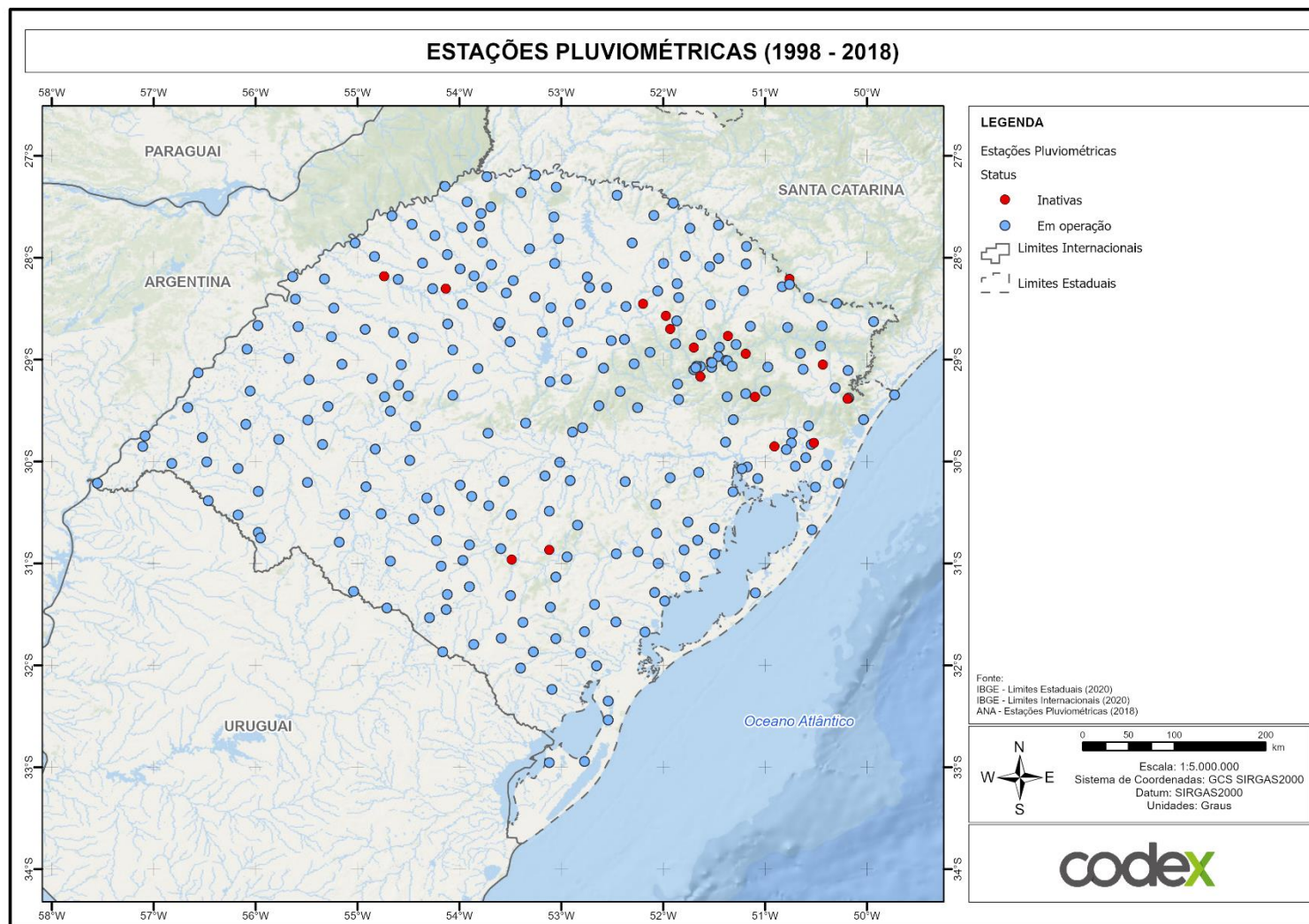


Ao fim, 265 estações foram efetivamente usadas para a espacialização dos dados hidrológicos (Figura 1). Optou-se pela aplicação do método de interpolação geoestatístico Krigagem, que se baseia na Teoria das Variáveis Regionalizadas, supondo que a variação espacial de um fenômeno é estatisticamente homogênea em uma área.

A variação espacial no método da Krigagem é quantificada por um semivariograma, que serve para analisar a dependência espacial entre as amostras (MARCUIZZO et al. 2011) e resulta em boas estimativas quando os dados são bem representativos da região a ser modelada (SIVAPRAGASAM et al., 2010). De acordo com Nogueira e Amaral (2009), a superfície gerada pela Krigagem cria uma forma de relevo mais uniforme. Devido a esse fato, esse método é o mais utilizado na geração de superfícies de interpolação, tendo sido aplicado também neste trabalho.



Figura 1. Localização das estações pluviométricas (ANA) utilizadas neste estudo.





2.4.1. Evapotranspiração (ET)

A evapotranspiração (ET) é o segundo componente mais importante do ciclo hidrológico, pois acredita-se que 60% da água precipitada retorna para atmosfera por este sistema (MU et al., 2011; FISHER et al., 2017). Portanto, a proporção entre precipitação e evapotranspiração define a disponibilidade de água em uma região para os diversos usos agrícolas, ecológicos e ambientais (LIN et al., 2018).

A ET é também o fator climático ambiental que mais é modificado pelas mudanças de uso de solo, isso porque um ambiente florestal retém muito mais da água precipitada para o seu desenvolvimento, o que aumenta o processo evaporativo do local. A medida de ET vem sendo estudada e modelos de sua estimativa vem sendo desenvolvidos para serem obtidos por técnicas de sensoriamento remoto, pois esse provém informação com alta resolução temporal e espacial. Dos diversos modelos descritos por Aguilar et al. (2018), o produto MOD16 é um dos mais utilizados pela facilidade e rapidez na obtenção de dados.

Neste estudo, a estimativa da ET da cobertura florestal e da pastagem (que foi utilizada como referência) nas diferentes áreas de cada bacia hidrográfica, foi realizada a partir de uma espacialização dos dados de ET global real, oriundos do sensor MODIS (produto MOD16 ET), referentes aos últimos 15 anos (2003-2018).

Estes produtos utilizam um algoritmo desenvolvido por Mu et al. (2011), com base na equação de Penman-Monteith (MONTEITH, 1965) (Eq. 1), para estimar a ET real sobre a superfície da terra a partir da evaporação da umidade do solo, da evaporação da precipitação interceptada pelo dossel (um importante fluxo de água para os ecossistemas com alto índice de área foliar) e transpiração, através dos estômatos das folhas e caules das plantas (TANG et al. 2015).

$$ET_0 = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad (1)$$



ET_0 = evapotranspiração de referência (mm/dia)

R_n = radiação líquida à superfície da cultura (MJ/m²/dia)

G = densidade do fluxo de calor do solo (Mj/m²/dia)

T = temperatura do ar a 2m de altura (°C)

u_2 = velocidade do vento a 2m de altura (m/s)

e_s = pressão de vapor de saturação (kPa)

e_a = pressão de vapor atual (kPa)

$e_s - e_a$ = déficit de pressão de vapor de saturação (kPa)

Δ = declividade da curva de pressão de vapor de saturação versus temperatura (kPa/°C)

γ = constante psicrométrica (kPa/°C)

A vantagem de se utilizar esta equação para o cálculo de ET é o fato de que a mesma fornece um padrão para o qual a evapotranspiração em períodos diferentes do ano ou em outras regiões, pode ser comparada com a evapotranspiração de outras culturas (ALLEN et al., 1998). Este algoritmo utiliza como dados de entrada: (1) O produto MODIS global de uso e cobertura da terra (MOD12Q1); (2) O produto MODIS global de 1 km² de índice de área foliar (LAI) (MOD15A2); (3) A décima banda do *White-Sky-Albedo* das composições de 8 dias dos produtos MCD43B2 e MCD43B3; e (4) Os dados globais de reanálise meteorológica do GMAO a uma resolução de 1,00 × 1,25. Por fim, a saída do algoritmo consiste em ET e calor latente (LE) de 8 dias, mensal e anual.

A média do produto mensal dos últimos 15 anos foi usada no intuito de caracterizar a ET do estado do Rio Grande do Sul, resultando em uma representação pixel-a-pixel em que se tem um dado de ET a cada 1 km². Vale enfatizar que o uso deste produto nos estudos realizados nos últimos anos tem demonstrado alta correlação com os dados medidos em campo.

2.4.2. Capacidade de água disponível no solo (CAD)

A Capacidade de água disponível no solo (CAD) expressa o volume máximo de água disponível às plantas no perfil do solo, sendo obtida pela diferença entre os limites máximo (capacidade de campo) e mínimo (ponto de



murcha permanente) de água disponível, multiplicada pela profundidade efetiva do sistema radicular (CARVALHO NETO, 2011; CASTRO et al. 2016).

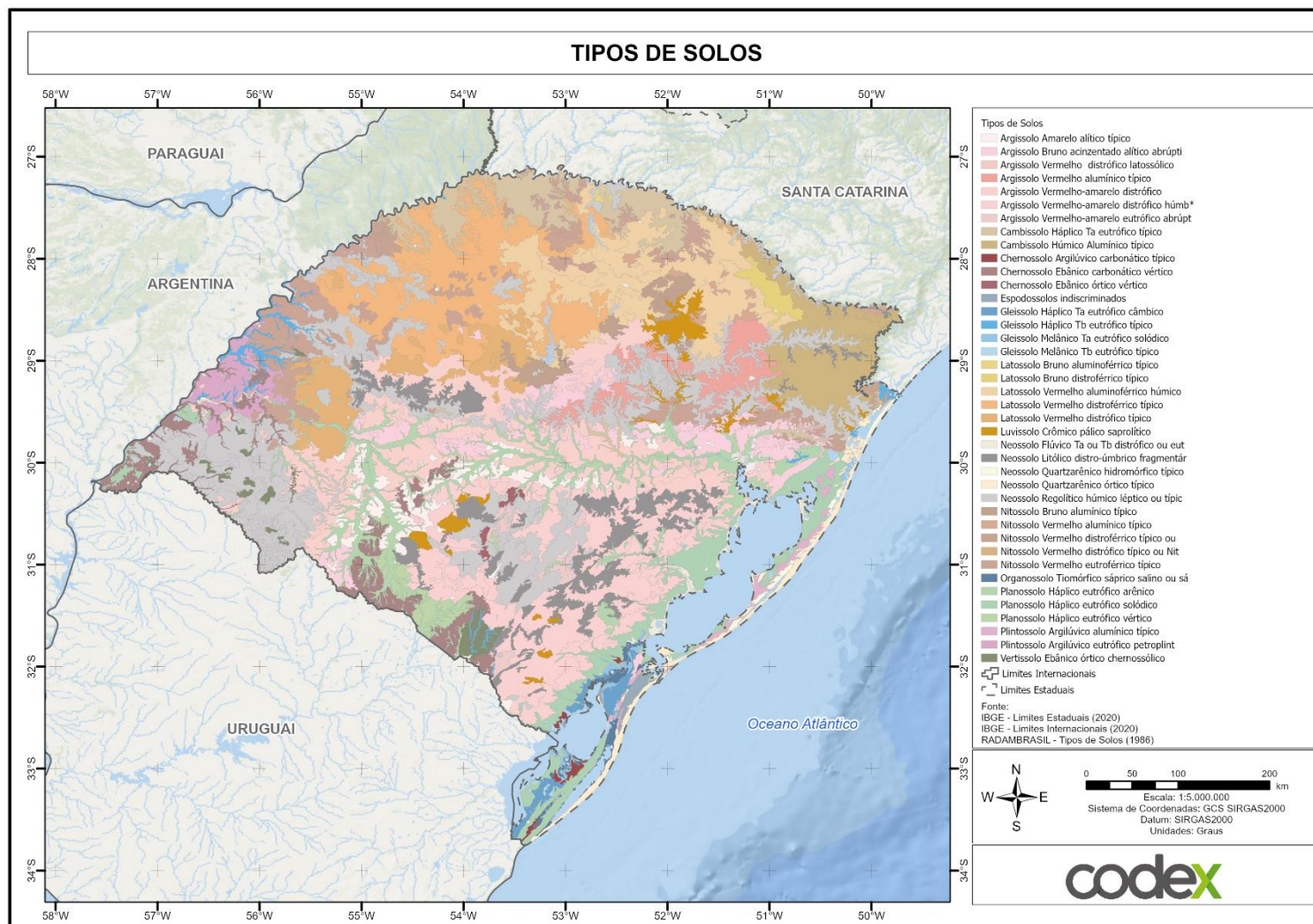
As florestas extraem uma quantidade maior de água por ET. Além disso, a maior interceptação do dossel, em comparação com as culturas agrícolas e o consumo de água, depende do uso da terra, da chuva e de outras variáveis climáticas (REICHERT et al., 2017). Nesse sentido, SEMA (2006) e CARVALHO NETO (2011) classificaram as diferentes capacidades de água disponíveis (CADs) nas mais diferentes classificações de solo sob o uso de floresta no Rio Grande do Sul, esta classificação foi adotada neste estudo para as classes compostas por floresta nativa e plantios florestais, que foram aqui denominadas de “cobertura florestal”.

A absorção da água pelo sistema radicular se dá primordialmente pelas raízes finas e médias, sendo as raízes grossas destinadas exclusivamente à sustentação das plantas. Nesse contexto, para as áreas referentes à agricultura, optou-se por considerar a definição apresentada por Pereira et al. (2002), ou seja, uma média entre as CADs dos períodos quentes e frios das classes compostas por agricultura e conforme o diferente tipo de solo.

De modo geral, o cálculo da CAD considera muitos fatores e é de onerosa mensuração, por este fato não se encontram valores para os tipos de solo ou cobertura da terra. Doorenbos e Kassam (1994) recomendam que na impossibilidade de se ter dados locais, pode-se utilizar critérios aproximados. Todos os tipos de solo presentes no mapeamento de Solos do Rio Grande do Sul do projeto RADAMBRASIL (1986) (Figura 2) foram considerados neste estudo e cruzados com os valores de CAD aproximados disponíveis na literatura.



Figura 2. Solos do Rio Grande do Sul do projeto RADAMBRASIL (1986)



As classes de uso Afloramento rochoso, Areia, Mineração e Urbano receberam valores de CAD inferiores a 100, pois não apresentam capacidade de água disponível de tanta relevância para este estudo. Ainda, nas áreas classificadas como banhado foi atribuído um valor de CAD constante de 150, uma vez que são locais permanentemente ou temporariamente alagados e não há relatos na literatura a respeito do seu comportamento quanto a CAD. O resultado final consistiu em um mapa do estado do Rio Grande do Sul com os valores de CAD espacializados.

2.4.3. Cálculo do Balanço Hídrico Climatológico (BHC)

Para a elaboração do balanço hídrico foi empregada a metodologia de Thornthwaite & Mather (1955), a mais conhecida mundialmente por considerar que a disponibilidade de água no solo diminui à medida que o armazenamento é reduzido, estabelecendo, assim, o solo e o coeficiente de vegetação como um ingrediente ativo no seu cálculo (CARVALHO NETO, 2014).

O Balanço Hídrico Climatológico (BHC) pode ser descrito pela Equação 2 considerando superfícies vegetadas.

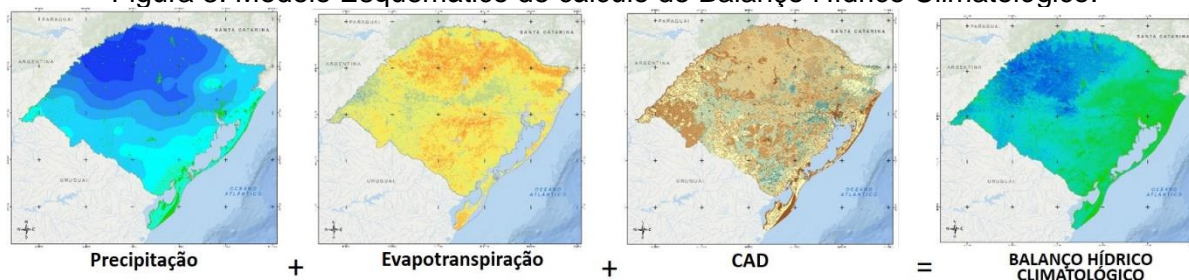
$$\Delta S = P - ET \quad (2)$$

Onde: (ΔS) é a variação de armazenamento de água no solo; (P) é a precipitação ou entrada de água no sistema; (ET) evapotranspiração ou saída de água do sistema.

Para o cálculo do BHC foram necessários: 12 mapas de precipitação, média mensal de série histórica dos últimos 20 anos; 12 mapas de evapotranspiração, média mensal dos últimos 15 anos MODIS 16; e um mapa de CAD para a área de estudo. O BHC foi calculado mensalmente, os mapas de precipitação foram compilados com os mapas de evapotranspiração e CAD, gerando um BHC mensal, como demonstrado no modelo da Figura 3.



Figura 3. Modelo Esquemático de cálculo de Balanço Hídrico Climatológico.



O BHC consiste na contabilização das entradas e saídas água no solo, resultante do princípio de conservação de massa em um volume de solo vegetado, e seu cálculo em mapas de déficit (DEF) e excedentes hídricos (EXC) (PEREIRA, 2002; CASTRO et al. 2016). Em seguida, os dados de EXC de toda a área são cruzados com as classes de uso do solo. O passo seguinte consiste em selecionar somente as classes de uso do solo classificados como Vegetação Campestre; e Vegetação Florestal e Silvicultura, a partir das quais é possível calcular a redução de vazão específica (Q_i) que ocorre ao se substituir pastagem por cobertura florestal. Neste sentido, empregou-se um princípio de precaução e extrapolou-se os cálculos de vazões para um cenário improvável de substituição de toda a cobertura campestre por cobertura florestal.

