

INFLUÊNCIA DE DEMANDAS HÍDRICAS AGRÍCOLAS NA RESPOSTA DA ÁGUA SUBTERRÂNEA NA BACIA DO RIO SANTA MARIA/RS

Camila Dalla Porta Mattiuzi¹ & Ayan Santos Fleischmann²

Resumo – Em regiões de intensa agricultura, o aumento de demandas hídricas gera pressões nos recursos hídricos, onde o uso de água para irrigação de culturas acarreta alterações no regime hidrológico de rios, lagos e águas subterrâneas. Neste contexto, diversos índices têm sido propostos para avaliação de secas e impacto destas na hidrologia terrestre, entre os quais se destaca o método do Índice de Secas Sensitivo a Demandas, desenvolvido por Etienne et al. (2016) e que avalia o déficit hídrico acumulado em uma dada região a partir de um balanço entre disponibilidade (precipitação) e demandas (evapotranspiração de áreas plantadas). Assim, neste trabalho avaliou-se o uso deste índice de seca para explorar o impacto de demandas agrícolas nas águas subterrâneas da bacia do rio Santa Maria/RS. Os resultados mostraram que a variação temporal dos níveis de águas subterrâneas está relacionada ao déficit hídrico acumulado da região, manifestado por exemplo na seca de 2012, refletindo a relevância do índice em explicar os processos de seca da região, dados pelo balanço entre retiradas de água para irrigação e entradas de precipitação. Além disso, as secas na região foram classificadas como de baixo impacto, sendo as demandas relativamente pequenas frente ao volume disponível de água.

Abstract – In intensive agricultural regions, increased water demands generates pressures on water resources, where the use of water for crop irrigation leads to changes in the hydrological regime of rivers, lakes and groundwater. In this context, several indices have been proposed to assess droughts and their impact on terrestrial hydrology, among which stands out the method of the Demand sensitive Drought Index, developed by Etienne et al. (2016) and assesses the accumulated water deficit in a given region from a balance between availability (rainfall) and demand (evapotranspiration planted areas). Thus, this study evaluated the use of this drought index to explore the impact of agricultural demands on groundwater of the river basin Santa Maria / RS. The results showed that the temporal variation of groundwater levels is related to the accumulated water

¹ Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - SUREG/SP - Rua Costa, 55, Consolação, CEP 01304-010, São Paulo/SP, (11) 3775 5101; camila.mattiuzi@cprm.gov.br

² Instituto de Pesquisas Hidráulicas - IPH/UFRGS - Av Bento Gonçalves, 9500, Agronomia, Porto Alegre/RS, ayan.fleischmann@gmail.com

deficit in the region, expressed e.g. in dry 2012, reflecting the importance of the index explain the dry process in the region given by the balance between withdrawals water for irrigation and precipitation inputs. Moreover, in the dry area was classified as low impact, and demands relatively small compared to the volume of water available.

Palavras-Chave – Demanda Hídrica, Índice de Seca, Água Subterrânea, RIMAS

INTRODUÇÃO

As secas hidrológicas geram impactos sociais e econômicos, afetando diversos setores na nossa sociedade, sendo extremamente relevante que se avalie a severidade das secas e de situações de stress hídrico, a fim de possibilitar um planejamento adequado dos usos e demandas de água. A água subterrânea é um componente importante em vários sistemas hídricos, contribuindo para o abastecimento da população, para usos agrícolas e industriais, além da manutenção de corpos d'água e seus serviços ambientais. Nas últimas décadas a utilização deste recurso aumentou de maneira rápida e intensa, visando ao suprimento de diversas demandas; este crescimento ocorreu, em geral, sem acompanhamento técnico adequado (Herráiz, 2009).

No Brasil, o crescimento do número de poços e vazões exploradas, e o aumento constante do consumo de água subterrânea se deve, principalmente, à crescente demanda de água e à má distribuição geográfica deste recurso, ao comprometimento e à poluição das reservas superficiais, ao melhor conhecimento dos aquíferos, embora ainda apresente lacunas, e ao aprimoramento da indústria de perfuração de poços (Silva, 2007).

Existem diversos índices na literatura para caracterização de secas, no entanto eles costumam utilizar apenas a disponibilidade de água, e não as demandas dos diversos setores em sua formulação. Etienne et al (2016) propuseram um novo índice de avaliação de seca, o Índice de Seca Sensitivo à Demanda (DSDI - Demand Sensitive Drought Index), que é baseado na demanda de água diária para culturas agrícolas e na precipitação diária, o qual foi posteriormente utilizado para avaliação de suscetibilidade de águas subterrâneas a situações de stress hídrico (Ho et al., 2016).

Neste trabalho pretende-se avaliar o Índice de Seca Sensitivo à Demanda para uma região da Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria (Rio Grande do Sul) e comparar os resultados com as medições de nível d'água aquífero da região.

METODOLOGIA

Neste trabalho foi utilizado o Índice de Seca Sensitivo à Demanda (Demand Sensitive Drought Index - DSDI) recentemente proposto por Etienne et al. 2016, que considera a disponibilidade hídrica e a demanda por água para compor um índice que avalia o stress hídrico em uma região, incorporando informações relativas às culturas agrícolas de interesse. A metodologia de cálculo do DSDI é apresentada a seguir.

Cálculo do DSDI

O índice DSDI é aplicado a uma série diária de demanda e disponibilidade, sendo posteriormente acumulado para o período de interesse (anual, semestral, etc).

Inicialmente calcula-se o deficit hídrico de uma região j para um tempo t (no caso, t =dia), conforme Equação 1:

$$deficit_{j,t} = \max (deficit_{j,t-1} + D_{j,t} - S_{j,t}, 0) \quad \text{Equação 1}$$

onde $deficit_{j,t}$ é o déficit acumulado diário, $deficit_{j,t-1}$ é o déficit do dia anterior (quanto $t=0$, $deficit_{j,t-1}=0$), $D_{j,t}$ é a demanda total de água e $S_{j,t}$ é a disponibilidade de água; demanda e disponibilidade são definidas nas Equações 2 e 3, respectivamente:

$$D_j^t = \sum \frac{Kc}{\beta} Et_{0_t}^j CA_t^j \quad \text{Equação 2}$$

onde Kc é o coeficiente da cultura (recomendado pela FAO - Food and Agriculture Organization, FAO, 2016), β é um parâmetro de ajuste pelas perdas em função da irrigação (neste trabalho β foi considerado como igual a 1, ou seja, 100% de eficiência na irrigação), $Et_{0_t}^j$ é a Evapotranspiração Potencial, obtida pelo método de Penman Monteith (os dados necessários para o cálculo da $Et_{0_t}^j$ foram obtidos através do Portal BDMEP - Banco de Dados Meteorológico Para Ensino e Pesquisa - do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2016); foram utilizados os dados do Posto Santa Maria), CA_t^j é a área plantada de cada cultura (obtidos em consulta no site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, 2016).

$$S_j^t = \alpha_j P_t^j NCA_j \quad \text{Equação 3}$$

onde α_j é o coeficiente de escoamento da bacia, P_t^j é a precipitação diária (obtida através de postos pluviométricos da Agência Nacional de Águas - ANA, 2016) e NCA_j é a área plantada atual (IBGE, 2016).

Em seguida calcula-se o Índice Acumulado de Seca (DIC - Drought Index Cumulated), conforme Equação 4:

$$DIC_j = \max_t (deficit_{j,t}) \quad \text{Equação 4}$$

Finalmente obtém-se o Índice de Seca Sensitivo à Demanda - DSDI, conforme Equação 5:

$$DSDI_{j=} \frac{DIC_j}{AP_j} \quad \text{Equação 5}$$

onde AP_j é volume médio anual de chuva.

A severidade do stress hídrico de uma região é avaliada pelo DSDI a partir da classificação apresentada na Tabela 1.

Tabela 1. Classificação do índice DSDI

Classe	Faixa
Muito Baixa	$0 < DSDI \leq 0,3$
Baixa	$0,3 < DSDI \leq 0,6$
Moderada	$0,6 < DSDI \leq 1$
Alta	$1 < DSDI \leq 2$
Muito Alta	$2 < DSDI \leq 5$
Extrema ou crônica	$DSDI > 5$

*Adaptado de Etienne et al 2016.