2.5. Redução de vazão (Q_i)

Com os valores dos excedentes hídricos resultantes do BHC para a vegetação campestre e para a silvicultura, calcularam-se então as vazões específicas (Q_i), obtendo-se uma Q_i média para cada bacia hidrográfica (l/s/ha), conforme a equação seguinte:

$$Q_i = \frac{EXC \times x \times 10000}{365 \times 24 \times 3600} \quad (3)$$

Q_i = Vazão específica em l/s/ha

EXC = Excedente hídrico anual em mm anuais.

x = vegetação campestre ou florestal



3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Uso e Ocupação do Solo

O uso e cobertura do solo do Rio Grande do Sul é definido, majoritariamente em 6 classes (Tabela 2): Agricultura (~43%), Vegetação Campestre (~27%), Vegetação Florestal (~17%), Água (~7%) e, por fim, a classe de maior interesse no âmbito desse projeto, Silvicultura (~4%), além de Áreas Construídas (~1,6%). As demais classes individualmente não alcançam a marca de 1% da área total do território, apesar de somadas representarem aproximadamente 1,6%. Na Tabela 3 estão discriminados os usos e cobertura do solo por UPNs e BHs.

Tabela 2. Área por classe de uso e cobertura do solo para o estado do Rio Grande do Sul.

Classe	Área (km ²)	Área (%)
Água	18.797	6,66%
Vegetação florestal	48.503	17,22%
Vegetação campestre	74.738	26,53%
Vegetação inundada	1.076	0,38%
Agricultura	120.871	42,91%
Vegetação arbustiva	2.599	0,92%
Área construída	4.454	1,58%
Solo exposto	689	0,24%
Silvicultura	9.954	3,53%
Total	281.681	100,00%

Tabela 3. Composição do Uso e Cobertura do Solo por UPN e BH

UPN	BH	Classes de Uso e cobertura do Solo								Total	
		Água	Vegetação Florestal	Vegetação Campestre	Vegetação Inundada	Agricultura	Vegetação Arbustivas	Área Construída	Solo Exposto		Silvicultura
DP1	G060	1,6%	11,2%	9,0%	0,3%	76,4%	0,0%	0,9%	0,0%	0,5%	100%
DP1	G070	2,2%	19,2%	12,7%	0,1%	61,3%	0,2%	2,2%	0,0%	2,1%	100%
DP1	G030	1,0%	41,2%	9,3%	0,0%	19,9%	1,2%	19,2%	0,0%	8,2%	100%
DP1	G090	1,2%	18,3%	14,5%	0,1%	56,8%	0,2%	6,0%	0,0%	2,9%	100%
DP1	G040	1,7%	19,8%	11,3%	0,0%	47,5%	0,2%	10,4%	0,0%	9,1%	100%
DP2	U070	1,7%	4,5%	52,9%	0,2%	36,8%	0,5%	0,4%	0,1%	2,9%	100%
DP2	G060	1,6%	6,9%	31,7%	0,0%	56,5%	0,4%	0,9%	0,0%	2,0%	100%
DP2	U050	1,8%	9,2%	42,1%	0,1%	44,4%	0,2%	0,2%	0,1%	1,8%	100%
DP3	G010	1,0%	22,2%	48,8%	0,0%	17,5%	1,4%	6,1%	0,0%	3,0%	100%
DP3	G020	0,8%	30,2%	31,0%	0,0%	16,3%	1,6%	16,9%	0,0%	3,2%	100%
DP3	G030	0,0%	84,2%	0,0%	0,0%	10,5%	0,0%	5,3%	0,0%	0,0%	100%
DP4	G010	0,9%	23,0%	25,6%	1,6%	10,9%	2,6%	33,5%	0,0%	1,9%	100%
DP4	G020	0,8%	24,5%	19,1%	0,0%	17,6%	1,6%	32,0%	0,0%	4,3%	100%
DP4	G070	6,0%	21,2%	25,9%	0,0%	25,3%	1,0%	1,7%	0,0%	18,9%	100%
DP4	G030	1,4%	30,1%	23,8%	0,0%	21,9%	1,7%	8,8%	0,1%	12,2%	100%
DP4	G040	4,3%	20,1%	21,6%	0,1%	19,1%	0,7%	3,1%	0,0%	30,9%	100%
DP4	G080	3,0%	14,2%	3,7%	0,3%	6,7%	2,3%	64,3%	0,0%	5,5%	100%
DP5	L030	0,0%	4,0%	73,1%	0,0%	20,8%	2,2%	0,0%	0,0%	0,0%	100%
DP5	U070	0,1%	7,7%	57,6%	0,0%	26,2%	0,0%	0,0%	0,0%	8,4%	100%
DP5	G060	1,9%	11,4%	27,8%	0,1%	55,8%	0,2%	1,2%	0,0%	1,5%	100%
DP5	G070	2,1%	14,4%	24,2%	0,2%	48,3%	0,9%	0,9%	0,0%	9,2%	100%
DP5	G090	0,7%	12,7%	29,7%	0,0%	46,9%	0,3%	6,5%	0,0%	3,3%	100%
DP5	U050	0,1%	8,2%	48,9%	0,0%	28,6%	0,5%	0,1%	0,0%	13,6%	100%
DP5	G040	1,2%	11,9%	29,0%	0,0%	48,0%	0,2%	0,8%	0,0%	8,8%	100%
DP5	G080	1,8%	21,0%	32,5%	0,2%	26,5%	0,9%	2,6%	0,0%	14,5%	100%
DP6	U070	0,2%	11,5%	74,8%	0,0%	11,1%	2,3%	0,0%	0,0%	0,0%	100%
DP6	U050	0,3%	13,1%	78,6%	0,0%	5,8%	2,2%	0,0%	0,0%	0,0%	100%
DP7	U080	3,6%	2,4%	42,1%	0,1%	50,8%	0,2%	0,1%	0,0%	0,7%	100%
DP7	U070	3,5%	3,3%	36,6%	0,4%	55,2%	0,4%	0,3%	0,0%	0,4%	100%
DP7	L040	1,0%	3,0%	69,2%	0,0%	25,1%	0,9%	0,2%	0,0%	0,6%	100%
DP8	U080	0,8%	9,5%	50,9%	0,0%	32,7%	1,1%	1,1%	0,0%	3,8%	100%
DP8	L040	1,4%	10,3%	41,3%	0,0%	40,2%	0,9%	0,2%	0,0%	5,6%	100%
PC1	U050	0,6%	18,7%	47,2%	0,0%	31,9%	1,2%	0,0%	0,0%	0,4%	100%
PC1	U110	2,1%	9,6%	44,0%	0,2%	42,9%	0,5%	0,2%	0,0%	0,3%	100%
PC1	U040	3,1%	11,7%	43,2%	0,0%	41,5%	0,2%	0,1%	0,0%	0,2%	100%
PC1	U090	4,2%	14,8%	38,8%	0,0%	41,0%	0,2%	0,8%	0,0%	0,2%	100%
PC1	U030	14,9%	6,1%	34,4%	0,0%	43,9%	0,0%	0,2%	0,0%	0,5%	100%
PC2	U060	6,8%	6,4%	11,2%	0,8%	74,0%	0,6%	0,1%	0,0%	0,2%	100%
PC2	U050	6,4%	5,8%	19,0%	0,2%	66,8%	0,7%	0,6%	0,2%	0,4%	100%
PC2	U110	5,1%	5,2%	18,0%	0,2%	70,5%	0,5%	0,2%	0,0%	0,3%	100%
PC3	U050	1,1%	8,1%	39,9%	0,0%	45,2%	1,2%	0,2%	0,2%	4,0%	100%
PC3	U110	0,3%	16,9%	46,2%	0,0%	35,1%	1,2%	0,1%	0,0%	0,1%	100%
PC4	U060	2,1%	4,6%	75,2%	0,0%	17,3%	0,5%	0,1%	0,0%	0,1%	100%
PC4	U070	0,5%	11,5%	84,9%	0,0%	1,8%	1,4%	0,0%	0,0%	0,0%	100%
PC4	U050	2,7%	3,3%	62,4%	0,0%	30,4%	0,8%	0,2%	0,0%	0,2%	100%
PC5	U070	0,1%	17,3%	67,5%	0,0%	12,7%	1,5%	0,7%	0,0%	0,0%	100%
PC5	U050	0,6%	9,8%	77,8%	0,0%	10,2%	1,0%	0,4%	0,0%	0,4%	100%
PC6	U060	3,8%	7,3%	11,1%	0,0%	72,6%	0,2%	5,0%	0,0%	0,0%	100%

UPN	BH	Classes de Uso e cobertura do Solo									Total
		Água	Vegetação Florestal	Vegetação Campestre	Vegetação Inundada	Agricultura	Vegetação Arbustivas	Área Construída	Solo Exposto	Silvicultura	
PC6	U050	1,6%	3,7%	19,3%	0,0%	74,8%	0,3%	0,1%	0,0%	0,2%	100%
PL1	L010	16,5%	24,3%	26,5%	0,9%	22,5%	0,3%	7,1%	0,0%	1,9%	100%
PL1	L050	1,4%	20,8%	22,8%	2,1%	46,7%	0,2%	5,0%	0,0%	1,0%	100%
PL2	L010	35,8%	3,7%	26,1%	1,5%	8,3%	4,6%	15,5%	3,3%	1,2%	100%
PL2	L050	5,4%	11,9%	19,1%	0,1%	16,0%	1,8%	41,9%	3,7%	0,0%	100%
PL2	L020	10,1%	6,5%	27,6%	3,2%	3,6%	17,0%	1,3%	22,4%	8,2%	100%
PL2	L040	2,3%	4,0%	36,2%	3,0%	4,5%	14,0%	4,0%	18,4%	13,6%	100%
PL3	G010	2,2%	6,1%	36,1%	1,3%	49,0%	3,3%	2,0%	0,0%	0,1%	100%
PL3	L010	10,2%	9,2%	31,7%	0,6%	16,6%	2,6%	3,6%	0,1%	25,3%	100%
PL3	G080	0,0%	66,7%	0,0%	0,0%	0,0%	33,3%	0,0%	0,0%	0,0%	100%
PL3	L020	6,7%	3,9%	27,5%	1,7%	50,4%	1,5%	0,3%	0,4%	7,7%	100%
PL4	L030	3,3%	8,5%	13,7%	0,9%	69,0%	1,1%	1,0%	0,4%	2,1%	100%
PL4	G010	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	100%
PL4	G020	23,1%	46,2%	0,0%	0,0%	0,0%	7,7%	23,1%	0,0%	0,0%	100%
PL4	G070	7,2%	10,4%	8,1%	0,4%	69,0%	1,9%	0,5%	0,0%	2,5%	100%
PL4	G030	6,7%	62,2%	4,6%	0,7%	21,3%	3,6%	0,5%	0,0%	0,4%	100%
PL4	G080	5,7%	17,5%	13,4%	0,7%	47,9%	2,5%	7,7%	0,0%	4,5%	100%
PL4	L040	2,8%	4,5%	13,0%	1,2%	74,2%	0,5%	2,1%	0,2%	1,6%	100%
PL5	L030	1,2%	23,6%	24,0%	0,1%	18,8%	2,2%	0,2%	0,0%	30,0%	100%
PL5	G010	0,8%	17,0%	57,3%	0,2%	16,7%	2,3%	3,4%	0,0%	2,3%	100%
PL5	G080	5,2%	15,5%	21,3%	0,7%	28,1%	2,2%	0,2%	0,0%	26,9%	100%
PL5	L020	0,6%	20,9%	51,7%	0,0%	19,8%	0,6%	3,4%	0,0%	3,0%	100%
PL6	L040	8,3%	9,2%	30,1%	25,5%	21,8%	3,3%	1,1%	0,6%	0,1%	100%
PL7	L040	3,8%	0,7%	15,2%	6,2%	72,4%	0,6%	0,3%	0,2%	0,6%	100%
PL8	L040	0,0%	4,5%	65,6%	17,2%	2,6%	7,8%	0,5%	0,1%	1,7%	100%
PM1	U020	3,3%	27,1%	9,2%	0,0%	54,7%	0,4%	1,4%	0,0%	3,9%	100%
PM1	U030	0,6%	12,4%	1,8%	0,0%	83,2%	0,0%	1,5%	0,0%	0,5%	100%
PM1	U100	2,1%	29,9%	7,0%	0,0%	56,9%	0,1%	2,4%	0,0%	1,5%	100%
PM10	L050	0,0%	24,9%	74,1%	0,0%	0,0%	1,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100%
PM10	G040	0,1%	32,2%	51,9%	0,0%	6,9%	2,0%	0,7%	0,0%	6,2%	100%
PM10	U010	0,3%	18,0%	59,0%	0,0%	11,3%	0,5%	0,1%	0,0%	10,7%	100%
PM11	L050	0,0%	67,8%	31,5%	0,0%	0,0%	0,7%	0,0%	0,0%	0,1%	100%
PM11	G040	0,7%	52,1%	30,2%	0,0%	6,7%	2,5%	0,3%	0,0%	7,5%	100%
PM12	G020	0,3%	35,0%	31,0%	0,0%	14,9%	0,9%	3,5%	0,0%	14,5%	100%
PM12	L010	0,0%	26,8%	53,1%	0,0%	15,2%	0,3%	0,1%	0,0%	4,5%	100%
PM12	G030	1,1%	19,7%	46,2%	0,0%	10,2%	0,7%	0,6%	0,0%	21,5%	100%
PM12	L050	0,1%	22,7%	65,8%	0,0%	6,1%	1,4%	0,0%	0,0%	4,0%	100%
PM12	G040	0,3%	14,3%	64,1%	0,0%	6,9%	1,6%	0,3%	0,0%	12,5%	100%
PM13	G090	0,1%	22,6%	34,5%	0,0%	39,9%	1,3%	0,6%	0,0%	1,0%	100%
PM13	G040	0,1%	28,0%	13,7%	0,0%	50,7%	0,8%	2,7%	0,0%	3,9%	100%
PM13	G050	0,4%	17,1%	17,1%	0,0%	64,2%	0,0%	0,6%	0,0%	0,5%	100%
PM14	G060	0,9%	49,6%	16,4%	0,0%	26,7%	0,6%	3,8%	0,0%	2,0%	100%
PM14	G070	1,1%	50,1%	8,5%	0,0%	35,8%	0,8%	1,1%	0,0%	2,6%	100%
PM14	G030	0,4%	57,3%	2,2%	0,0%	15,5%	1,3%	10,5%	0,0%	12,8%	100%
PM14	G090	0,3%	64,8%	5,0%	0,0%	23,8%	1,8%	1,8%	0,0%	2,6%	100%
PM14	U050	0,6%	36,7%	33,1%	0,0%	27,1%	1,4%	0,7%	0,0%	0,3%	100%
PM14	G040	0,8%	55,1%	4,6%	0,0%	25,9%	1,2%	4,7%	0,0%	7,8%	100%
PM14	G050	1,5%	30,0%	7,7%	0,0%	56,9%	0,2%	1,8%	0,0%	1,8%	100%
PM15	G020	0,1%	81,4%	4,7%	0,0%	7,3%	0,7%	0,4%	0,0%	5,3%	100%
PM15	L010	0,1%	88,9%	5,7%	0,0%	2,3%	0,5%	0,3%	0,0%	2,2%	100%