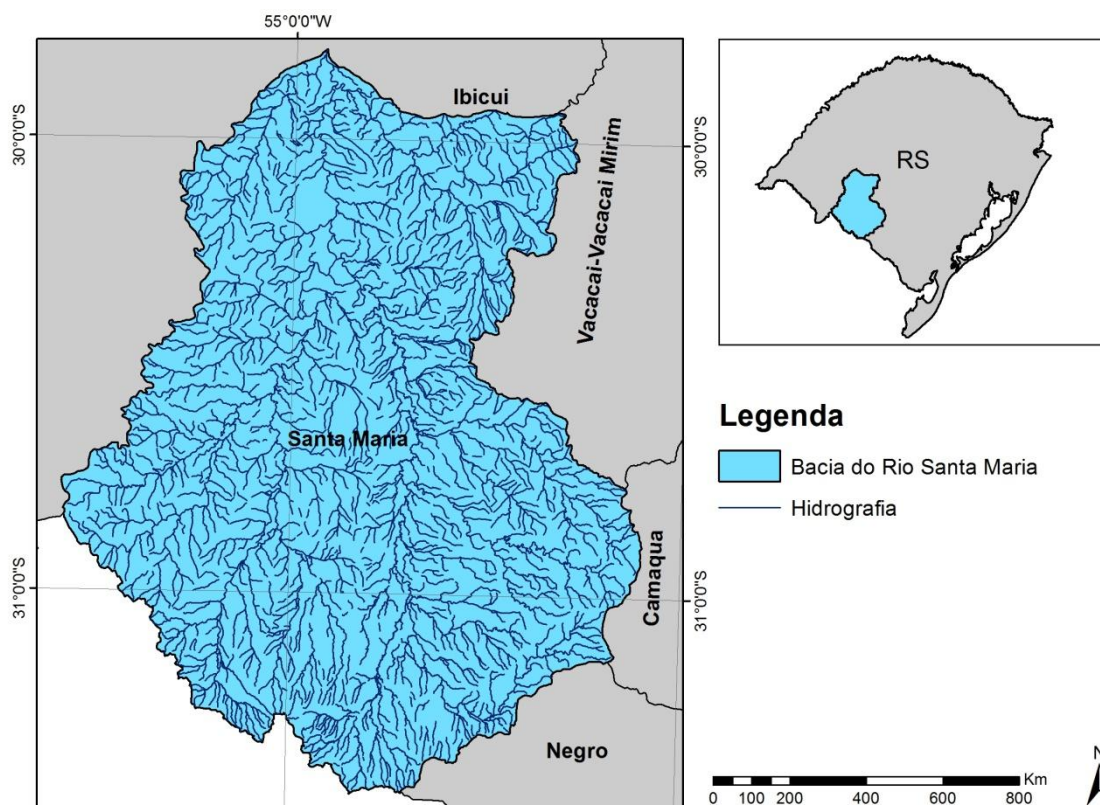
Análise do Nível d'Água

Para avaliar a influência do índice DSDI na água subterrânea foram utilizados dados diários de nível d'água medidos por um posto piezométrico localizado na região estudada. O piezômetro pertence à Rede RIMAS (Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas), que é um projeto da CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais) que tem como objetivo a medição horária, permanente e contínua do nível d'água em aquíferos livres (CPRM, 2016).

ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo deste trabalho pertence à Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria (BHSM), localizada na parte sudoeste do Estado do Rio Grande do Sul, fazendo parte da Região Hidrográfica do Rio Uruguai (RHU) conforme Figura 1.

A BHSM possui uma área de aproximadamente 15.790km² e uma população em torno de 243 mil habitantes em 2010 (IBGE, 2015). A precipitação média anual é de 1.444 mm, e em anos secos, as taxas médias de evapotranspiração superam as de precipitação na bacia, influenciando diretamente a situação de escassez hídrica (ANA, 2006). Destaca-se a utilização amplamente majoritária dos recursos hídricos para irrigação de arroz, o que tem gerado conflitos com o abastecimento público, principalmente em ocasiões de estiagens extremas, sendo esta uma das justificativas para a realização deste trabalho (ANA, 2006).



Caracterização das Demandas Hídricas

A agricultura é uma das principais atividades econômicas da região, principalmente das culturas arroz e soja.

A cultura de produção de arroz nesta região foi iniciada por volta da década de 40; no início havia uma disponibilidade extensa de terras e recursos hídricos. A partir da década de 80 a disponibilidade hídrica começou a se tornar um fator restritivo ao desenvolvimento da lavoura orizícola na região devido a relação de baixa disponibilidade de água superficial, ao aumento das áreas cultivadas e à pressão do mercado consumidor de arroz, resultando em conflitos entre os setores agrícolas e os usuários de água.

O período de irrigação das lavouras de arroz ocorre de novembro a fevereiro com a seguinte distribuição: 20% em novembro, 45% em dezembro, 35% em janeiro e 5% em fevereiro. De acordo com o Plano de Bacia, das fontes utilizadas para irrigação de arroz, 76% da água é proveniente de barragens, açudes e lagoas, e 24% de rios, arroios de riachos.

A soja é uma cultura plantada em alternância com o arroz, garantindo melhorias na lavoura, fixação do nitrogênio no solo e oferecendo uma relação custo-benefício vantajosa para o produtor.

A área total de lavouras de arroz é estimada em 80.536 ha e a área total destinada ao cultivo de soja na BHSM é de 147.557 ha (IBGE, 2016). Entre 2010 e 2015, houve um aumento em 20% na área cultivada de arroz e soja na região estudada (Figura 7d).

Caracterização das Disponibilidades Hídricas

Os períodos de maiores secas na Bacia do Uruguai estão associados aos períodos de pouca ocorrência de precipitações. Devido à baixa capacidade de armazenamento da região estudada e a grande profundidade dos mananciais subterrâneos mais volumosos, o regime de vazões é muito dependente do regime de chuvas.

São frequentes os relatos de elevada exploração dos cursos de água da Bacia, principalmente na área de concentração rizícola, de modo a rebaixar os níveis dos rios a cotas inferiores às que podem ser registradas nas estações fluviométricas. Assim, percebe-se que os eventos de extremas estiagens, quando ocorrem, têm tido seu efeito potencializado pela intensa utilização dos recursos hídricos na Bacia (ANA 2006).

Caracterização Geológica e Hidrogeológica

A seguir será apresentada uma breve caracterização do arcabouço geológico da área região estudada, realizada com base no Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul, escala 1:750.000, elaborado pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM, 2007) conforme Figura 2.

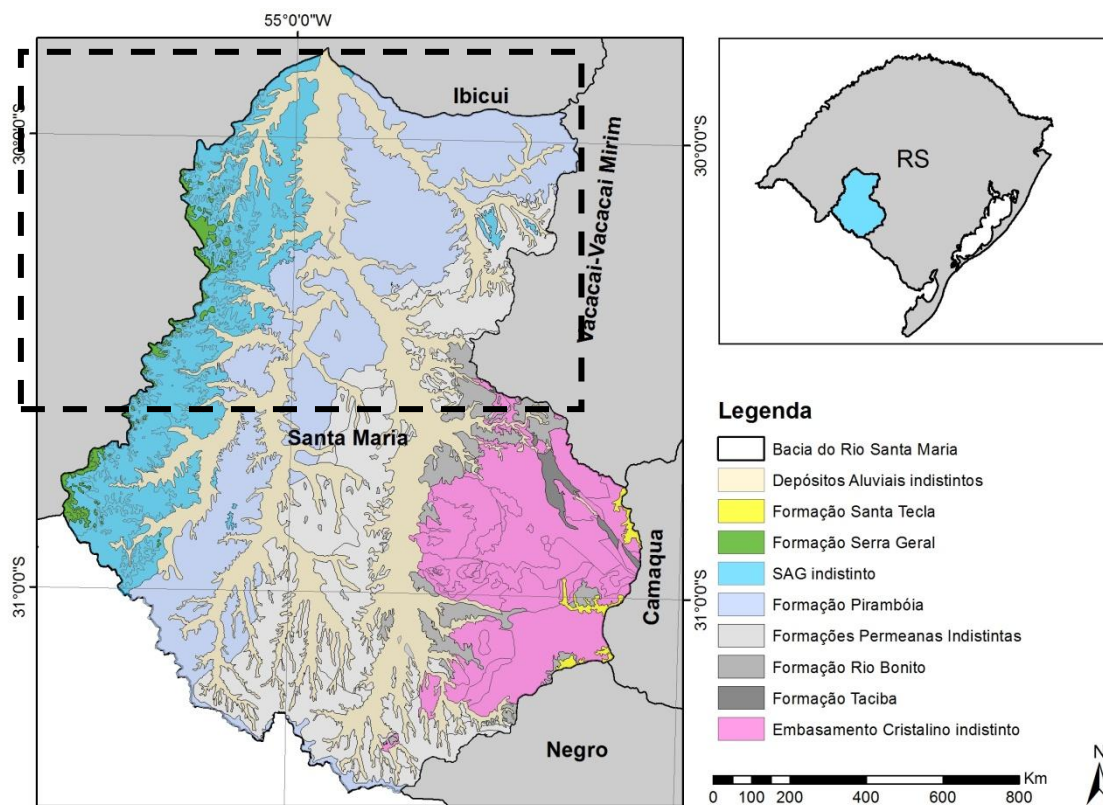


Figura 2. Geologia da região de estudo.

As formações geológicas presentes partem desde rochas sedimentares como os arenitos e depósitos aluviais, que apresentam características de formação aquífera, até, em menor quantidade, rochas fraturadas basálticas e cristalinas, como a Formação Serra Geral, que apresenta boa capacidade aquífera.

Regiões compostas predominantemente de rochas pertencentes ao Sistema Aquífero Guarani (SAG) de forma indistinta possuem um papel muito importante com relação à produção de recarga, pois os processos de infiltração vertical e efetiva são facilitados devido a grande permeabilidade dos estratos de superfície. As unidades permeáveis da Formação Pirambóia ocorrem em uma faixa contínua a leste, sendo que a borda oeste é composta pelos estratos que compõem o SAG; assim, são importantes áreas de recarga para o SAG de forma geral.

Na Tabela 1 são apresentadas as proporções de cada Unidade Litológica dentro da BHSM e uma breve caracterização quanto às propriedades aquíferas.

Tabela 1. Distribuição Litoestratigráfica na Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria

ERA	LITOESTRATIGRAFIA	%	LITOLOGIA E CARACTERÍSTICA AQUÍFERA
CENO ZÓICO	Depósitos Quaternários indistinto	27,2	Sedimentos inconsolidados formando aquíferos livres e detritos.
	Formação Serra Geral	1,0	Sequências vulcânicas formando aquíferos fraturados importantes.
MESOZÓICO	SAG indistinto	14,2	Arenitos eólicos médios, parte do SAG e formando aquíferos livres e confinados.
	Formação Pirambóia	20,9	Estratificações entre pelitos e arenitos, parte do SAG e formando aquíferos livres aconfinados. Muito heterogêneo.
PALEOZÓICO	Formações Permeanas indistinta	17,3	Pelitos não aquíferos.