UPN	BH	Classes de Uso e cobertura do Solo									Total
		Água	Vegetação Florestal	Vegetação Campestre	Vegetação Inundada	Agricultura	Vegetação Arbustivas	Área Construída	Solo Exposto	Silvicultura	
PM15	L050	0,0%	74,3%	14,0%	0,0%	8,5%	0,7%	0,4%	0,0%	2,1%	100%
PM15	G040	0,0%	78,9%	14,8%	0,0%	1,3%	0,2%	0,0%	0,0%	4,7%	100%
PM16	G010	1,5%	21,2%	58,4%	0,0%	10,3%	1,7%	6,6%	0,0%	0,2%	100%
PM16	G020	0,1%	66,5%	12,4%	0,0%	6,4%	1,8%	4,1%	0,0%	8,7%	100%
PM16	L010	0,0%	92,1%	2,4%	0,0%	0,8%	0,3%	1,7%	0,0%	2,7%	100%
PM16	G030	0,1%	74,0%	5,8%	0,0%	4,5%	1,8%	3,5%	0,0%	10,4%	100%
PM16	L020	5,0%	54,0%	20,9%	0,1%	7,4%	1,1%	8,5%	0,0%	3,0%	100%
PM2	U040	0,1%	23,2%	18,4%	0,0%	57,3%	0,4%	0,5%	0,0%	0,0%	100%
PM2	U090	1,8%	12,5%	8,3%	0,0%	74,8%	0,1%	2,1%	0,0%	0,4%	100%
PM2	U030	1,2%	19,0%	7,8%	0,0%	69,0%	0,1%	2,0%	0,0%	0,8%	100%
PM2	U100	5,1%	41,7%	5,4%	0,0%	46,7%	0,0%	0,5%	0,0%	0,6%	100%
PM3	U010	2,7%	28,4%	7,1%	0,0%	57,0%	0,1%	1,7%	0,0%	3,0%	100%
PM3	U020	0,4%	24,5%	8,6%	0,0%	58,4%	0,3%	1,7%	0,0%	6,1%	100%
PM4	U020	0,1%	7,6%	2,5%	0,0%	82,0%	0,0%	6,2%	0,0%	1,7%	100%
PM4	U100	0,4%	13,3%	1,6%	0,0%	82,0%	0,1%	1,9%	0,0%	0,7%	100%
PM5	G040	0,3%	20,5%	19,1%	0,0%	57,1%	0,2%	0,4%	0,0%	2,5%	100%
PM5	U010	0,6%	17,7%	18,2%	0,0%	59,9%	0,1%	0,9%	0,0%	2,5%	100%
PM6	G020	0,1%	70,5%	2,5%	0,0%	2,3%	1,0%	18,2%	0,0%	5,5%	100%
PM6	G030	0,4%	63,8%	6,3%	0,0%	10,5%	1,5%	10,9%	0,0%	6,6%	100%
PM6	G090	0,3%	52,0%	6,9%	0,0%	31,1%	0,8%	2,1%	0,0%	6,9%	100%
PM6	G040	0,7%	43,9%	5,5%	0,0%	38,9%	0,6%	5,6%	0,0%	4,8%	100%
PM6	G050	1,7%	12,5%	2,3%	0,0%	80,9%	0,0%	1,8%	0,0%	0,8%	100%
PM6	U010	0,1%	14,7%	0,7%	0,0%	79,7%	0,0%	3,6%	0,0%	1,1%	100%
PM6	U020	0,3%	15,1%	0,9%	0,0%	76,8%	0,0%	5,7%	0,0%	1,1%	100%
PM7	U040	0,6%	21,6%	19,5%	0,0%	57,8%	0,1%	0,4%	0,0%	0,0%	100%
PM7	U090	0,4%	9,2%	5,0%	0,0%	83,6%	0,0%	1,7%	0,0%	0,2%	100%
PM7	U030	0,3%	11,9%	2,9%	0,0%	83,8%	0,0%	0,9%	0,0%	0,2%	100%
PM8	U010	6,0%	58,0%	19,6%	0,0%	9,0%	1,9%	0,1%	0,0%	5,4%	100%
PM9	G060	0,1%	24,8%	7,3%	0,0%	67,2%	0,0%	0,3%	0,0%	0,3%	100%
PM9	G070	0,1%	11,3%	14,2%	0,0%	74,1%	0,0%	0,1%	0,0%	0,2%	100%
PM9	U050	0,4%	8,7%	26,8%	0,0%	63,0%	0,2%	0,5%	0,0%	0,4%	100%
PM9	U110	0,2%	5,2%	39,8%	0,0%	54,1%	0,3%	0,2%	0,0%	0,2%	100%
PM9	G040	0,5%	10,2%	5,9%	0,0%	83,3%	0,0%	0,2%	0,0%	0,0%	100%
PM9	G050	2,5%	7,4%	5,9%	0,0%	82,6%	0,1%	1,0%	0,1%	0,5%	100%
PM9	U040	0,6%	10,0%	22,2%	0,0%	66,6%	0,0%	0,4%	0,0%	0,1%	100%
PM9	U090	0,3%	8,1%	6,2%	0,0%	84,6%	0,0%	0,5%	0,0%	0,2%	100%
PM9	U010	0,2%	9,8%	2,1%	0,0%	87,2%	0,0%	0,5%	0,0%	0,2%	100%
PM9	U020	4,4%	10,4%	2,2%	0,0%	80,6%	0,1%	1,5%	0,0%	0,7%	100%
PM9	U030	0,5%	11,3%	1,2%	0,0%	86,6%	0,0%	0,3%	0,0%	0,1%	100%
PM9	U100	0,4%	13,0%	2,2%	0,0%	82,5%	0,0%	1,0%	0,0%	0,9%	100%
PS1	G010	0,3%	29,2%	16,8%	0,0%	2,0%	1,4%	48,2%	0,0%	2,0%	100%
PS1	G080	1,2%	35,1%	10,1%	0,0%	2,1%	1,8%	46,0%	0,0%	3,6%	100%
PS1	L020	1,3%	74,4%	6,7%	0,0%	2,7%	8,2%	0,2%	0,0%	6,6%	100%
PS2	U080	0,8%	8,0%	52,4%	0,0%	31,6%	1,2%	3,7%	0,0%	2,3%	100%
PS2	L030	0,3%	10,7%	60,0%	0,0%	23,0%	1,3%	0,0%	0,0%	4,8%	100%
PS2	U070	0,6%	7,6%	68,2%	0,0%	20,5%	1,0%	0,0%	0,0%	2,0%	100%
PS2	G060	0,3%	19,6%	48,3%	0,0%	26,6%	1,2%	0,1%	0,0%	4,0%	100%
PS2	G070	0,0%	35,8%	37,1%	0,0%	6,0%	1,3%	0,7%	0,0%	19,2%	100%
PS2	L040	1,1%	7,1%	41,6%	0,0%	36,3%	2,2%	1,1%	0,4%	10,3%	100%
PS3	L030	0,5%	30,4%	40,2%	0,0%	15,9%	3,0%	0,1%	0,1%	9,8%	100%

UPN	BH	Classes de Uso e cobertura do Solo									Total
		Água	Vegetação Florestal	Vegetação Campestre	Vegetação Inundada	Agricultura	Vegetação Arbustivas	Área Construída	Solo Exposto	Silvicultura	
PS3	G060	0,1%	30,9%	47,7%	0,0%	14,7%	2,4%	1,7%	0,0%	2,5%	100%
PS3	G070	0,1%	26,5%	35,9%	0,0%	13,1%	3,1%	0,3%	0,0%	21,1%	100%
PS3	G080	0,1%	45,9%	22,6%	0,0%	16,1%	2,6%	0,1%	0,0%	12,6%	100%
PS4	L030	0,7%	31,4%	18,7%	0,0%	41,8%	0,6%	0,3%	0,0%	6,4%	100%
PS4	G070	0,2%	40,4%	12,0%	0,0%	31,5%	0,5%	0,4%	0,0%	14,9%	100%
PS4	G080	0,8%	32,4%	20,2%	0,1%	32,5%	0,8%	0,5%	0,0%	12,6%	100%
PS4	L040	0,2%	33,9%	20,0%	0,0%	41,5%	1,1%	0,9%	0,0%	2,3%	100%
PS5	L030	0,1%	25,1%	40,7%	0,0%	19,8%	3,3%	0,1%	0,0%	10,9%	100%
PS5	L040	0,1%	26,9%	51,0%	0,0%	16,2%	1,9%	0,2%	0,0%	3,7%	100%
PS6	L030	0,0%	19,0%	61,0%	0,0%	12,7%	2,3%	0,0%	0,0%	5,0%	100%
PS6	L040	0,1%	11,9%	64,8%	0,0%	11,8%	1,8%	0,0%	0,0%	9,7%	100%
PS7	L040	1,3%	10,6%	42,0%	0,0%	41,2%	0,4%	0,3%	0,0%	4,1%	100%



Tratando-se especificamente da classe Água, tem-se que nas UPNs PL2 e PL4 as bacias L010 – Tramandaí e G020 – Sinos, respectivamente, apresentam 35,8 e 23,1% de pixels atribuídos à essa classe, enquanto a média é aproximadamente 2,1%. São pelo menos 38 intersecções de UPNs e BHs dentre as 160 que detêm bacias que superam a média mencionada, embora, notavelmente aconteça um achatamento da distribuição dessa classe em relação às demais, com ocorrências que beiram valores que poderiam ser considerados como *outliers*. Infere-se, a partir disso, que a grande maioria das UPNs detêm pouca área atribuída a massas d'água enquanto a minoria que se estabelece no topo desse ordenamento é coberta por grandes corpos hídricos – demonstração da concentração da disponibilidade hídrica em determinadas regiões.

Já no que diz respeito à classe Vegetação Florestal há maior amplitude na distribuição, com 56 resultados do cruzamento de UPNs e BHs localizadas acima da média de 24%. A área da bacia L010 – Tramandaí que está inclusa nas UPNs PM16 e PM15 alcança os impressionantes valores de 92,1 e 88,9% de cobertura atribuída à essa classe, em cada UPN, respectivamente. Pelo menos mais 21 intersecções entre UPNs e BHs apresentam mais da metade de sua área coberta por Vegetação Florestal, enquanto, em contrapartida, há 43 dessas com menos de 10% de cobertura vegetal desse tipo, demonstrando uma distribuição com crescimento mais linear e duradouro do que a classe de água.

Por sua vez, as bacias U070 – Santa Maria e U050 – Ibicuí destacam-se por serem as que detêm majoritariamente Vegetação Campestre (~80% de suas correspondentes UPNs) enquanto as bacias U010 – Apuae-Inhandava e L030 – Camaquã demonstram uma inversão proporcional de ocorrência das classes Vegetação Campestre e Agricultura com Vegetação Florestal. Finalmente, as bacias da UPN PM9 detêm o maior percentual de Agricultura, entre aproximadamente 80 e 90% de classe de uso e cobertura do solo atribuída a esse tipo de atividade.

A classe Silvicultura contém 61 das 160 intersecções resultantes do cruzamento de UPNs e BHs acima dos 3,54% resultantes da classificação de uso e cobertura do solo para esta classe em todo estado. Destacam-se as bacias G040 – Taquari-Antas e L030 – Camaquã inseridas nos territórios das UPNs DP4 e

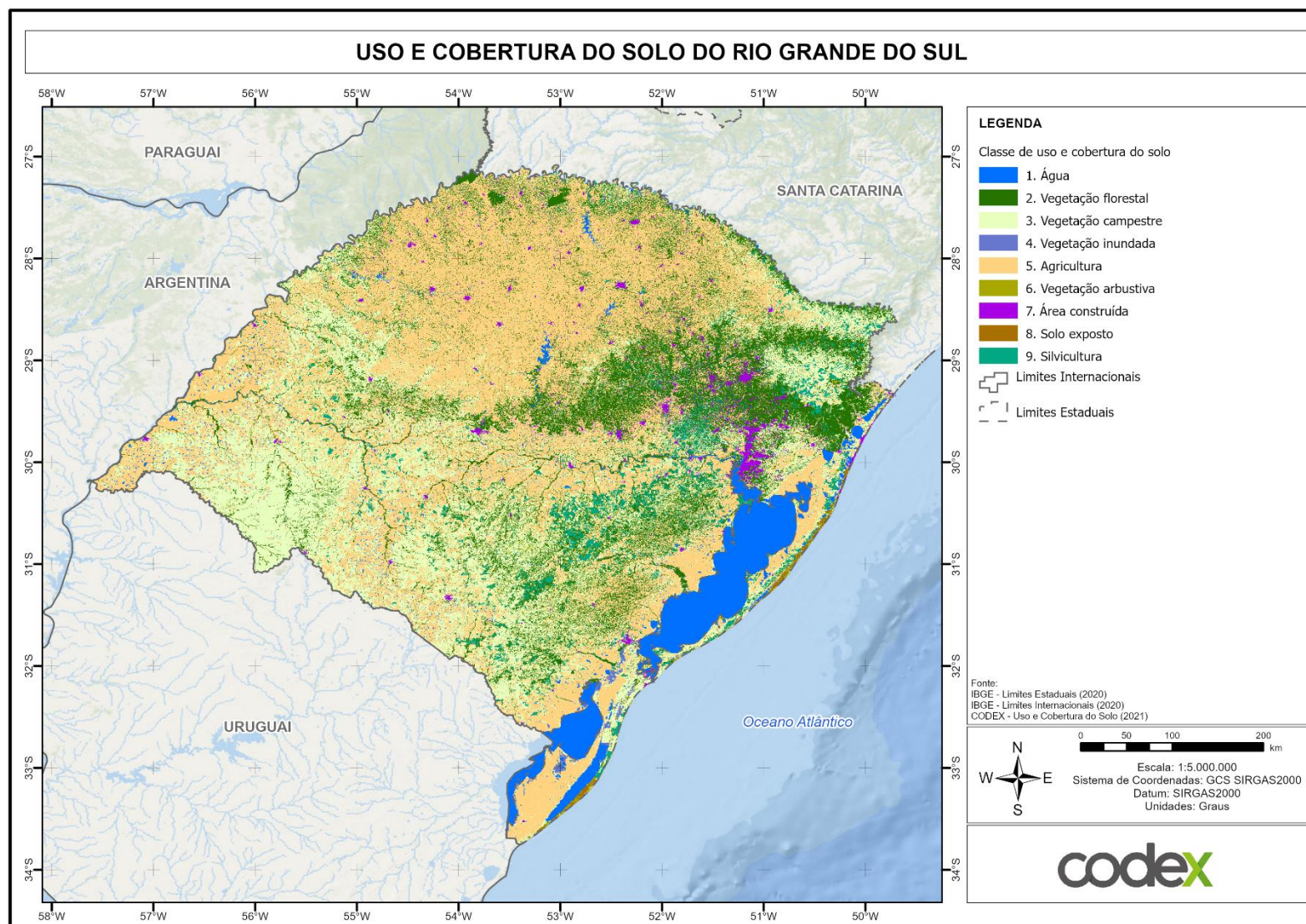


PL5, as quais obtiveram ao redor de 30% de classe de uso e cobertura do solo atribuída à Silvicultura. Por outro lado, 15 cruzamentos de BHs e UPNs não apresentam nenhum registro de florestas plantadas.

A Figura 4 demonstra a classificação final referente à área de todo estado do Rio Grande do Sul, conforme o cronograma do projeto. Pode-se visualizar as 10 classes de uso e cobertura do solo propostas neste relatório. Ressalta se que o dado em formato raster está disponível em forma de apêndice digital como parte integrante deste relatório, possibilitando assim uma melhor visualização da camada de uso e cobertura do solo gerada para o estado do Rio Grande do Sul.



Figura 4. Classificação de uso e cobertura do solo do Rio Grande do Sul.





3.1.1. Capacidade de Água Disponível (CAD)

A CAD é uma característica do solo fundamental no cálculo do BHC (CASTRO et al. 2016). Neste estudo, as CADs foram atribuídas conforme o tipo de solo e sua cobertura. Sabe-se que este parâmetro varia de acordo com características inerentes ao solo (como textura, estrutura, densidade, porosidade, dentre outros) e aquelas relacionadas com a cultura de interesse (e.g. profundidade do sistema radicular). Assim, se faz necessário cautela na correlação desses fatores, uma vez que a incorreta definição de seu valor altera os resultados do BHC (ROSSATO, 2001; PEREIRA et al., 2002; SOUZA e GOMES, 2008; CARVALHO NETO, 2011; CECÍLIO et al., 2012; CASTRO et al., 2016).

Rossato et al. (2001) ao estudar o comportamento da CAD em todo o Brasil comenta que a variação do armazenamento de água no solo para todo o território está diretamente associada ao regime pluviométrico de cada região. Nesse contexto, o autor encontrou que a média climatológica do percentual de armazenamento de água no solo para a região Sul, por apresentar altos índices pluviométricos, é alta durante o ano todo.

Segundo SEMA (2006), os valores de CAD para áreas com cobertura florestal variam desde 125 (adimensional) para os Neossolos, até 400 para os Latossolos. Em contrapartida, os mesmos solos para áreas de agricultura apresentam valores significativamente inferiores, variando de 100 a 200.

De modo geral, no RS, os mais altos valores de CAD seguem a localização das áreas de silvicultura, em que uma maior concentração dos plantios é vista numa linha diagonal próxima à costa, indo das áreas serranas até o sul do estado. Além disso, estes maiores valores também estão presentes nos locais com floresta natural preservada, como algumas unidades de conservação que se concentram ao norte e sudeste do estado.

Isso ocorre porque a presença de árvores aumenta o aporte de matéria orgânica dos solos, conservando a umidade, aumentando a capacidade de absorção e infiltração de água, reduzindo o risco de erosão e estimulando a



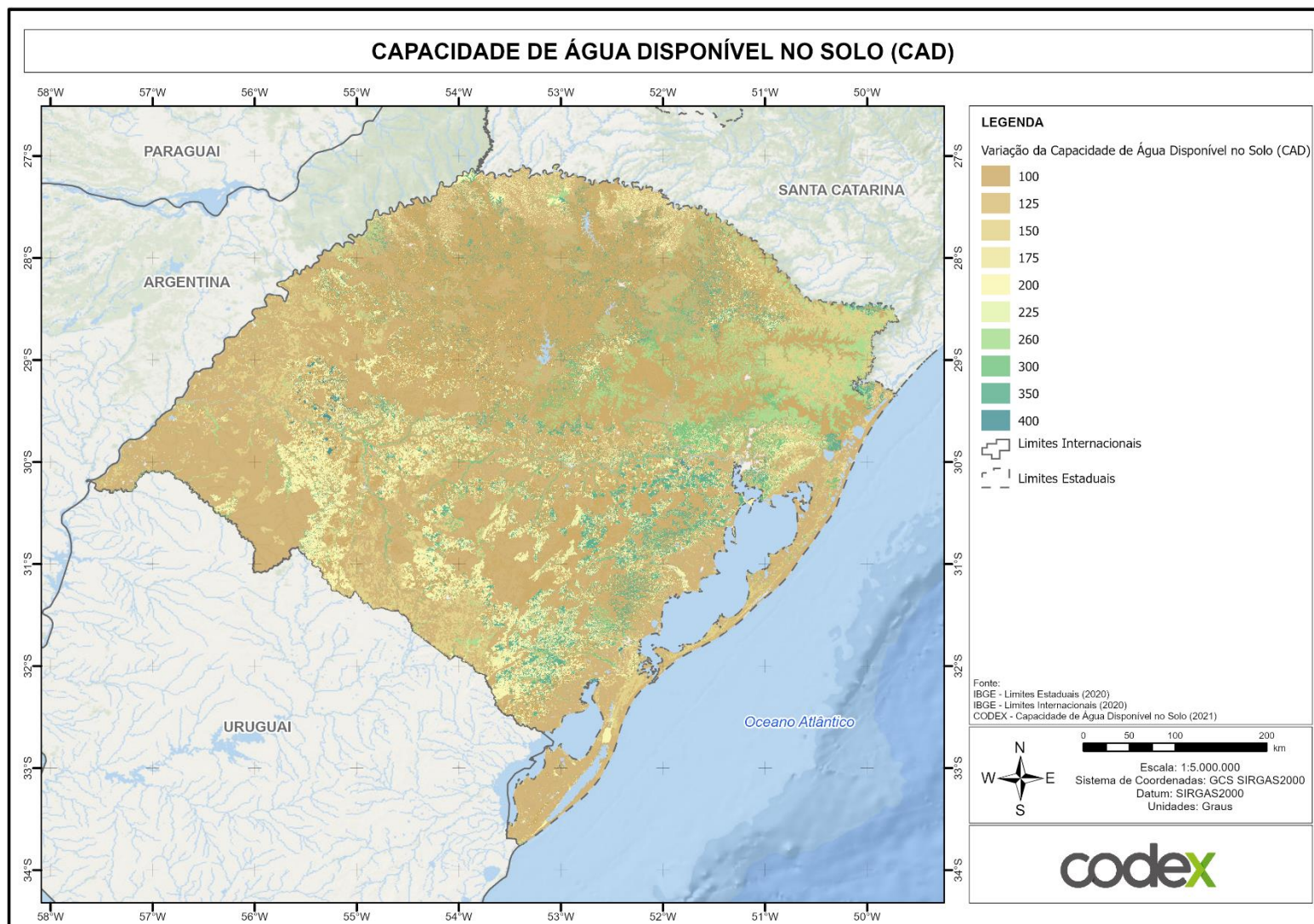
atividade biológica. Sob florestas, os solos apresentam significativa porosidade, especialmente macroporosidade. Estes macroporos são caminhos preferenciais que facilitam a infiltração e a recarga dos aquíferos (MENDONÇA et al. 2009).