RESULTADOS

Déficit acumulado devido a demandas agrícolas

O cálculo do déficit acumulado proposto por Etienne et al. (2016) reflete um balanço entre disponibilidade de água (volume de precipitação que é convertido em escoamento superficial) e demanda agrícola (evapotranspiração potencial de áreas plantadas). A Figura 3 apresenta os resultados do cálculo do déficit em um passo de tempo diário. Nota-se a seca na região no ano de 2012, onde a demanda de água para agricultura acarretou déficit ao longo de grande parte do ano. Além disso, mesmo com o aumento de 20% das áreas plantadas ao longo do período analisado (ver Fig. 7d), com o ciclo sazonal de evapotranspiração e os diferentes estágios de cultivo, observa-se que a demanda de água permanece relativamente constante em relação aos volumes disponíveis. Entretanto, os baixos, porém constantes ao longo do ano, volumes de demanda são suficientes para gerar situações de stress hídrico.

Foi realizado o cálculo do índice para um cenário hipotético em que a demanda agrícola é aumentada em 20%; nota-se a intensificação do déficit hídrico, especialmente no ano de 2012.

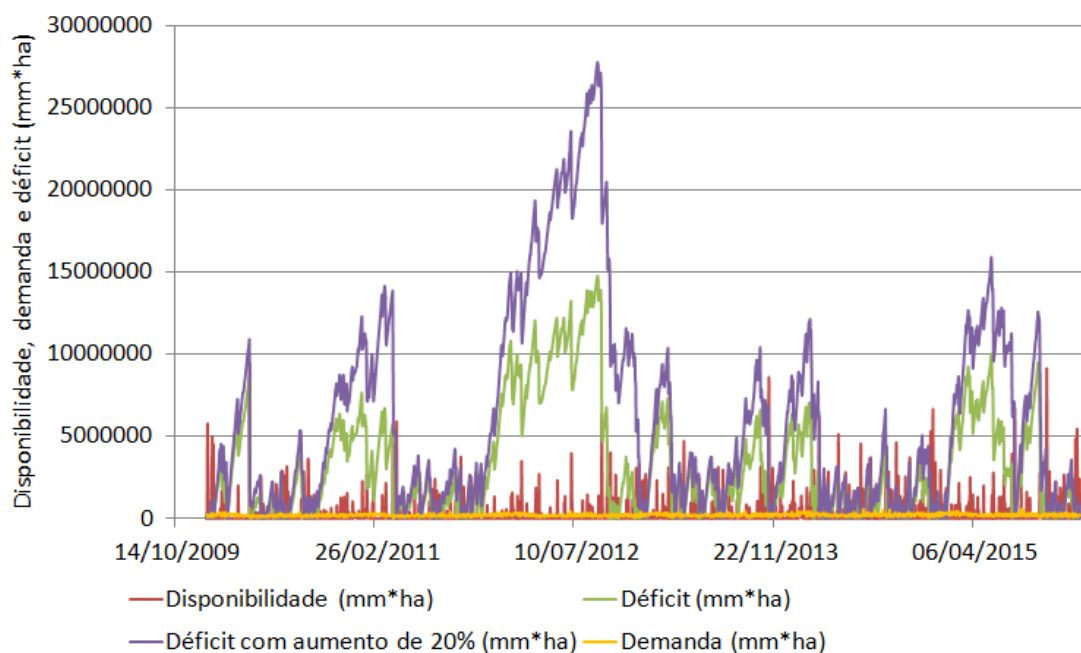


Figura 3. Cálculo do déficit acumulado, a partir da disponibilidade (chuva diária multiplicada pelo coeficiente de escoamento da região) e demanda (evapotranspiração diária de áreas plantadas), e cenário com aumento de 20% de áreas plantadas.

Relações entre nível de águas subterrâneas e déficit hídrico, precipitação e vazão de rios

A evolução temporal diária do déficit hídrico apresentado na seção anterior é refletida no nível das águas subterrâneas (Fig. 4). Períodos com maior (menor) déficit hídrico são relacionados aos períodos com menor (maior) nível d'água, indicando que a metodologia proposta por Etienne et al. (2016) é interessante para explicar a dinâmica de águas subterrâneas na região. O déficit hídrico é calculado como um balanço entre precipitação e evapotranspiração de áreas plantadas, e em regiões majoritariamente agrícolas como a bacia de Santa Maria/RS esta interpretação é de fato coerente. Apesar de ocorrer outras retiradas de água para abastecimento humano, o uso de água é principalmente para irrigação.

O posto piezométrico Azevedo Sodré utilizado neste estudo está localizado próximo ao rio Cacequi em depósito aluvionar, de tal forma que o regime do nível d'água reflete a dinâmica das vazões mensais do rio (Fig. 5). Uma relação não tão clara ocorre com o regime pluviométrico da região (Fig. 6), o que pode ser explicado (i) pela não-linearidade de processos de recarga de águas subterrâneas e (ii) pela retirada de água para uso agrícola.