Valores mais baixos de CAD apresentam-se principalmente na região do litoral em que a cobertura da terra é composta por areia e, também nos locais onde há afloramento rochoso. Valores intermediários são vistos nas regiões da Campanha (sudoeste), uma vez que o bioma Pampa tem valores de CAD variando entre floresta e agricultura.

O efeito no maior detalhamento dos valores de CAD impacta especialmente nos valores de excedente hídrico da vegetação campestre e da cobertura florestal. Este excedente, por sua vez, impacta na redução de vazão (Q_i) e será mais bem discutida na seção 3.3.



Figura 5. Variação espacial da Capacidade de Água Disponível no solo.





3.2. Dados Climatológicos

A análise da média mensal dos últimos 20 anos da precipitação do estado demonstra que há pouca variabilidade de chuvas durante todo o ano, porém há variabilidade espacial das mesmas (Figura 6). O estado todo tem alta precipitação, com poucos meses de estiagem, salvo regiões específicas principalmente na região oeste. As regiões norte e noroeste do estado concentram o maior volume de chuvas durante todo o ano, o que resulta também em maior excedente hídrico na região.

Em contraponto, na região oeste do estado as precipitações são menores, principalmente nos meses de maio a agosto. Estes resultados corroboram com dados de estudo realizado por Campo et al. (2016) na Argentina, segundo os autores, nos últimos anos, o território do bioma Pampa está sendo submetido a variabilidades meteorológicas que passam por longos períodos de seca até as mais severas inundações.

Quanto à evapotranspiração (Figura 7) a variabilidade anual é maior. Nos meses inverniais há uma natural diminuição na estimativa em função de uma diminuição da radiação solar incidente neste período. Essa variabilidade já era esperada e resulta em maiores excedentes hídricos nos meses de maio a setembro (BERLATO e FONTANA, 2003).



Figura 6. Variação espacial média mensal da precipitação do estado do Rio Grande do Sul.

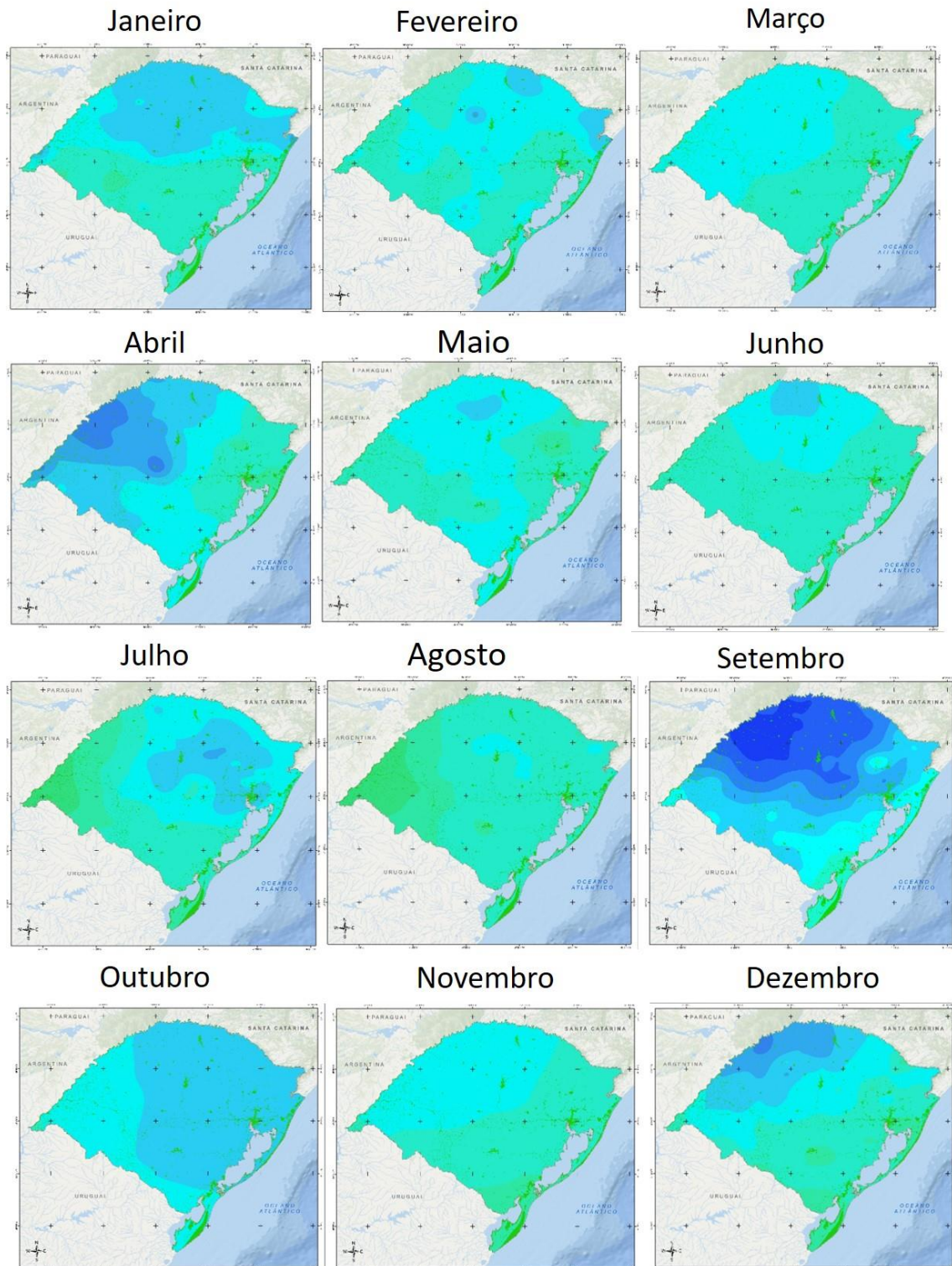
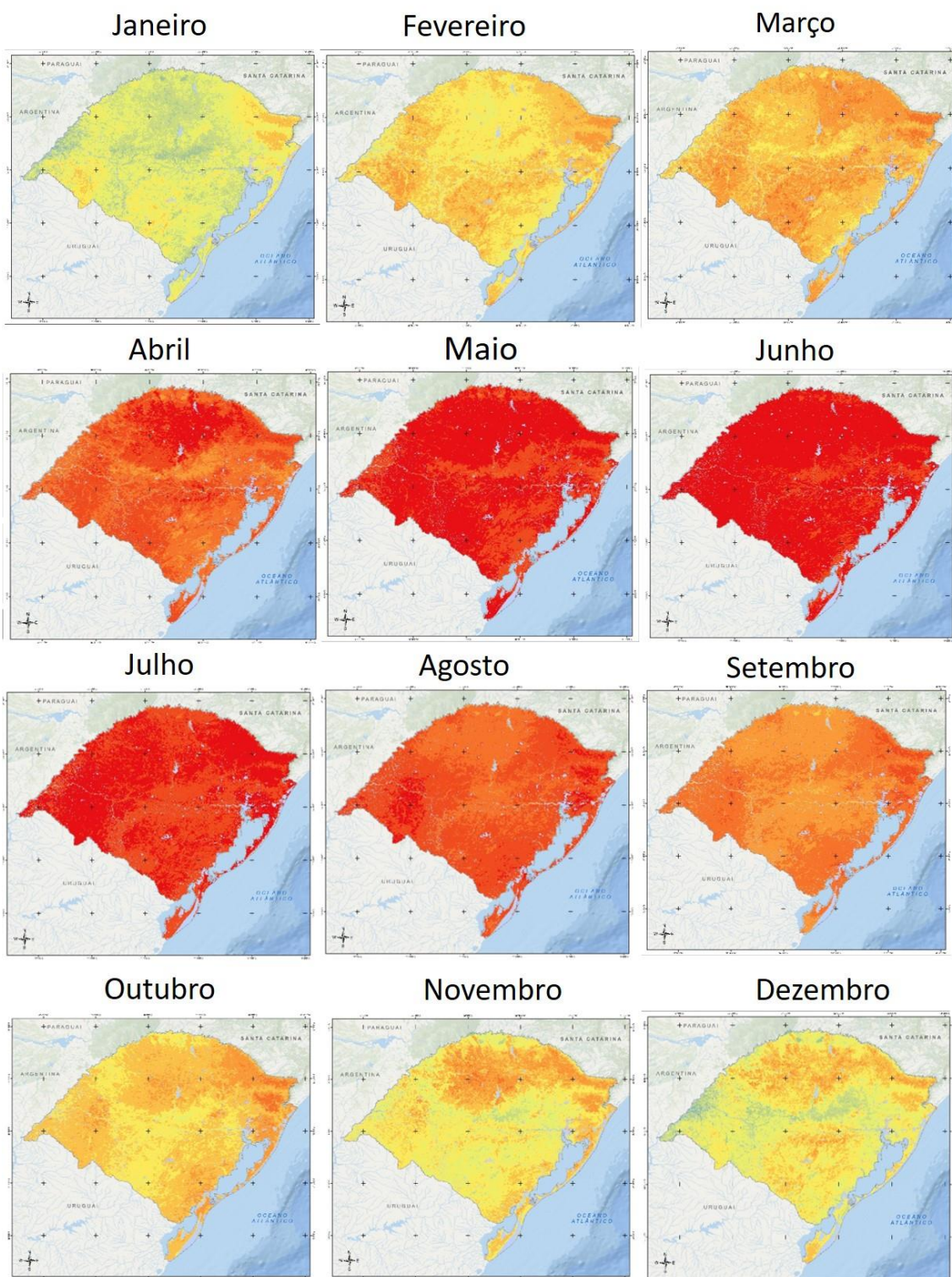




Figura 7. Variação espacial média mensal da evapotranspiração real do estado do Rio Grande do Sul.



Estes resultados são importantes para se conhecer a variabilidade espacial e temporal das chuvas. Uma vez que o planejamento agrícola é de fundamental importância no desenvolvimento socioeconômico, a constante



busca pela otimização do uso dos recursos hídricos se torna essencial. É necessário um modelo agrossilvipastoril que leve em consideração estratégias de armazenamento de água das chuvas para uso posterior e a melhor gestão dos recursos hídricos para que nos períodos mais críticos seja possível a manutenção da agricultura.

3.2.1. Excedente Hídrico

As mudanças climáticas são intensificadas, entre outros fatores, pelo manejo inadequado e insustentável dos recursos naturais (IPCC, 2013). Essa realidade aumenta a necessidade de estudos que predizem os impactos ambientais e que organizam o território para que seja possível a manutenção da produção agrossilvipastoril adequada (MADANI et al, 2017).

O sistema solo-planta-atmosfera é afetado pelas condições ambientais e climáticas de cada região. Assim, a variabilidade da precipitação e a capacidade de armazenamento de água (tanto de forma natural ou construída) são fatores determinantes para um bom planejamento territorial (DANTAS *et.al.*, 2007; ROCHA, 2016).

A condição de excedente e déficit hídrico no BHC constitui uma restrição ambiental economicamente importante para a produção agrícola, pois define o potencial produtivo da bacia hidrográfica quanto ao uso e distribuição dos recursos hídricos. Os resultados encontrados para as estimativas dos excedentes hídricos anuais, das vazões específicas, e das reduções das vazões pela substituição das áreas campestres por áreas com cobertura florestal (sendo estas nativas ou plantadas), são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Estimativa do excedente hídrico anual e da vazão específica para áreas com vegetação campestre e com vegetação florestal (nativa e silvicultura) no Rio Grande do Sul.

Código	Bacia Hidrográfica	EXCa	Qa	EXCs	Qb	Qi (Qa-Qb)
G10	Gravataí	723,36	0,23	725,60	0,23	-0,00071
G20	Sinos	784,93	0,25	771,50	0,24	0,00426
G30	Caí	807,53	0,26	801,70	0,25	0,00185
G40	Taquari-Antas	856,48	0,27	844,40	0,27	0,00383



G50	Alto Jacuí	912,78	0,29	944,40	0,30	-0,01003
G60	Vacacaí-Vacacaí Mirim	760,87	0,24	760,90	0,24	-0,00001
G70	Baixo Jacuí	760,19	0,24	742,10	0,24	0,00574
G80	Lago Guaíba	655,35	0,21	647,90	0,21	0,00236
G90	Pardo	806,31	0,26	800,70	0,25	0,00178
L10	Tramandaí	783,23	0,25	772,80	0,25	0,00331
L20	Litoral médio	751,30	0,24	748,60	0,24	0,00086
L30	Camaquã	711,26	0,23	706,40	0,22	0,00154
L40	Mirim-São Gonçalo	738,98	0,23	744,70	0,24	-0,00181
L50	Mampituba	864,17	0,27	843,90	0,27	0,00643
U10	Apuaê-Inhandava	930,66	0,30	929,10	0,29	0,00050
U20	Passo Fundo	965,29	0,31	965,10	0,31	0,00006
U30	Turvo Sta Rosa Sto Cristo	944,89	0,30	908,90	0,29	0,01141
U40	Piratinim	872,01	0,28	895,10	0,28	-0,00732
U50	Ibicuí	759,39	0,24	771,80	0,24	-0,00393
U60	Quaraí	690,03	0,22	660,60	0,21	0,00933
U70	Santa Maria	694,18	0,22	680,40	0,22	0,00437
U80	Negro	724,60	0,23	738,90	0,23	-0,00454
U90	Ijuí	948,82	0,30	991,90	0,31	-0,01366
U100	Várzea	926,35	0,29	913,00	0,29	0,00423
U110	Butí-Icamaquã	820,50	0,26	827,60	0,26	-0,00225

EXCa = Excedente hídrico para vegetação agrícola e campestre (mm anuais/ha)

Qa = Vazão específica em vegetação agrícola e campestre (l/s/ha)

EXCs = Excedente hídrico para áreas com cobertura florestal (mm anuais/ha)

Qb = Vazão específica para áreas com cobertura florestal (l/s/ha)

Qi = Redução da vazão específica (l/s/ha)

Os maiores excedentes hídricos anuais ocorrem na região centro norte do estado, na qual a precipitação anual é majorada pela interação das frentes frias com o relevo (Figura 8 e Figura 9). De modo geral, os resultados apontam ainda que há excedente hídrico anual em todas as regiões do estado e que é possível o aumento da produtividade agrícola em todas as regiões, desde que haja um planejamento para o armazenamento deste recurso e para o uso racional dos mesmos.

Quanto maior é a diferença existente entre o excedente hídrico da vegetação agrícola e campestre (Figura 9) e da cobertura florestal (Figura 10), maior será a redução de vazão (Qi) ao ser feita a substituição de uma pela outra. O BHC calculado neste estudo considerando CADs mais adequadas para cada local, além do cruzamento das saídas com as áreas de vegetação agrícola e campestre e cobertura florestal, permitiu demonstrar que as diferenças entre os excedentes hídricos destas duas classes são significativamente inferiores ao que



se adotava inicialmente. Outro fator importante se refere a classificação do uso e cobertura do solo com imagens de alta resolução, pois foi possível identificar o aumento das áreas florestadas tanto nativas (na região noroeste do estado) quanto de silvicultura.

Para exemplificar, pode ser citada a bacia hidrográfica do Negro. Nesta BH, o excedente resultante das áreas de campo e cobertura florestal é muito próximo, assim, a diferença é bastante inferior à que se imaginava. Isso ocorre porque o método anterior baseava-se somente em um valor pontual da estação meteorológica de Bagé para obter os excessos desta bacia, além de também considerar somente um valor de CAD de 100 para toda a área. No item 3.3 a seguir será discutida em detalhes a redução de vazão (Q_i).



Figura 8. Variação espacial do excedente hídrico anual da vegetação campestre e agrícola.

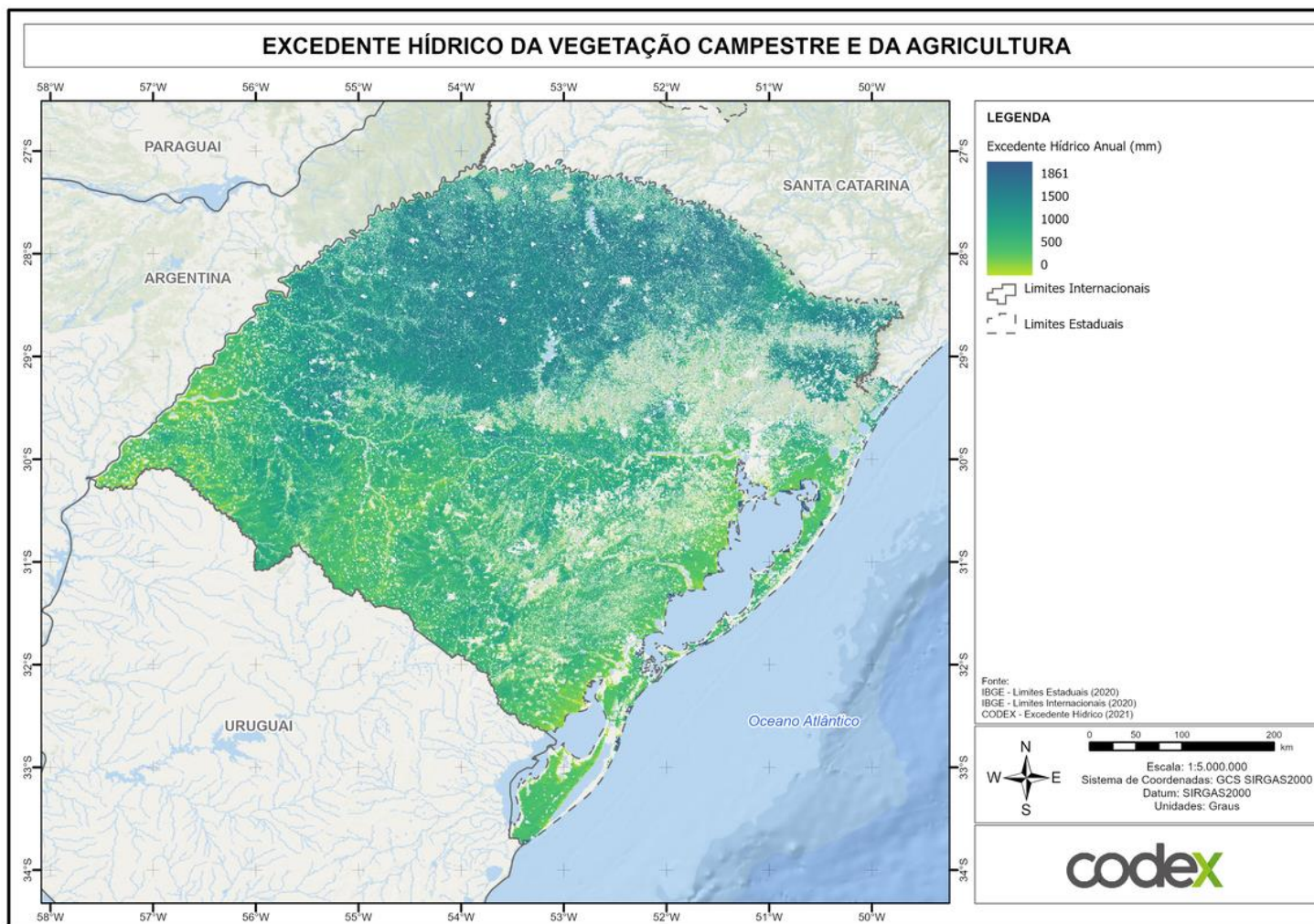
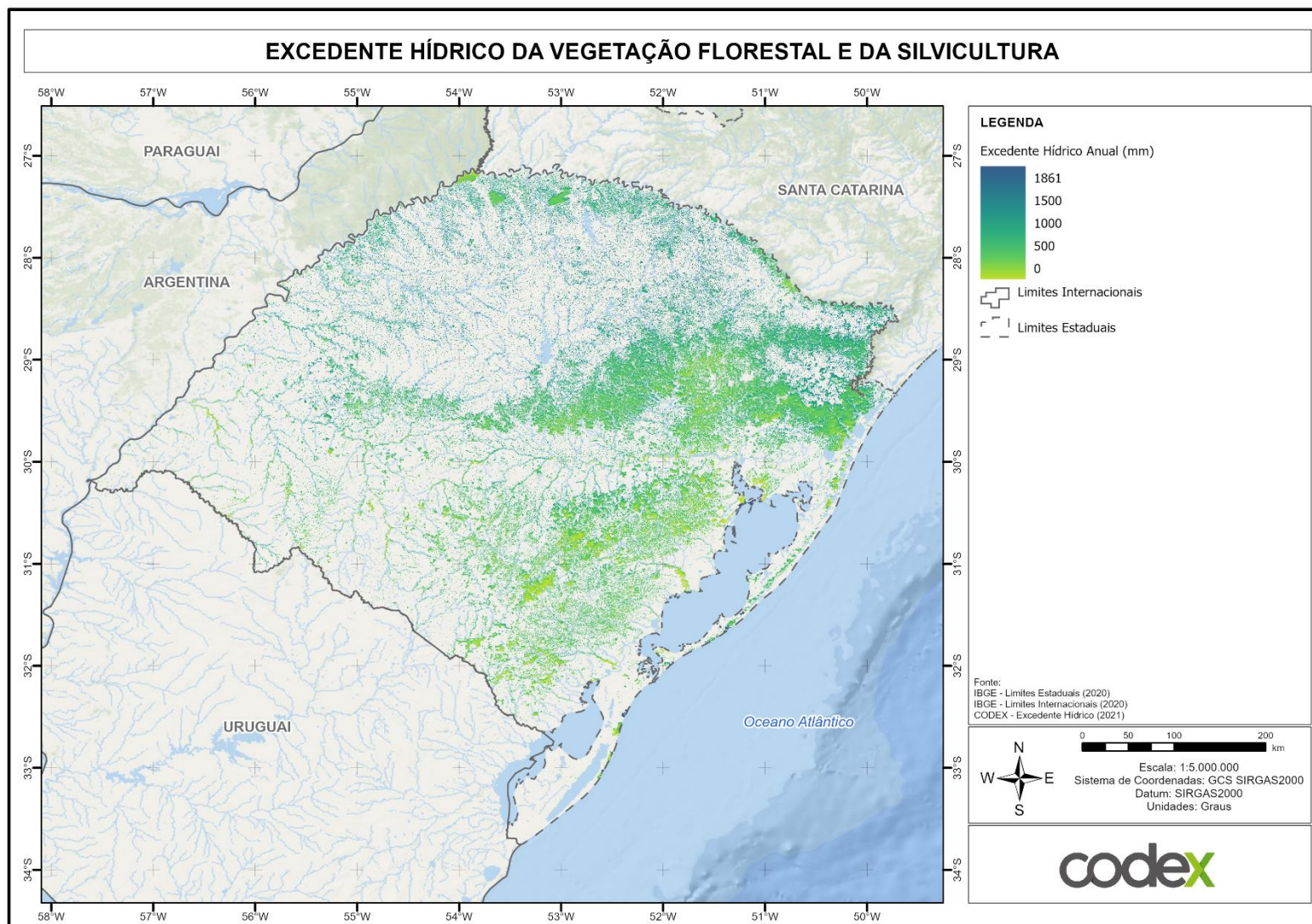




Figura 9. Variação espacial do excedente hídrico anual da vegetação florestal e da silvicultura.





3.3. Redução de Vazão

O conhecimento do consumo hídrico de uma cultura é fundamental para que seja garantida a segurança hídrica em áreas de expansão agrícola no contexto da bacia hidrográfica, onde se dá a mudança de uso do solo. Neste contexto, uma questão constantemente abordada é o uso de água pela silvicultura de florestas plantadas.

Um estudo comparando áreas ocupadas com eucalipto e o bioma natural em região de Mata Atlântica realizado por Almeida e Soares (2003), afirma que o regime hídrico sob plantações de eucalipto não difere significativamente do regime hídrico em áreas de Mata Atlântica, exceto em períodos de maior seca, quando o eucalipto utiliza mais reservas de água do solo em nível superficial, enquanto a Mata Atlântica utiliza reservatórios subterrâneos localizados em níveis mais profundos. Desta maneira, este estudo considerou como cobertura florestal as classes de uso da terra silvicultura e floresta nativa, como cobertura florestal, para o cálculo de redução de vazão (Q_i).

Madani et al., (2017) realizaram estudo comparando o consumo hídrico de pastagens (*grasslands*) e de florestas na região do Reino Unido (*Plynlimon*), e os resultados apresentaram maior escoamento e menor evapotranspiração em regiões de pastagens que em regiões florestais, o que gerou grande diferença no BHC realizado. Além disso, houve maior correlação de uso e cobertura da terra com as variáveis climatológicas que com a relação solo-planta (MADANI et al., 2017). Este estudo é importante porque indica que os plantios florestais podem significar um maior aproveitamento da água precipitada (diminuindo a vazão) do que em regiões de pastagem em que ela é escoada e “perdida” para o sistema hidrológico na bacia hidrográfica.

Em relação à disponibilidade hídrica em bacias hidrográficas, as vazões no período de estiagem dependem da fração de água que infiltra no solo e reabastece os aquíferos subterrâneos (BRANDÃO, 2009). Quando implantada em áreas degradadas, a cobertura florestal pode contribuir para o aumento do tempo de residência da água na bacia hidrográfica, aumentando a regularização



da vazão no curso d'água. Segundo Lima (1993), existem evidências científicas que demonstram que o escoamento superficial e a erosão diminuem após o estabelecimento de plantios de eucalipto em terrenos outrora degradados. O mesmo autor afirma também existir uma consistente melhoria na qualidade da água.

A redução da vazão específica (Q_i), neste estudo, representa o diferencial de vazão que ocorre na hipótese de se substituir 100% da agricultura existente e da vegetação campestre por vegetação florestal. Em outras palavras, considera-se aqui, qual seria a redução de vazão se todas as áreas de campo fossem substituídas por cobertura florestal, assumindo assim o princípio de precaução. Na Tabela 5 são apresentadas as Q_i s, bem como, as áreas das bacias hidrográficas do estado.

Tabela 5. Redução das vazões específicas (Q_i) por bacia hidrográfica e área (ha).

Código	Bacia Hidrográfica	Área da Bacia (ha)	Redução Q_i
G10	Gravataí	200.893,00	-0,00071
G20	Sinos	368.004,00	0,00426
G30	Caí	495.774,00	0,00185
G40	Taquari-Antas	2.632.376,00	0,00383
G50	Alto Jacuí	1.303.720,00	-0,01003
G60	Vacacaí-Vacacaí Mirim	1.108.577,00	-0,00001
G70	Baixo Jacuí	1.737.048,00	0,00574
G80	Lago Guaíba	254.991,00	0,00236
G90	Pardo	363.124,00	0,00178
L10	Tramandaí	274.573,00	0,00331
L20	Litoral médio	647.210,00	0,00086



Código	Bacia Hidrográfica	Área da Bacia (ha)	Redução Qi
L30	Camaquã	2.151.758,00	0,00154
L40	Mirim-São Gonçalo	2.566.683,00	-0,00181
L50	Mampituba	68.376,00	0,00643
U10	Apuaê-Inhandava	1.451.051,00	0,00050
U20	Passo Fundo	484.725,00	0,00006
U30	Turvo Sta Rosa Sto Cristo	1.082.402,00	0,01141
U40	Piratinim	764.726,00	-0,00732
U50	Ibicuí	3.504.138,00	-0,00393
U60	Quaraí	665.878,00	0,00933
U70	Santa Maria	1.566.592,00	0,00437
U80	Negro	300.525,00	-0,00454
U90	Ijuí	1.070.460,00	-0,01366
U100	Várzea	950.842,00	0,00423
U110	Butuí-Icamaquã	802.576,00	-0,00225

Na Tabela 6 são demonstradas as reduções de vazão (Q_i) do ZAS em vigor e deste estudo. É possível notar que os valores encontrados neste estudo são bastante inferiores aos apresentados anteriormente no ZAS. A presente atualização e aperfeiçoamento das variáveis de entrada indicam existir maior espaço para potenciais plantios florestais, em função da identificação de um consumo menor dos recursos hídricos do que se foi inicialmente adotado.



A metodologia utilizada no ZAS atual para o cálculo de Q_i era baseada nos pontos de 10 estações meteorológicas no estado. Se calculava o balanço hídrico pontual e se adotava que, por pertencer a uma mesma região agroecológica, a Q_i desta bacia deveria ser ponderada de acordo com os valores encontrados nos pontos de estações que estivessem dentro desta região. Nesta nova atualização foram consideradas 265 estações para a espacialização dos dados hidrológicos.

Um exemplo prático que pode ser citado é o da bacia dos Sinos. A Q_i desta BH era calculada ponderando-se pelas Q_i s encontradas nos pontos das estações existentes em Bom Jesus, Santa Maria e Torres. Considerando as distâncias existentes entre estas estações, adotar uma ponderação com base em apenas três valores resulta em uma estimativa simplificada.

Tabela 6. Comparação da redução das vazões específicas (Q_i) do ZAS de 2008 e deste estudo

Código	Bacia Hidrográfica	Redução de Vazão	
		ZAS 2009	ZAS 2021
G10	Gravataí	0,0767	-0,000710105
G20	Sinos	0,0997	0,004257241
G30	Caí	0,1313	0,001848021
G40	Taquari-Antas	0,1402	0,003829852
G50	Alto Jacuí	0,1165	-0,010027021
G60	Vacacaí-Vacacaí Mirim	0,0716	-0,000008888
G70	Baixo Jacuí	0,0841	0,005735319
G80	Lago Guaíba	0,0734	0,002362152
G90	Pardo	0,1334	0,00177828



Código	Bacia Hidrográfica	Redução de Vazão	
		ZAS 2009	ZAS 2021
L10	Tramandaí	0,0617	0,003306246
L20	Litoral médio	0,0529	0,000857258
L30	Camaquã	0,0704	0,001540842
L40	Mirim-São Gonçalo	0,0526	-0,001814129
L50	Mampituba	0,0723	0,006429105
U10	Apuaê-Inhandava	0,1297	0,000495437
U20	Passo Fundo	0,1049	0,0000617567
U30	Turvo Sta Rosa Sto Cristo	0,0875	0,011411707
U40	Piratinim	0,0898	-0,007321483
U50	Ibicuí	0,0759	-0,003934189
U60	Quaraí	0,0583	0,009330741
U70	Santa Maria	0,0617	0,004368726
U80	Negro	0,0583	-0,004535035
U90	Ijuí	0,1037	-0,013661513
U100	Várzea	0,1018	0,004232397
U110	Butuí-Icamaquã	0,0897	-0,002249826

Observa-se que as bacias em que ocorriam superestimativas de mais de 10% utilizando o método anterior são: Caí, Taquarí, Alto Jacuí, Pardo, Apauê-Inhandava, Passo Fundo, e Ijuí. Já as bacias em que ocorreram menos



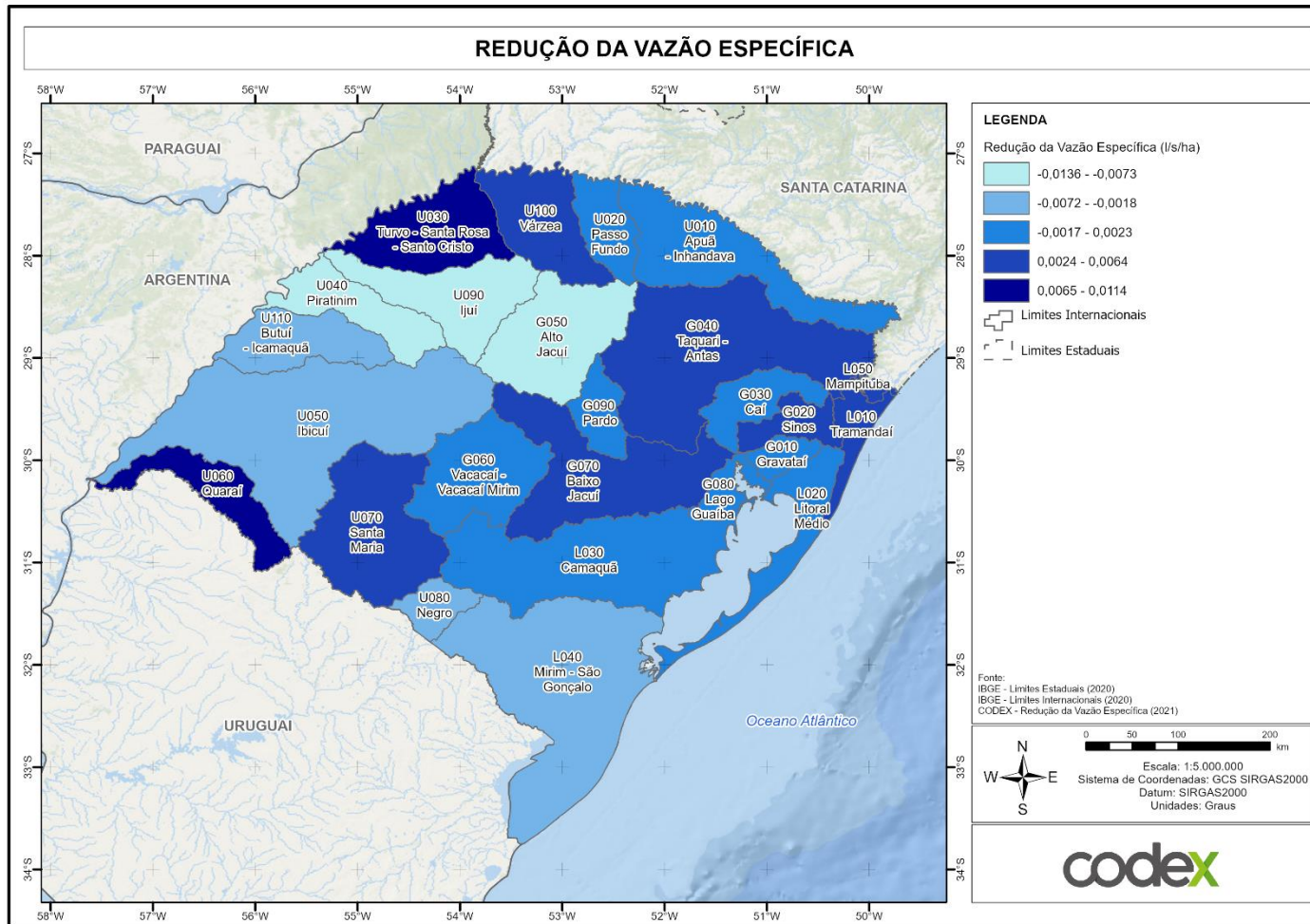
diferenças entre ambos os estudos foram: Tramandaí, Litoral Médio, Mirim-São Gonçalo, Quaraí, Negro e Santa Maria. Porém, ressalta-se que a superestimativa foi encontrada em todas as bacias hidrográficas do estado. A Figura 10 exibe a variação espacial da Q_i encontrada neste estudo.

De modo geral se identifica que os maiores valores de Q_i estão localizados nas bacias hidrográficas U30 (Turvo Sta Rosa Sto Cristo), U60 (Quaraí), L50 (Mampituba) e G70 (Baixo Jacuí). A média da Q_i específica, como um todo, era de 0,0879 l/s/ha, de acordo com a primeira metodologia aplicada no ZAS atual há 10 anos.

Com as atualizações das bases de dados promovidas neste trabalho foi encontrada uma redução de vazão específica média para o estado de 0,0007 l/s/ha. Este valor é inferior ao que foi encontrado e adotado no ZAS atual. Deste modo torna-se evidente que a extrapolação de impactos derivados da atividade de silvicultura de pequenos locais, ou mesmo de pontos isolados como foi feito anteriormente, é capaz de superestimar os impactos em grandes escalas.



Figura 10. Redução da vazão específica (Q_i).