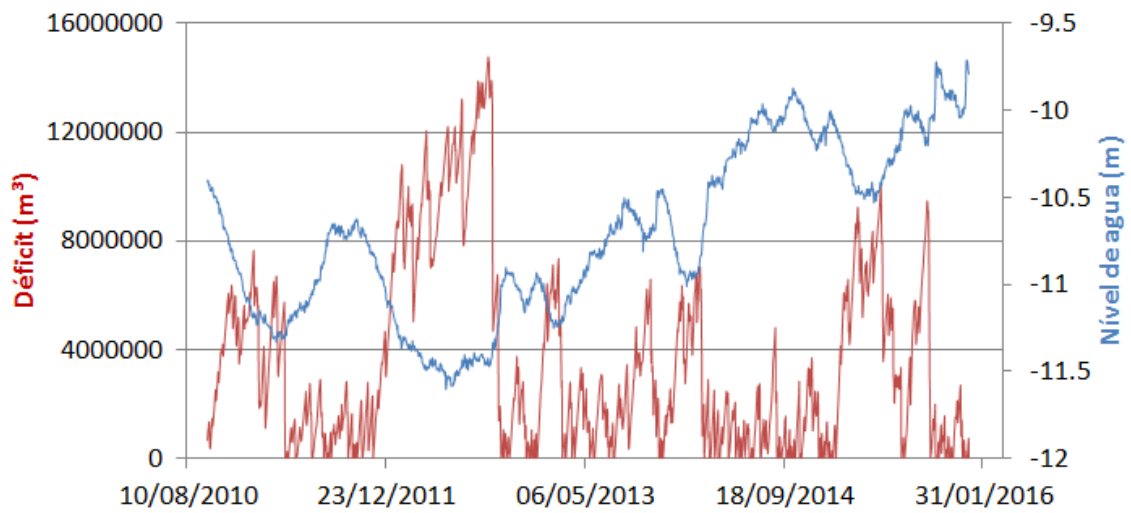


Figura 4. Série de déficit acumulado (vermelho) e nível d'água (azul) para o período de 01/10/2010 a 30/12/2015.

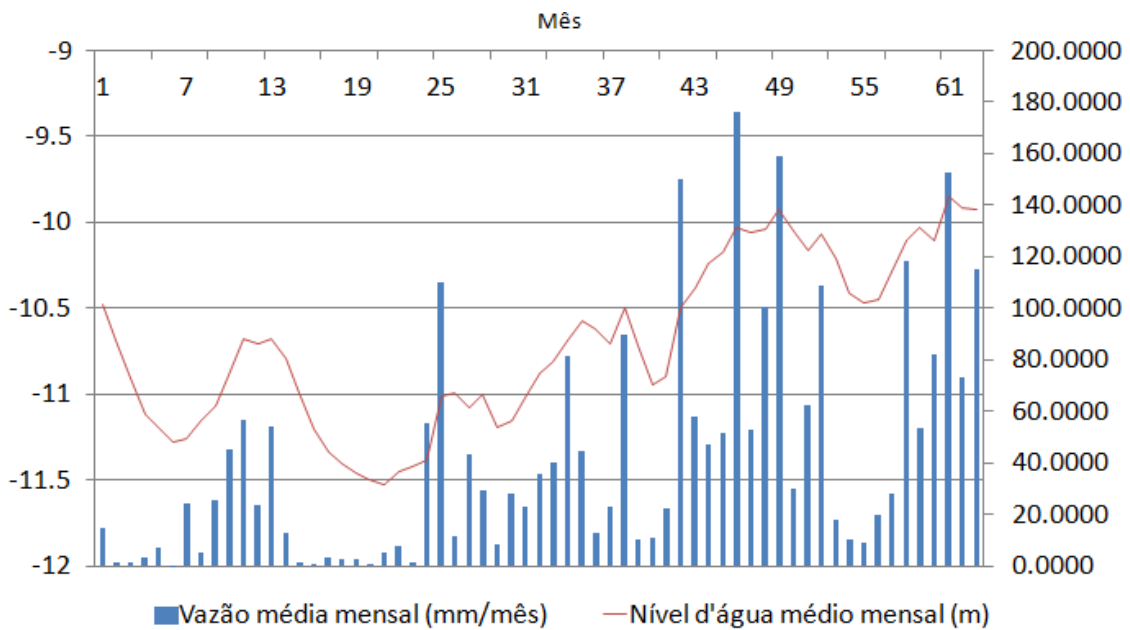


Figura 5. Séries mensais de vazão e nível d'água médio.

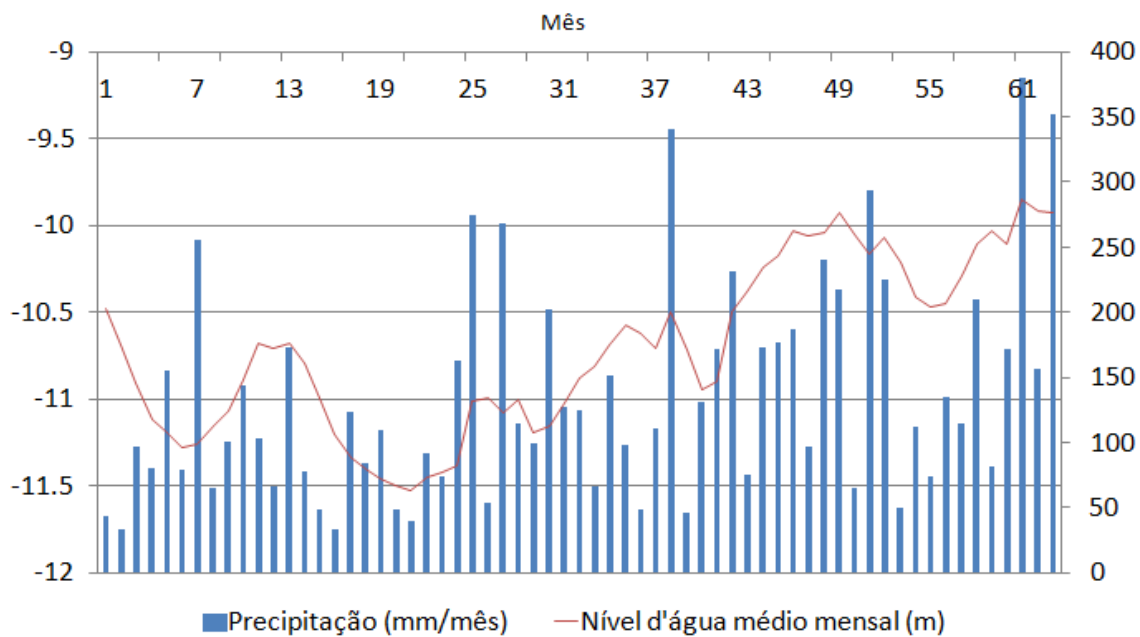


Figura 6. Séries mensais de precipitação e nível d'água médio.

Variações inter-anuais

As Figuras 7a e 7b apresentam a variação entre os anos de 2011 e 2015 do nível d'água médio e da precipitação anual na região. Por sua vez, o déficit hídrico (volumétrico) é convertido no índice adimensional DSDI (Demand Sensitive Drought Index) pela normalização com o volume precipitado (Fig. 7c). Por fim, a Figura 7d apresenta o aumento das áreas plantadas na região que ocorreu ao longo do período analisado.

Os valores de DSDI foram relativamente baixos em todos os anos, atingindo um máximo no ano seco de 2012 (valor de 0.17), que ainda assim é classificado como um ano com índice muito baixo de acordo com valores de Etienne et al. (2016). Segundo os autores, valores desta magnitude ocorrem em regiões onde o aporte de água recebido na região é suficiente para cobrir o déficit hídrico existente. Em um cenário de aumento de 20% da área plantada, como apresentado no início da seção de “Resultados”, o índice DSDI atingiria em 2012 um valor superior a 0.3, o qual seria então classificado como um índice baixo.

A variação inter-anual do nível d'água médio (Fig. 7a) é coerente com a variação da precipitação anual (Fig. 7b) e do índice DSDI (Fig. 7c). Anos mais chuvosos tendem a apresentar níveis maiores e menor déficit hídrico. O ano seco de 2012 é também evidente nos três gráficos. Por outro lado, salienta-se que apesar de na escala anual o nível d'água e a precipitação estarem relacionados, na escala mensal (Fig. 6) ou mesmo diária esta relação torna-se pouco evidente. A

relação do nível com o índice DSDI, no entanto, é manifesta mesmo na escala diária (Fig. 4), refletindo o balanço entre precipitação e retiradas para irrigação na definição do nível.

Os resultados obtidos com o cálculo de déficit acumulado mostraram-se interessantes para a avaliação de susceptibilidade de águas subterrâneas a eventos de stress hídrico devido à retirada de águas para uso agrícola.