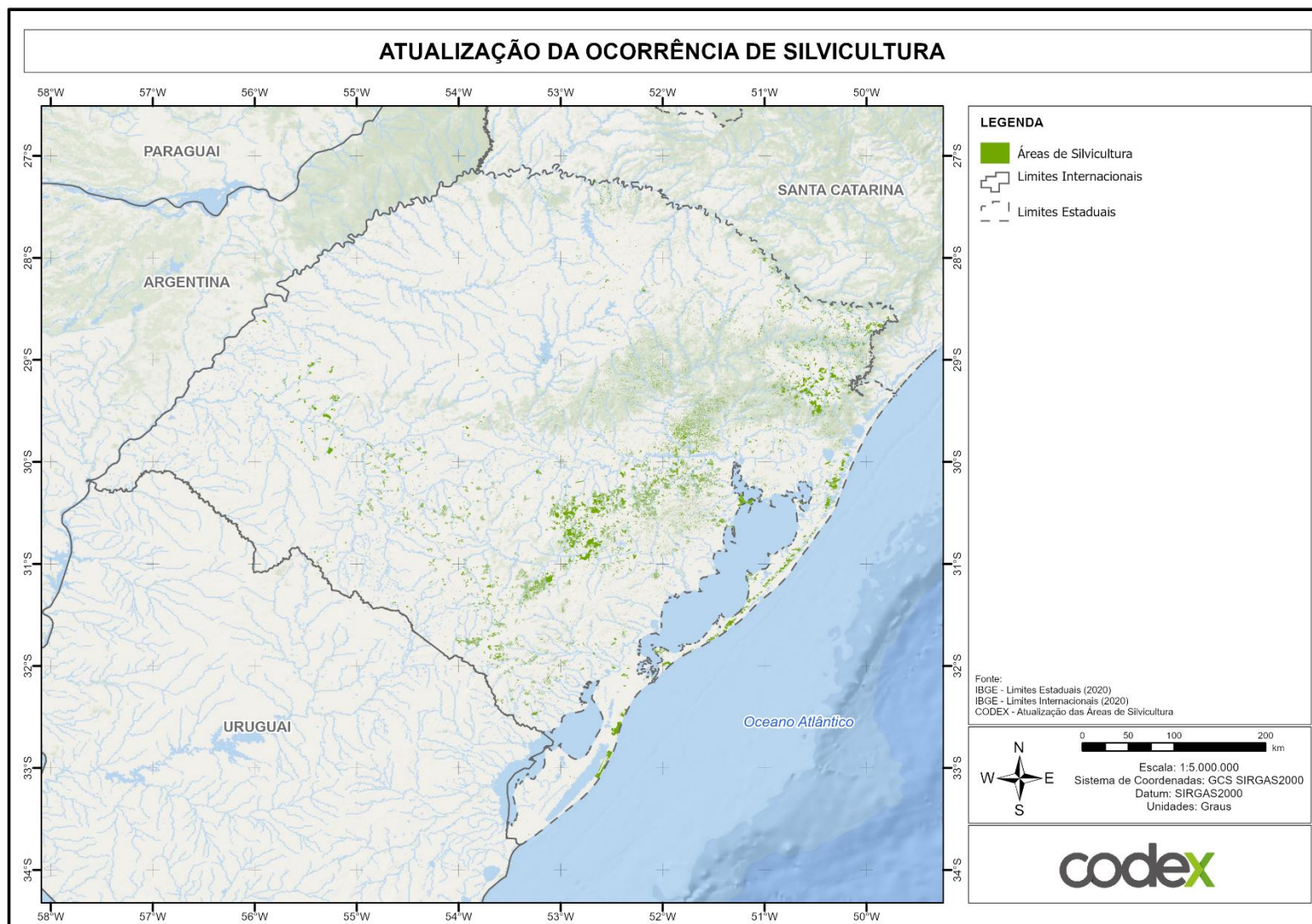
3.4. Ocupação Atual da Silvicultura no Estado

O estudo do ZAS em 2009 apresenta informações, em porcentagem, de plantios existentes nas bacias hidrográficas por unidade de paisagem natural (estes valores podem ser encontrados no documento original aprovado, Volume 1, na memória de cálculo dos limites de ocupação aprovados, na pág. 91). Porém, na época, não era comum que os plantios contassem com a disponibilização de arquivos vetoriais das áreas licenciadas. Além disso, as porcentagens que constam nas tabelas são muito baixas. É provável que o número de áreas de plantio que existem no documento seja bastante subestimado, mesmo para aquela época.

Conforme já detalhado no item 3.1, este trabalho compreendeu uma classificação das áreas de silvicultura do estado em escala 1:50.000, uma vez que foi baseada em imagens Worldview com resolução espacial de 2 m. Ao todo foi encontrada uma área total de 968.667 há para silvicultura. A Figura 112 exhibe todas as áreas de silvicultura identificadas e vetorizadas neste estudo.



Figura 11. Áreas de silvicultura do estado do Rio Grande do Sul atualizadas neste estudo.





3.5. Limite de Ocupação das Bacias Hidrográficas

Para calcular a área definitiva de plantio segundo o nível de comprometimento dos recursos hídricos, foi estabelecido no estudo anterior (ZAS 2008) que seriam considerados um conjunto de índices associados à relação Vazão Média Anual/Demanda Média Anual, denominado de “Limite de Ocupação”; e, um conjunto de índices associados à relação Vazão Média de Verão/Demanda Média de Verão, denominado de “Redutor de Ocupação”.

Desse modo, primeiramente foi construída uma tabela de nível de comprometimento das BHs do Rio Grande do Sul com os dados do Departamento de Recursos Hídricos (DRH) de Vazão Média Anual e Demanda Média Anual, e Vazão Média no Verão e Demanda Média no Verão (em que é considerado o mês de vazão mais crítica do ano).

Buscou-se atualizar e padronizar os resultados tanto quanto foi possível. Como as imagens de alta resolução utilizadas para atualizar as áreas de silvicultura eram, em sua maioria, pertencentes a 2017, os dados de Vazão Média Anual e Demanda Média Anual foram recalculados para o mesmo período a partir de dados de Outorgas correspondentes.

Já quanto aos dados de Vazão Média de Verão e Demanda Média de Verão (correspondentes ao redutor de ocupação), não havia dados disponíveis para o estado em períodos posteriores a 2007. Desse modo, no intuito de atualizar a base de dados optou-se por utilizar o relatório mais recente do DRH realizado, pertencente ao ano de 2013. No entanto, neste relatório constam apenas dados de Consumo por Vazão de Verão (Vazão Mínima – Q95).

Assim, em vez de utilizar a Demanda Média pela Vazão de Verão, optou-se pelo uso dos dados de Consumo Médio pela Vazão de Verão. Esta escolha foi feita considerando que o próprio DRH, que realiza os relatórios da situação dos recursos hídricos do Estado, entende que o Consumo Médio pela Vazão Mínima é mais condizente com a realidade do que a Demanda Média pela Vazão Mínima. Esse deve então ser adotado em busca de uma maior veracidade.



Assim como no ZAS de 2008, os recursos hídricos foram escolhidos como parâmetro inicial para estabelecimento dos limites de ocupação. Isso foi definido em função da correlação destes recursos com alterações no uso do solo e da disponibilidade de: informações climáticas e meteorológicas; informações sobre disponibilidade de água, demanda e consumo (DRH); abundância de trabalhos científicos publicados em referência ao tema; e, possibilidade de monitoramento que esta opção oferece ao Estado, que já dispõe de ferramental em operação para este fim.

Os resultados encontrados de Vazão Média Anual (m^3/s) neste estudo foram multiplicados pela área de cada bacia hidrográfica, assim como feito no estudo de 2008, e podem ser vistos na Tabela 7, em que também é possível comparar os resultados de ambas as datas (2008 e 2018). Os resultados de Vazão Média Anual atualizados foram, em sua maioria, levemente superiores, evidenciando novamente a maior disponibilidade de água do que inicialmente se imaginava.

As bacias hidrográficas que se destacaram com um maior aumento na vazão média foram: Mirim São Gonçalo (com aumento de $42,45 m^3/s$); Taquari - Antas (com aumento de $3,28 m^3/s$) e Butuí – Icamaquã (com aumento de $2,58 m^3/s$). Entre as poucas regiões que diminuíram a vazão média no período, estão: Baixo Jacuí (com diminuição de $14,27 m^3/s$) e Ibicuí (com diminuição de $7,97 m^3/s$).

Tabela 7. Nível de comprometimento das bacias hidrográficas do estado do Rio Grande do Sul. Comparativos entre dados de Vazão Média Anual de 2008 (ZAS) e situação próxima à atual (2018).¹

Código	Bacia Hidrográfica	Área total (ha)	Vazão Média Anual (m^3/s) 2008	Vazão Média Anual (m^3/s) atual	% Consumo Médio Anual/ Dispon. Méd. Anual*	% Consumo Médio Anual/ Dispon. Mín. Anual*
G010	Gravataí	200.893,00	29,26	29,71	5,4	43,3

¹ As duas últimas colunas se referem aos dados de Consumo Médio Anual por Disponibilidade Média e Mínima (Verão) do relatório do DRH de 2013.



Código	Bacia Hidrográfica	Área total (ha)	Vazão Média Anual (m ³ /s) 2008	Vazão Média Anual (m ³ /s) atual	% Consumo Médio Anual/ Dispon. Méd. Anual*	% Consumo Médio Anual/ Dispon. Mín. Anual*
G020	Sinos	368.004,00	87,91	87,81	3,2	37,3
G030	Caí	495.774,00	99,52	100,03	1,6	23,9
G040	Taquari - Antas	2.632.376,00	606,06	609,34	0,7	9,7
G050	Alto Jacuí	1.303.720,00	316,39	317,27	0,6	7,4
G060	Vacacaí - Vacacaí Mirim	1.108.577,00	190,28	192,11	3,2	95,4
G070	Baixo Jacuí	1.737.048,00	406,23	391,96	0,9	10,0
G080	Lago Guaíba	254.991,00	42,51	42,23	0,3	3,2
G090	Pardo	363.124,00	110,19	110,88	1,6	32,0
L010	Tramandaí	274.573,00	35,08	39,08	2,6	5,3
L020	Litoral Médio	647.210,00	82,5	84,09	7,0	14,4
L030	Camaquã	2.151.758,00	483,1	485,57	1,6	29,9
L040	Mirim - São Gonçalo	2.566.683,00	395,91	438,36	4,6	78,6
L050	Mampituba	68.376,00	8,74	8,58	13,0	26,9
U010	Apuaê - Inhandava	1.451.051,00	385,83	385,43	0,2	2,9
U020	Passo Fundo	484.725,00	130,25	131,18	0,3	2,7
U030	Turvo - Santa Rosa - Santo Cristo	1.082.402,00	288,3	288,30	0,5	4,8
U040	Piratinim	764.726,00	182,34	182,93	0,8	9,3
U050	Ibicuí	3.504.138,00	744,99	737,02	2,3	49,1
U060	Quaraí	665.878,00	238,19	240,89	1,3	29,9
U070	Santa Maria	1.566.592,00	315,45	317,73	1,5	28,1
U080	Negro	300.525,00	51,42	50,94	1,3	43,3
U090	Ijuí	1.070.460,00	273,94	275,97	0,6	4,2
U100	Várzea	950.842,00	276,51	275,03	0,3	2,7
U110	Butuí - Icamaquã	802.576,00	198,01	200,59	9,3	111,1



*Dados de consumo referentes ao ano de 2013, oriundos do Relatório de Diagnóstico do Plano Estadual de Recursos Hídricos (Relatório Síntese da fase C) disponível através do endereço eletrônico <<http://www.sema.rs.gov.br/plano-estadual-de-recursos-hidricos>>

Na Tabela 8 são indicados os dados de demanda de forma comparativa entre o ZAS em vigor (dados de 2008) e este estudo (dados de 2018). A Demanda Média Anual (m³/s) é utilizada neste estudo no primeiro redutor de ocupação e foi recalculada para o ano de 2018 por meio de dados de Outorgas do mesmo ano.

Tabela 8. Nível de comprometimento das bacias hidrográficas do estado do Rio Grande do Sul. Comparativos entre dados de Demanda Média Anual de 2008 (ZAS) e 2018 (situação atual).

Código	Bacia Hidrográfica	Área total (ha)	Demanda/ Vazão Média Anual (%) (2008*)	Demanda Média Anual (2008*)	Demanda/ Vazão Média Anual (%) (2018)	Demanda Média Anual (2018)
G010	Gravataí	200.893,00	36,6	10,70	63,48	18,86
G020	Sinos	368.004,00	11,4	10,01	13,97	12,27
G030	Caí	495.774,00	4,3	4,29	6,70	6,70
G040	Taquari - Antas	2.632.376,00	1,8	10,66	2,25	13,69
G050	Alto Jacuí	1.303.720,00	0,9	2,73	5,35	16,99
G060	Vacacaí - Vacacaí Mirim	1.108.577,00	16,3	31,00	22,37	42,98
G070	Baixo Jacuí	1.737.048,00	11,0	44,49	35,37	138,65
G080	Lago Guaíba	254.991,00	43,1	18,31	65,43	27,63
G090	Pardo	363.124,00	4,2	4,59	7,72	8,56
L010	Tramandaí	274.573,00	10,8	1,78	31,53	12,32
L020	Litoral Médio	647.210,00	46,7	0,85	126,05	105,99
L030	Camaquã	2.151.758,00	7,7	2,35	19,42	94,28
L040	Mirim - São Gonçalo	2.566.683,00	19,5	4,82	35,21	154,36
L050	Mampituba	68.376,00	23,3	85,56	16,20	1,39



Código	Bacia Hidrográfica	Área total (ha)	Demanda/Vazão Média Anual (%) (2008*)	Demanda Média Anual (2008*)	Demanda/Vazão Média Anual Atual (%) (2018)	Demanda Média Anual Atual (2018)
U010	Apuaê - Inhandava	1.451.051,00	0,5	18,24	0,18	0,70
U020	Passo Fundo	484.725,00	0,7	35,71	1,40	1,84
U030	Turvo - Santa Rosa - Santo Cristo	1.082.402,00	0,8	5,22	2,89	8,34
U040	Piratinim	764.726,00	2,6	2,58	6,60	12,08
U050	Ibicuí	3.504.138,00	11,5	1,53	38,08	280,69
U060	Quaraí	665.878,00	7,7	45,16	22,85	55,05
U070	Santa Maria	1.566.592,00	11,3	3,78	30,06	95,50
U080	Negro	300.525,00	10,2	38,52	28,92	14,73
U090	Ijuí	1.070.460,00	0,9	37,05	4,70	12,97
U100	Várzea	950.842,00	0,6	77,17	1,54	4,24
U110	Butuí - Icamaguã	802.576,00	22,8	2,04	34,73	69,67

*Dados oriundos do Relatório anual sobre situação dos recursos hídricos no Estado do Rio Grande do Sul de 2007/08.

3.6. Índices Redutores do Limite de Ocupação

Para o cálculo da área de plantio potencial para a silvicultura do RS são utilizados redutores de ocupação conforme o nível de comprometimento da vazão anual e de verão (Quadro 1a). Segundo o ZAS 2008, Volume 1, pág. 88, os Limites de Ocupação foram definidos considerando uma ocupação máxima de 30%, valor intermediário aos apresentados na proposta encaminhada pela Fundação Zoobotânica à CTBio do CONSEMA. No entanto, conforme a Tabela 13, pág. 89 do ZAS 2008, sobre este “Limite de Ocupação” foi aplicado o “Redutor de Ocupação”, o que na prática definiu uma ocupação máxima de 18% e não de 30% em qualquer situação de nível de comprometimento de vazão nas BHs.



É importante ressaltar que estes redutores apresentavam uma premissa fortemente conservativa, visto que partiam de um limite máximo de 18%. Desse modo, decidiu-se por manter o valor de ocupação máxima de 30% e nos demais índices realizar um aumento de 4% sucessivamente até atingir um potencial mínimo de 10%. De mesmo modo, o redutor de ocupação foi modificado para iniciar de 35% em vez de 40%.

Porém, para as Bacias Hidrográficas consideradas mais críticas em relação a disponibilidade hídrica, segundo o relatório do DRH 2022, sendo elas Gravataí, Sinos, Caí e Santa Maria; para estas foram mantidos os índices mais conservativos estipulados pelo ZAS 2008 (Quadro 1b).

Quadro 1a. Índices utilizados para estabelecer o limite de ocupação pela silvicultura das bacias hidrográficas em geral.

Nível de Comprometimento Vazão Anual (DRH)	Limite Ocupação	Nível de Comprometimento Vazão Verão (DRH)	Redutor Ocupação
10%	30%	25%	35%
20%	28%	50%	40%
30%	22%	75%	45%
40%	16%	100%	50%
100%	10%	400%	55%

Quadro 1b. Índices utilizados para estabelecer o limite de ocupação pela silvicultura das bacias hidrográficas mais críticas.

Nível de Comprometimento Vazão Anual (DRH)	Limite Ocupação	Nível de Comprometimento Vazão Verão (DRH)	Redutor Ocupação
10%	30%	25%	40%
20%	24%	50%	45%
30%	18%	75%	50%
40%	12%	100%	50%
100%	6%	400%	55%

Salienta-se também que o foco do presente trabalho é promover atualização do ZAS mediante a realidade atual do Rio Grande do Sul, atentando-se ao máximo à metodologia inicialmente adotada, não sugerir aprovação de novas diretrizes. Mesmo com a pequena modificação dos redutores de ocupação tem-se como resultado uma métrica de ocupação máxima conservadora, haja vista que todos os cálculos apresentados neste estudo nas seções anteriores baseiam-se na estimativa de substituição de 100% de áreas de vegetação



campestre por plantios florestais, o que não acontecerá em função da limitação de ocupação máxima em 30%.

Frisa-se que, ainda que conforme o ZAS de 2008, em termos de comprometimento no verão, 50% das bacias hidrográficas do estado tem um nível de demanda elevado, no entanto nos dados fornecidos pelo relatório do DRH não se contabilizam o armazenamento de água de reservatórios que, na realidade, permite que se mantenham as atividades da sociedade mesmo com níveis de comprometimento extremamente elevados como os estimados para as bacias hidrográficas G10, G60, G70 e U110.

Assim como mencionado no documento do ZAS original, Volume 1, pág. 88, não foi adotado nenhum critério que impedisse totalmente o plantio de essências florestais, pois se entende que já existe uma demanda de madeira pela sociedade, sendo preciso produzi-la em todas as regiões do estado.