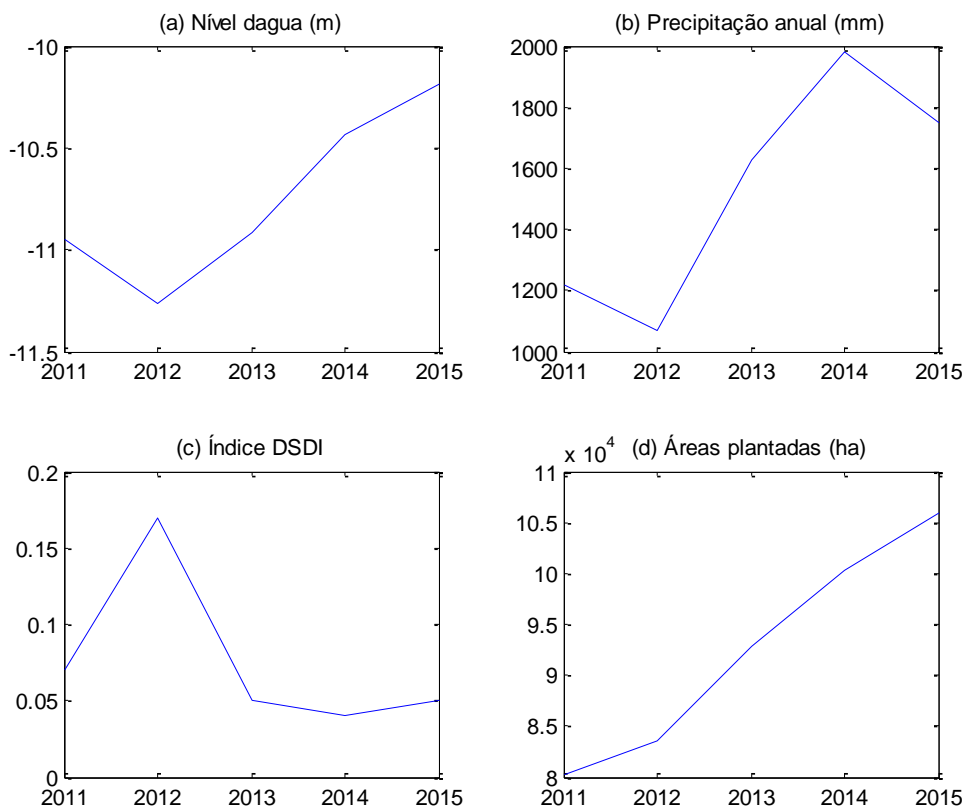


Figura 7. Variação inter-anual de (a) nível d'água médio (m), (b) precipitação (mm/ano), (c) índice DSDI e (d) áreas plantadas na bacia (ha).

CONCLUSÕES

O Índice de Seca Sensitivo à Demanda se mostrou um método rápido e relativamente simples para a caracterização de secas, necessitando de informações que são facilmente obtidos. A partir da DSDI foi possível avaliar a influência das demandas hídricas agrícolas na região da Bacia do Rio Santa Maria, bem como seus impactos na água subterrânea.

O DSDI apresentou relação com as demandas hídricas e com as precipitações (disponibilidades) na região estudada, sendo evidenciado o déficit hídrico que ocorreu no ano de

2012 (DSDI = 0.17). Foi simulado um cenário de aumento na demanda hídrica (aumento na área plantada em 20%), o que ocasionou um agravamento do índice de seca (DSDI = 0.30).

O índice de seca também foi relacionado com o nível d'água em um posto piezométrico do RIMAS, localizado na região de estudo; foi possível observar que períodos com maior déficit hídricos estavam associados a períodos de menor nível d'água, ou seja, maior rebaixamento do lençol freático.

REFÊRENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Caderno da Região Hidrográfica – Uruguai**. Brasília/DF, 132 p., 2006.

COMPANHIA DE PESQUISA EM RECURSOS MINEIRAIS – CPRM. **Mapa Geológico do Rio Grande do Sul, escala 1:750.000**. Serviço Geológico Brasileiro, 2007.

COMPANHIA DE PESQUISA EM RECURSOS MINEIRAIS – CPRM. **RIMAS - Rede Integrada de Monitoramento de Água Subterrânea**. Serviço Geológico Brasileiro, 2016.

ETIENNE, E., DEVINENI, N., KHANBILVARDI, R., LALL, U., 2016. **Development Of A Demand Sensitive Drought Index And Its Application For Agriculture Over The Conterminous United States**. Journal Of Hydrology, vol. 534, P. 219-229.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. Single Crop Coefficient - Kc. FAO, 2016

HERRÁIZ, A.D. **La Importancia de las Aguas Subterráneas**. Revista Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, vol. 103, nº. 1, p 97-114, 2009.

HO, M., PARTHASARATHY, V., ETIENNE, E. RUSSO, T.A., DEVINENI, N., LALL, U., 2016. **America's Water: Agricultural Water Demands And The Reponse Of Groundwater**. Geophysical Research Letters, 10.1002/2016GL069797.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA ESTATÍSTICA. **Cidades, Banco De Cados**. IBGE, 2016

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Banco **De Dados Meteorológicos De Estudos E Pesquisas**. INMET, 2016.

SILVA, F. C. **Análise Integrada De Usos De Água Superficial E Subterrânea Em Macro-Escala Numa Bacia Hidrográfica: O Caso Do Alto Rio Parnaíba**. Dissertação de Mestrado, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 188p, 2007.