Impedir ou proibir totalmente a produção irá aumentar o custo dos consumidores locais devido à necessidade de transporte da madeira oriunda de regiões mais distantes, aumentando então a pressão sobre os remanescentes de florestas nativas. De modo prático, o cálculo do limite de ocupação, considerando os redutores do Quadro 1a, é realizado da seguinte forma:

$$\text{Área para silvicultura} = \text{Área da BH versus UPN} \times \text{Limite de Ocupação} \\ (\text{de acordo com \% Demanda/Vaz Média Anual DRH}) \times (1 - \text{Redutor de} \\ \text{Ocupação}) (\text{de acordo com \% Consumo Médio Anual/Disponibilidade Média} \\ \text{Anual Q95 DRH}).$$

Para exemplificar o método de cálculo, é apresentado a seguir o cálculo do limite de ocupação para a BH do Alto Jacuí e UPN (G050PM13). Esta BH versus UPN possui uma área total de $A = 125.326$ ha. A Demanda/Vaz Média Anual (%) da BH G050, de acordo com os dados de outorga e Vazão Média de 2017, é de 5,35%, ou seja, este é o comprometimento hídrico desta Bacia específica (no ZAS anterior era de 0,9%).

Deste modo, interpolando-se por meio dos valores do Quadro 1, esta BHxUPN deve ter uma redução de 30% do seu limite de ocupação. Como o



Consumo Médio Anual/Disponibilidade Mínima (Q95), o comprometimento no verão é de 7,4%, novamente interpolando-se pelos valores do Quadro 1, seu redutor de ocupação será de 35%.

$$\text{Ocupação adicional possível} = 0,3 \times (1-0,35) = 19,5\%$$

Considerando que já existem 0,49% de silvicultura nesta BHxUPN, a ocupação máxima proposta seria de 19,99%. Por fim, a área potencial para a silvicultura é dada por:

$$\text{Área para silvicultura (G050PM13)} = 125.326 \times 19,99\% = \mathbf{25.047 \text{ ha}}$$

Como já existem 608 ha nesta BHCXUPN, ainda há um potencial de plantio de 24.439 ha. Por fim, seguindo o mesmo raciocínio para as demais regiões, na Tabela 9 a seguir, estão demonstrados os resultados para todas as BHs e UPNs do estado.



Tabela 9. Limite de ocupação final, considerando índices redutores

Código	Nome	UPN	BHxUPN (ha)	Ocupação até 2021 (%)	Ocupação adicional proposta (%)	Ocupação Máxima (%)	Área Potencial Total para a Silvicultura (ha)	Ocupação até 2021 (ha)	Área potencial para novos plantios (ha)
G050	Alto Jacuí	PM13	125.326	0,49%	19,50%	19,99%	25.047	608	24.439
G050	Alto Jacuí	PM14	162.895	1,77%	19,50%	21,27%	34.645	2.880	31.765
G050	Alto Jacuí	PM6	408.127	0,81%	19,50%	20,31%	82.904	3.319	79.585
G050	Alto Jacuí	PM9	610.584	0,46%	19,50%	19,96%	121.893	2.829	119.064
							264.488	9.637	254.852
U010	Apuae-Inhandava	PM10	216.424	10,68%	19,50%	30,18%	65.314	23.111	42.203
U010	Apuae-Inhandava	PM3	372.052	2,99%	19,50%	22,49%	83.667	11.117	72.550
U010	Apuae-Inhandava	PM5	556.267	2,54%	19,50%	22,04%	122.581	14.109	108.472
U010	Apuae-Inhandava	PM6	209.941	1,14%	19,50%	20,64%	43.331	2.393	40.938
U010	Apuae-Inhandava	PM8	74.009	5,30%	19,50%	24,80%	18.354	3.923	14.432
U010	Apuae-Inhandava	PM9	23.613	0,22%	19,50%	19,72%	4.656	52	4.605
							337.904	54.705	283.200
G070	Baixo Jacuí	DP1	178.726	2,06%	12,40%	14,46%	25.843	3.681	22.162
G070	Baixo Jacuí	DP4	54.275	18,91%	12,40%	31,31%	16.991	10.261	6.730
G070	Baixo Jacuí	DP5	873.750	9,22%	12,40%	21,62%	188.887	80.542	108.345
G070	Baixo Jacuí	PL4	25.564	2,51%	12,40%	14,91%	3.812	642	3.170
G070	Baixo Jacuí	PM14	164.823	2,62%	12,40%	15,02%	24.753	4.315	20.438
G070	Baixo Jacuí	PM9	35.192	0,20%	12,40%	12,60%	4.433	69	4.364
G070	Baixo Jacuí	PS2	161	18,98%	12,40%	31,38%	51	31	20
G070	Baixo Jacuí	PS3	387.886	21,15%	12,40%	33,55%	130.117	82.020	48.098
G070	Baixo Jacuí	PS4	21.160	14,96%	12,40%	27,36%	5.790	3.166	2.624
							400.678	184.727	215.951
U110	Butui-icamaqua	PC1	640.827	0,33%	9,50%	9,83%	63.012	2.133	60.879



U110	Butui-icamaqua	PC2	117.195	0,27%	9,50%	9,77%	11.450	316	11.134
U110	Butui-icamaqua	PC3	11.593	0,10%	9,50%	9,60%	1.113	12	1.101
U110	Butui-icamaqua	PM9	38.121	0,20%	9,50%	9,70%	3.699	77	3.621
							79.273	2.538	76.735
G030	Caí	DP1	21.773	8,18%	18,00%	26,18%	5.699	1.780	3.919
G030	Caí	DP3	19	0,00%	18,00%	18,00%	3	0	3
G030	Caí	DP4	72.908	12,22%	18,00%	30,22%	22.032	8.908	13.123
G030	Caí	PL4	1.721	0,43%	18,00%	18,43%	317	7	310
G030	Caí	PM12	100.180	21,61%	18,00%	39,61%	39.684	21.652	18.032
G030	Caí	PM14	146.466	12,86%	18,00%	30,86%	45.206	18.842	26.364
G030	Caí	PM16	6.461	10,38%	18,00%	28,38%	1.834	671	1.163
G030	Caí	PM6	147.156	6,62%	18,00%	24,62%	36.234	9.745	26.448
							151.009	61.606	89.403
L030	Camaqua	DP5	2235	0,00%	18,00%	18,00%	402	0	402
L030	Camaqua	PL4	305.991	2,08%	18,00%	20,08%	61.456	6.377	55.078
L030	Camaqua	PL5	7.628	30,05%	18,00%	48,05%	3.665	2.292	1.373
L030	Camaqua	PS2	316.842	4,78%	18,00%	22,78%	72.162	15.130	57.032
L030	Camaqua	PS3	746.984	9,86%	18,00%	27,86%	208.115	73.658	134.457
L030	Camaqua	PS4	477.685	6,45%	18,00%	24,45%	116.780	30.797	85.983
L030	Camaqua	PS5	259.490	10,90%	18,00%	28,90%	74.997	28.289	46.708
L030	Camaqua	PS6	40.165	5,02%	18,00%	23,02%	9.248	2.018	7.230
							546.825	158.562	388.263
G010	Gravataí	DP3	54.801	3,02%	5,46%	8,49%	4.650,32	1.655,57	2994,76
G010	Gravataí	DP4	41.968	1,92%	5,46%	7,38%	3.097	804	2.293
G010	Gravataí	PL3	61.646	0,06%	5,46%	5,53%	4.407	38	3.369
G010	Gravataí	PL4	14	0,00%	5,46%	5,46%	0,77	0	0,77



G010	Gravatá	PL5	21.664	2,31%	5,46%	7,77%	1.683	500	1.184
G010	Gravatá	PM16	1.883	0,24%	5,46%	5,70%	107	4	103
G010	Gravatá	PS1	19.307	2,03%	5,46%	7,5%	1.448	393	1.055
							14.394	3.394	11.000
U050	Ibicuí	DP2	397.130	1,76%	10,40%	12,16%	48.307	7.006	41.302
U050	Ibicuí	DP5	5.841	13,60%	10,40%	24,00%	1.402	795	607
U050	Ibicuí	DP6	46.354	0,01%	10,40%	10,41%	4.825	4	4.821
U050	Ibicuí	PC1	81.902	0,37%	10,40%	10,77%	8.822	304	8.518
U050	Ibicuí	PC2	538.331	0,38%	10,40%	10,78%	58.039	2.052	55.986
U050	Ibicuí	PC3	551.803	3,99%	10,40%	14,39%	79.383	21.996	57.388
U050	Ibicuí	PC4	723.775	0,16%	10,40%	10,56%	76.459	1.187	75.273
U050	Ibicuí	PC5	396.468	0,35%	10,40%	10,75%	42.633	1.400	41.233
U050	Ibicuí	PC6	18.842	0,18%	10,40%	10,58%	1.993	33	1.960
U050	Ibicuí	PM14	252.571	0,30%	10,40%	10,70%	27.017	750	26.267
U050	Ibicuí	PM9	514.203	0,39%	10,40%	10,79%	55.502	2.025	53.477
							404.383	37.552	366.831
U090	Ijuí	PC1	44.301	0,17%	19,50%	19,67%	8.713	74	8.639
U090	Ijuí	PM2	446.126	0,36%	19,50%	19,86%	88.618	1.623	86.995
U090	Ijuí	PM7	141.650	0,18%	19,50%	19,68%	27.879	257	27.622
U090	Ijuí	PM9	442.047	0,20%	19,50%	19,70%	87.100	901	86.199
							212.310	2.856	209.454
G080	Lago Guaíba	DP4	3.550	5,56%	8,80%	14,36%	510	197	312
G080	Lago Guaíba	DP5	34.347	14,55%	8,80%	23,35%	8.020	4.997	3.023
G080	Lago Guaíba	PL3	6	0,00%	8,80%	8,80%	0,53	0,00	0,53
G080	Lago Guaíba	PL4	90.051	4,55%	8,80%	13,35%	12.021	4.097	7.924
G080	Lago Guaíba	PL5	14.055	26,91%	8,80%	35,71%	5.019	3.782	1.237



G080	Lago Guaíba	PS1	26.558	3,59%	8,80%	12,39%	3.292	954	2.337
G080	Lago Guaíba	PS3	2.575	12,58%	8,80%	21,38%	551	324	227
G080	Lago Guaíba	PS4	75.324	12,63%	8,80%	21,43%	16.141	9.512	6.629
							45.553	23.864	21.689
L020	Litoral Médio	PL2	140.033	8,07%	6,50%	14,57%	20.397	11.295	9.102
L020	Litoral Médio	PL3	478.269	7,65%	6,50%	14,15%	67.663	36.576	31.087
L020	Litoral Médio	PL5	24.824	3,02%	6,50%	9,52%	2.364	751	1.614
L020	Litoral Médio	PM16	4.474	2,97%	6,50%	9,47%	424	133	291
L020	Litoral Médio	PS1	663	6,53%	6,50%	13,03%	86	43	43
							90.935	48.798	42.137
L050	Mampituba	PL1	25.939	0,99%	18,60%	19,59%	5.083	258	4.825
L050	Mampituba	PL2	2478	0,00%	18,60%	18,60%	461	0	461
L050	Mampituba	PM10	2995	0,00%	18,60%	18,60%	557	0	557
L050	Mampituba	PM11	4.306	0,04%	18,60%	18,64%	803	2	801
L050	Mampituba	PM12	3.707	3,97%	18,60%	22,57%	837	147	690
L050	Mampituba	PM15	29.088	2,04%	18,60%	20,64%	6.004	593	5.410
							13.744	1.000	12.743
L040	Mirim-São Gonçalo	DP7	44.822	0,62%	10,30%	10,92%	4.894	277	4.617
L040	Mirim-São Gonçalo	DP8	206.936	5,64%	10,30%	15,94%	32.996	11.681	21.314
L040	Mirim-São Gonçalo	PL2	119.902	13,24%	10,30%	23,54%	28.231	15.881	12.350
L040	Mirim-São Gonçalo	PL4	317.828	1,59%	10,30%	11,89%	37.799	5.063	32.736
L040	Mirim-São Gonçalo	PL6	95.655	0,06%	10,30%	10,36%	9.909	57	9.852
L040	Mirim-São Gonçalo	PL7	504.758	0,60%	10,30%	10,90%	55.024	3.034	51.990
L040	Mirim-São Gonçalo	PL8	56.470	1,69%	10,30%	11,99%	6.768	952	5.816
L040	Mirim-São Gonçalo	PS2	59.004	10,33%	10,30%	20,63%	12.174	6.096	6.077
L040	Mirim-São Gonçalo	PS4	108.174	2,32%	10,30%	12,62%	13.655	2.513	11.142



L040	Mirim-São Gonçalo	PS5	530.621	3,68%	10,30%	13,98%	74.199	19.545	54.654
L040	Mirim-São Gonçalo	PS6	101.678	9,65%	10,30%	19,95%	20.286	9.813	10.473
L040	Mirim-São Gonçalo	PS7	340.283	4,14%	10,30%	14,44%	49.148	14.099	35.049
							345.082	89.011	256.071
U080	Negro	DP7	205.073	0,70%	13,90%	14,60%	29.949	1.444	28.505
U080	Negro	DP8	14.384	3,84%	13,90%	17,74%	2.551	552	1.999
U080	Negro	PS2	82.166	2,32%	13,90%	16,22%	13.331	1.910	11.421
							45.831	3.906	41.926
G090	Pardo	DP1	106.844	2,93%	19,10%	22,03%	23.538	3.131	20.407
G090	Pardo	DP5	34.443	3,34%	19,10%	22,44%	7.730	1.151	6.579
G090	Pardo	PM13	22.705	1,01%	19,10%	20,11%	4.566	230	4.337
G090	Pardo	PM14	145.928	2,57%	19,10%	21,67%	31.625	3.752	27.872
G090	Pardo	PM6	54.099	6,87%	19,10%	25,97%	14.048	3.715	10.333
							81.507	11.979	69.528
U020	Passo Fundo	PM1	94.112	3,88%	19,10%	22,03%	22.002	3.650	18.352
U020	Passo Fundo	PM3	94.215	6,12%	19,10%	22,44%	24.139	5.767	18.372
U020	Passo Fundo	PM4	1.251	1,68%	19,10%	20,11%	265	21	244
U020	Passo Fundo	PM6	21.168	1,09%	19,10%	21,67%	4.359	231	4.128
U020	Passo Fundo	PM9	274.416	0,72%	19,10%	25,97%	55.484	1.973	53.511
							106.249	11.642	94.607
U040	Piratinim	PC1	232.287	0,23%	19,50%	19,73%	45.838	542	45.296
U040	Piratinim	PM2	13.160	0,01%	19,50%	19,51%	2.567	1	2.566
U040	Piratinim	PM7	54.941	0,04%	19,50%	19,54%	10.733	20	10.713
U040	Piratinim	PM9	468.218	0,09%	19,50%	19,59%	91.741	438	91.303
							150.879	1.001	149.878
U060	Quaraí	PC2	87.649	0,16%	16,80%	16,96%	14.864	139	14.725



U060	Quaraí	PC4	582.243	0,14%	16,80%	16,94%	98.648	831	97.817
U060	Quaraí	PC6	1.710	0,00%	16,80%	16,80%	287	0	287
							113.799	969	112.829
U070	Santa Maria	DP2	826.466	2,91%	10,69%	13,60%	112.364	24.028	88.336
U070	Santa Maria	DP5	3.704	8,38%	10,69%	19,06%	706	310	396
U070	Santa Maria	DP6	26.287	0,04%	10,69%	10,73%	2.820	10	2.810
U070	Santa Maria	DP7	437.008	0,39%	10,69%	11,07%	48.396	1.687	46.709
U070	Santa Maria	PC4	233	0,00%	10,69%	10,69%	24,90	0,00	24,90
U070	Santa Maria	PC5	25.576	0,02%	10,69%	10,71%	2.740	5,97	2.734
U070	Santa Maria	PS2	255.316	1,97%	10,69%	12,66%	32.312	5.022	27.289
							199.363	31.064	168.298
G020	Sinos	DP3	81.434	3,25%	15,89%	19,14%	15.589	2.648	12.941
G020	Sinos	DP4	74.470	4,27%	15,89%	20,16%	15.012	3.178	11.834
G020	Sinos	PL4	13	0,00%	15,89%	15,89%	2	0	2
G020	Sinos	PM12	8.426	14,56%	15,89%	30,45%	2.566	1.227	1.339
G020	Sinos	PM15	8.181	5,33%	15,89%	21,22%	1.736	436	1.300
G020	Sinos	PM16	186.414	8,72%	15,89%	24,62%	45.888	16.264	29.624
G020	Sinos	PM6	9.772	5,47%	15,89%	21,36%	2.087	535	1.553
							82.881	24.288	58.593
G040	Taquari-Antas	DP1	131.456	9,08%	19,50%	28,58%	37.568	11.934	25.634
G040	Taquari-Antas	DP4	53.469	30,98%	19,50%	50,48%	26.992	16.565	10.426
G040	Taquari-Antas	DP5	43.857	8,78%	19,50%	28,28%	12.402	3.849	8.552
G040	Taquari-Antas	PM10	80.702	6,14%	19,50%	25,64%	20.688	4.951	15.737
G040	Taquari-Antas	PM11	306.934	7,47%	19,50%	26,97%	82.791	22.938	59.852
G040	Taquari-Antas	PM12	221.382	12,56%	19,50%	32,06%	70.981	27.812	43.169
G040	Taquari-Antas	PM13	92.728	3,87%	19,50%	23,37%	21.674	3.592	18.082



G040	Taquari-Antas	PM14	408.762	7,84%	19,50%	27,34%	111.764	32.056	79.709
G040	Taquari-Antas	PM15	2.049	4,75%	19,50%	24,25%	497	97	400
G040	Taquari-Antas	PM5	333.559	2,45%	19,50%	21,95%	73222,73	8.179	65.044
G040	Taquari-Antas	PM6	959.641	4,80%	19,50%	24,30%	233.224	46.094	187.130
G040	Taquari-Antas	PM9	2.339	0,00%	19,50%	19,50%	456,11	0	456,11
							692.259	178.068	514.191
L010	Tramandaí	PL1	42.673	1,95%	13,50%	15,45%	6.592	831	5.761
L010	Tramandaí	PL2	89.670	1,15%	13,50%	14,65%	13.135	1.030	12.105
L010	Tramandaí	PL3	37.913	25,40%	13,50%	38,90%	14.750	9.632	5.118
L010	Tramandaí	PM12	8.508	4,54%	13,50%	18,04%	1.535	386	1.149
L010	Tramandaí	PM15	95.303	2,24%	13,50%	15,74%	14.998	2.132	12.866
L010	Tramandaí	PM16	1.069	2,73%	13,50%	16,23%	174	29	144
							51.183	14.039	37.143
U030	Turvo-SantaRosa-SantoCristo	PC1	2.941	0,46%	19,50%	19,96%	587	13	573
U030	Turvo-SantaRosa-SantoCristo	PM1	41.651	0,47%	19,50%	19,97%	8.318	196	8.122
U030	Turvo-SantaRosa-SantoCristo	PM2	774.776	0,81%	19,50%	20,31%	157.328	6.247	151.081
U030	Turvo-SantaRosa-SantoCristo	PM7	210.337	0,22%	19,50%	19,72%	41.480	464	41.016
U030	Turvo-SantaRosa-SantoCristo	PM9	55.929	0,15%	19,50%	19,65%	10.989	83	10.906
							218.702	7.003	211.699
G060	Vacacai-Vacacai-Mirim	DP1	35.514	0,54%	13,70%	14,24%	5.058	193	4.865
G060	Vacacai-Vacacai-Mirim	DP2	161.828	1,97%	13,70%	15,67%	25.362	3.192	22.170
G060	Vacacai-Vacacai-Mirim	DP5	588.962	1,47%	13,70%	15,17%	89.369	8.681	80.688
G060	Vacacai-Vacacai-Mirim	PM14	40.760	2,02%	13,70%	15,72%	6.409	825	5.584



G060	Vacacai-Vacacai-Mirim	PM9	8.155	0,31%	13,70%	14,01%	1.143	25	1.117
G060	Vacacai-Vacacai-Mirim	PS2	253.901	3,96%	13,70%	17,66%	44.831	10.046	34.784
G060	Vacacai-Vacacai-Mirim	PS3	23.617	2,52%	13,70%	16,22%	3.830	594	3.236
							176.002	23.557	152.445
U100	Varzea	PM1	402.116	1,51%	19,50%	21,01%	84.487	6.075	78.413
U100	Varzea	PM2	7.420	0,59%	19,50%	20,09%	1.491	44	1.447
U100	Varzea	PM4	219.724	0,73%	19,50%	20,23%	44.455	1.609	42.846
U100	Varzea	PM9	322.935	0,91%	19,50%	20,41%	65.911	2.938	62.972
							196.344	10.666	185.678



Os limites de ocupação recalculados neste trabalho evidenciaram que o estado do Rio Grande do Sul apresenta um potencial superior para a silvicultura em suas UPNs e BHs do que se havia estimado inicialmente no ZAS 2008, isso porque as áreas de vegetação campestre sofreram antropização. Vale destacar que esta redução no comprometimento dos recursos hídricos observada na maior parte das BHs foi identificada em função de que a redução de vazão específica pela substituição da vegetação campestre pela cobertura florestal é mais de um terço inferior ao que foi inicialmente encontrado, e porque os resultados de vazão média foram, em sua maioria, levemente superiores.

Esta redução no comprometimento dos recursos hídricos ocorre mesmo com o aumento da demanda e do consumo do uso da água pela atividade geral e pela silvicultura (que também aumentou no período). O aumento da demanda envolve os mais variados usos existentes. Deste modo, para obter o real limite de ocupação das BHs e UPNs, é contabilizado sempre o que já existe de silvicultura na respectiva área.

Então, a área proposta é dada além deste percentual, pois os dados de demandas, consumos e vazões são obtidos já considerando os plantios que estão presentes nestas áreas. É por este fato que o estado apresenta mais potencial para silvicultura do que era estimado inicialmente. A Tabela 10 demonstra as áreas potenciais para uso silvícola por Bacia Hidrográfica.

Tabela 10. Área potencial para silvicultura por Bacia Hidrográfica.

Código	Bacia Hidrográfica	Área potencial total para silvicultura (ha)	Ocupação pela silvicultura	Área potencial para ocupação pela silvicultura (ha)
G050	Alto Jacuí	264.488,33	9.636,59	254.851,74
U010	Apuae-Inhandava	337.904,18	54.704,51	283.199,67
G070	Baixo Jacuí	400.677,59	184.727,00	215.950,59
U110	Butuí-Icamaquã	79.273,39	2.538,47	76.734,92
G030	Caí	151.009,13	61.606,01	89.403,12
L030	Camaquã	546.825,24	158.561,64	388.263,30
G010	Gravataí	14.393,92	3.394,24	10.999,69
U050	Ibicuí	404.382,59	37.551,71	366.830,88
U090	Ijuí	212.310,31	2.856,13	209.454,18
G080	Lago Guaíba	45.553,38	23.864,37	21.689,01
L020	Litoral Médio	90.934,82	48.797,73	42.137,10
L050	Mampituba	13.743,62	1.000	12.743,42
L040	Mirim-São Gonçalo	345.082,49	89.011,00	256.071,49



U080	Negro	45.831,48	3.905,88	41.925,60
G090	Pardo	81.506,74	11.979,11	69.527,63
U020	Passo Fundo	106.248,77	11.642,18	94.606,59
U040	Piratinim	150.879,23	1.001	149.878,17
U060	Quaraí	113.798,59	969	112.829,14
U070	Santa Maria	199.362,63	31.064,15	168.298,48
G020	Sinos	82.880,79	24.287,62	58.593,17
G040	Taquari-Antas	692.259,38	178.068,17	514.191,21
L010	Tramandaí	51.182,61	14.039,25	37.143,36
U030	Turvo-Santa Rosa- Santo Cristo	218.701,75	7.003,12	211.698,63
G060	Vacacaí - Vacacaí- Mirim	176.002,15	23.557,18	152.444,97
U100	Várzea	196.343,61	10.665,58	185.678,03
TOTAL		5.021.576,71	996.432,35	4.025.144,06



4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo baseou-se na atualização de forma detalhada o Balanço Hídrico Climatológico (BHC) do estado do Rio Grande do Sul. A metodologia utilizada no ZAS de 2008 foi investigada minuciosamente, de modo a encontrar a melhor maneira de contribuir para sua atualização. Focou-se em alcançar a maior veracidade possível nos dados de entrada e métodos, explorando novas ferramentas disponíveis na atualidade.

É importante enfatizar aqui o mérito do primeiro ZAS realizado em 2008 e que é seguido desde então, uma vez que foi construído considerando o cenário da época e o projeto possuía elementos inovadores, buscando chegar aos melhores resultados para aquela realidade. A disposição maior de tecnologias e disponibilidade de dados sobre o ambiente que existem atualmente demonstra a necessidade de atualização dos dados do ZAS.

A diferença na demanda evapotranspirativa em função da substituição de uso do solo, neste caso agricultura e vegetação campestre por cultivo florestal, é determinada pela variação no balanço/saldo de energia e sua partição entre o calor sensível e latente, capacidade diferencial do sistema radicular em explorar o volume de solo e pelas condições psicrométricas e dinâmicas da atmosfera. Neste contexto, os valores de redução de vazão (Q_i) encontrados foram significativamente inferiores do que se calculava inicialmente ao se converter pastagem por cobertura florestal.

De modo geral os resultados indicaram, ainda, um aumento das vazões mínimas, o que demonstra que é possível expandir a produtividade agrícola em todas as regiões do estado, sempre considerando o planejamento de tais atividades para o uso racional do recurso hídrico. Alguns detalhes no aperfeiçoamento dos métodos foram fundamentais para atingir os resultados apresentados. De acordo com Cícero et al., (2012) e Castro et al., (2016), os estudos de zoneamento climático de cultivos agrícolas podem ser prejudicados quando da consideração equivocada do valor assumido pela CAD. Nesse sentido, esse pode ser citado como um avanço essencial deste estudo, pois possibilitou calcular um BHC muito mais próximo da realidade do estado.



Outro avanço importante na metodologia foi com relação aos dados de evapotranspiração, que no cenário de 2008 utilizou valores de apenas 12 estações meteorológicas especializadas para todo o estado. No presente estudo, os dados de sensoriamento remoto de imagens MOD16 aumentaram a precisão das análises e levou em consideração o uso do solo existente, promovendo desta maneira, uma análise espacial muito mais rica em detalhes. O mesmo pode ser dito a respeito dos dados pluviométricos, em que um número muito mais significativo de observações foi levado em conta nas análises.

No contexto do uso do solo, um importante avanço deste trabalho foi a classificação de áreas de silvicultura em maior nível de detalhamento. Concluiu-se que as áreas de plantios existentes são, de modo geral, maiores do que se apresentava nos levantamentos anteriores (Figura 11). Ainda assim, o estado do Rio Grande do Sul apresenta maior potencial para a silvicultura na maior parte de suas Unidades de Paisagem (UPNs) e Bacias Hidrográficas (BHs), do que se havia estimado (Tabela 9), o que demonstra que a atualização do estudo é de extrema importância.

A atualização destes estudos que são tomados como base para tomar decisões sobre o ambiente está prevista nos relatórios anteriores. Isso porque a tecnologia e maior quantidade de informações auxilia na constante evolução dos mesmos, sendo essencial para que possam ser usados como ferramenta de planejamento de ocupação do território pelas atividades econômicas. Por fim, se enfatiza que a situação dos recursos hídricos deve ser constantemente monitorada, para melhoria do entendimento do impacto hidrológico nas atividades de silvicultura para o estado do Rio Grande do Sul.



5. REFERÊNCIAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. **Rome: FAO**, 1998. 300 p. (FAO – Irrigation and Drainage Paper, 56).

ALMEIDA, A. C; SOARES, J. V. Comparação entre uso de água em plantações de *Eucalyptus grandis* e floresta ombrófila densa (Mata Atlântica). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 2, 2003.

ASSOCIAÇÃO GAÚCHA DE EMPRESAS FLORESTAIS - AGEFLOR. A indústria de base florestal no Rio Grande do Sul. Ano base 2014. Porto Alegre, RS, 2015. 40p.

AGUILAR, A.L., FLORES, H., CRESPO, G., MARÍN, M.I., CAMPOS, I e CALERA, A. Performance Assessment of MOD16 in Evapotranspiration Evaluation in Northwestern Mexico. **Water** 2018, 10, 901. doi:10.3390/w10070901.

BERLATO, M.A., FONTANA, D.C. **El Niño e la niña: Impactos no clima, na vegetação e na agricultura do Rio Grande do Sul – aplicações de previsões climáticas na agricultura**. Porto Alegre: UFRGS, 2003. 110p.

BOSCH, J. M. and HEWLETT, J. D. A Review Of Catchment Experiments to Determine the Effect of Vegetation Changes on Water Yield and Evapotranspiration. **Journal of hydrology**, v. 55, pp. 3-23, 1982.

BRANDÃO, V. S.; CECÍLIO, R. A.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D. **Infiltração de água no solo**. Viçosa, MG: UFV, pp. 2009.

CAMPO, A. M.; ZAPPERI, P. A.; RAMOS, M. B. Recent Rainfall Anomalies in the Southwestern Pampas Region, Argentina. Retrospective And Prospective View. In: II Congreso Interamericano de Cambio Climático, **Anais...** Ciudad del México: 2016, p. 704-708.

CARVALHO NETO, R. M. Uso do Balanço Hídrico Climatológico para subsidiar tomadas de decisão quanto ao manejo de Bacias Hidrográficas. 2014, 90 p. Dissertação (**Mestrado em Engenharia Civil**) - Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2014.

CASTRO, F. S.; CECÍLIO, R. A.; XAVIER, A. C.; PEZZOPANE, J. E. M.; SPERANDIO, H. V. Interpolação dos parâmetros do balanço hídrico climatológico considerando diferentes capacidades de água disponível no solo. **Nucleus**, v.13, n.2, 2016.

CECÍLIO, R. A.; SILVA, K. R.; XAVIER, A. C.; PEZZOPANE, J. R. M. Método para a espacialização dos elementos do balanço hídrico climatológico. **Pesq. agropec. bras.** v.47, n.4, p.478-488, 2012.



DANTAS, A.A.A, CARVALHO, L.G., FERREIRA, E. Climatic classification and tendencies in Lavras region, MG. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v. 31, n. 6, p. 1862-1866, nov./dez., 2007.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Estudos FAO - Irrigação e Drenagem n.33, 1994. 306p. (Traduzido por Gheyji, H.R. et al. - UFPB).

FISHER, J. B.; MELTON, F.; MIDDLETON, E.; HAIN, C.; ANDERSON, M.; ALLEN, R.; MCCABE, M.F.; HOOK, S.; BALDOCCHI, D.; TOWNSEND, P.A.; et al. The future of evapotranspiration: Global requirements for ecosystem functioning, carbon and climate feedbacks, agricultural management, and water resources. **Water Resour. Res.** 2017, 53, 2618–2626.

IPCC. Climate change 2013: the physical science. **In: Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** (T. F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. M. B. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex & P. M. Midgley, eds). Cambridge University Press, Cambridge, NY, USA.

LIMA, W. DE P. **Impacto Ambiental do Eucalipto**, 2ª Edição. São Paulo: Edusp. 1993.

LIMA, W. P.; ZÁKIA, M. J. B. (Org.). As florestas plantadas e a água: implementando o conceito da microbacia hidrográfica como unidade de planejamento. São Carlos: RiMa, 2006. 226 p.

LIN, P., RAJIB, M. A., YANG, Z-L., VALENZUELA, M.S., MERWADE, V., MAIDMENT, D.R., WANG, Y. e CHEN, L. Spatiotemporal Evaluation of Simulated Evapotranspiration and Streamflow Over Texas Using the Wrf-hydro-rapid Modeling Framework. 2018

MADANI, E.M., JANSSON, P.E., BABELON, I. Differences in water balance between grassland and forest watersheds using long-term data, derived using the CoupModel. **Hydrology Research**, 2017

MARCUZZO, F. F. N ANDRADE, L. R. MELO, D. C. R. Métodos de Interpolação Matemática no Mapeamento de Chuvas do Estado do Mato Grosso. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 4, pp. 793-804, 2011.

MATOS, A. T. Qualidade do meio físico ambiental. **Série Caderno didático**. Universidade Federal de Viçosa, 2010.

MENDONÇA, L. A. R.; VÁSQUEZ, M. A. N.; FEITOSA, J. V.; OLIVEIRA, J. F.; FRANCA, R. M.; VÁSQUEZ, E. M. F.; FRISCHKORN, H. Avaliação da capacidade de infiltração de solos submetidos a diferentes tipos de manejo. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.14, n.1, p. 89-9, 2009.



MONTEITH, J. L. Evaporation and environment. Symp. **Soc. Exp. Biol.**, v. 19, pp. 205–234, 1965.

MU, Q., ZHAO, M. and RUNNING, S. W. Improvements to a MODIS global terrestrial evapotranspiration algorithm, **Remote Sensing of Environment**. v. 115, pp. 1781–1800, 2011.

NOGUEIRA, J. D. de L.; AMARAL, R. F. do. Comparação entre os métodos de interpolação (Krigagem e Topo to Raster) na elaboração da batimetria na área da folha Touros – RN. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR)**, 14, 2009, Natal. Anais... São José dos Campos: INPE, 2009: Artigos, p. 4117-4123. On-line. ISBN 978-85-17-00044-7. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2007/biblioteca/>>. Acesso em: 18 de dezembro de 2019.

OLIVEIRA, L. F. C.; FIOREZE, A. P.; MEDEIROS A. M. M.; SILVA, M. A. S. Comparação de metodologias de preenchimento de falhas de séries históricas de precipitação pluvial anual. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.11, p.1186–1192, 2010.

PADILHA, D. G. **Modelo de apoio a decisão ao planejamento territorial de silvicultura baseado em análise multicritério de redes neurais artificiais**. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Santa Maria, 2014.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. Agrometeorologia fundamentos e aplicações práticas. **Guaíba: Ed. Agropecuária**, pp. 478, 2002.

REICHERT, J. M., RODRIGUES, M. F., PELÁEZ, J. J. Z., LANZA R., MINELLA, J. P. G., ARNOLD, J. CAVALCANTE, R. B. L. Water balance in paired watersheds with eucalyptus and degraded grassland in pampa biome. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 237–238, pp. 282-295, 2017.

ROCHA, N.S. Efeitos do aumento da temperatura sobre a disponibilidade hídrica para a pecuária familiar na sub-bacia do Alto Camaquã, RS. 2016, 197p. Dissertação (**Mestrado em Engenharia Ambiental**). Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2016.

ROSSATO, L. **Estimativa da capacidade de armazenamento de água no solo do Brasil**. São José dos Campos: INPE, 145p. 2001.

SCHEWE, J. et al. Multimodel assessment of water scarcity under climate change. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 111, n. 9, p. 3245–3250, 2014.

SEMA - **Secretaria Estadual do Meio Ambiente. Bases dos Estudos de Fauna, Flora e Recursos Hídricos**. v. 3 Porto Alegre: SEMA, 2006. Disponível em:



http://www.fepam.rs.gov.br/biblioteca/silvicultura/BasesEstudos_Fauna_Flora_RH.zip Acesso em: Nov. 2018.

SILVA, F DA; SANTOS, L. P DOS; FOLETO, E. M. Incompatibilidade legal de uso e ocupação do solo a partir da aptidão agrícola: o caso da micro bacia hidrográfica do arroio Manoel Alves, Itaara/RS. **Revista Eletrônica do Curso de Direito** – UFSM. p. 234-247, 2013.

SIVAPRAGASAM, C.; ARUN, V.; GIRIDHAR, D. A simple approach for improving spatial interpolation of rainfall using ANN. **Meteorology and Atmospheric Physics**, v.109, p.1-7, 2010.

SOUZA, J. L. M. DE; GOMES, S. Limites na utilização de um modelo de balanço hídrico decendial em função da capacidade de água disponível no solo. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 30, n. 2, p. 153–163, 2008.

TANG, T., LI, Z-L., WU, H., TANG, B-H., ZHOU, G. Multiscale Validation of the 8-day MOD16 Evapotranspiration Product Using Flux Data Collected in China. **IEEE Journal of Selected Topics in Applied Remote Sensing**. pp. 1939-1404, 2015.

THORNTHWAITE, C. W. & MATHER, J. R. The water balance. Publications in Climatology. **New Jersey: Drexel Institute of Technology**.1955.