



Mapeamento de risco de sodificação de solos em microbacia hidrográfica no Rio Grande do Sul

Sodification risk mapping of soils in micro watershed in Rio Grande do Sul

Thiago Boeno Patricio Luiz¹; José Luiz Silvério da Silva²; Thomas Schröder³; Leônidas Luiz Volcato Descovi Filho⁴

Resumo: Atualmente, o uso de águas subterrâneas para fins de irrigação tem se tornado uma constante em muitas bacias hidrográficas brasileiras. Contudo, a utilização de águas com alto teor de sódio pode trazer uma série de prejuízos para os solos agrícolas, especialmente aos mais argilosos e com drenagem deficiente. A pesquisa objetivou avaliar o risco de sodificação dos solos da microbacia hidrográfica do Lajeado Erval Novo com a introdução de águas subterrâneas para atividades de irrigação. Para tanto, aplicou-se um modelo quali-quantitativo para cruzar informações das concentrações salinas da água subterrânea de 14 poços tubulares localizados na região com características geomorfológicas da microbacia. Para avaliação do teor de sódio das águas subterrâneas utilizou-se o índice de Relação de Adsorção de Sódio (RAS) como indicador da porcentagem de sódio contido em água que pode ser adsorvido pelo solo. Esse indicador aliado ao mapeamento em Sistema de Informação Geográfica (SIG) das características de declividade e tipo de solo forneceram um diagnóstico do risco de salinização do solo em diferentes partes da microbacia. Como resultado, evidenciou-se o elevado risco de sodificação na porção sul da microbacia ao utilizar águas para irrigação classificadas com índice RAS alto (>18) e muito alto (>26). Estudos desta natureza visam contribuir para o levantamento de informações de interesse para a realização de práticas mais sustentáveis na agricultura, objetivando o uso dos recursos hídricos na região, servindo de contribuição para as políticas públicas do setor.

Palavras-chave: Lajeado Erval Novo; Modelo quali-quantitativo; Relação de Adsorção de Sódio.

Abstract: Currently, the use of groundwater for irrigation purposes has become a constant in many Brazilian watershed. However, the use of water with high sodium content can bring a lot of damage to agricultural soils, especially the clay soils and with poor drainage. The research aimed to evaluate the sodification risk of Lajeado Erval Novo watershed with the introduction of groundwater for irrigation activities. Therefore, was applied a quali-quantitative model to crosscheck the salts concentration information of groundwater from 14 wells located in the region with geomorphological characteristics of the basin. To evaluate the sodium content of groundwater was used the Sodium Adsorption Ratio (SAR) index as an indicator of the percentage of sodium content in water which can be adsorbed by soil. These indicators combined with mapping Geographic Information System (GIS) of slope characteristics and soil type provided an assessment of the risk of soil salinization in different parts of the basin. As a result, it was evidenced the high risk sodification in southern portion using water for irrigation classified with high SAR index (>18) and very high (>26). Studies of this nature aim to contribute to collection information of interest to achievement of more sustainable practices in agriculture, aiming the strategic use of water resources in the region, serving as a contribution to public sector policies.

Key words: Lajeado Erval Novo, Qualitative-quantitative model, Sodium Adsorption Ratio.

*Autor para correspondência

Recebido para publicação em 10/08/2016; aprovado em 20/02/2016

¹ Engenheiro Sanitarista e Ambiental, Mestrando na área de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS, Tel. (51) 9227 3370, e-mail: thiagoboeno@hotmail.com.

² Geólogo, Doutor em Geologia e Professor titular do Departamento de Geociências, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), e-mail: silveriouflsm@gmail.com.

³ Engenheiro Florestal, Doutor em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), e-mail: thomaschroder@gmail.com.

⁴ Geógrafo, Doutor em Geografia, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), e-mail: leonprs@gmail.com.



INTRODUÇÃO

No atual contexto de crise hídrica, a busca por novos mananciais de água para consumo e usos não consuntivos torna-se cada vez maior nos municípios brasileiros. A utilização de águas subterrâneas para a prática de irrigação é uma alternativa ao uso dos mananciais superficiais, contudo, em muitos casos, os teores salinos dessas águas inviabilizam o seu emprego, podendo elevar o risco de salinização dos solos.

O processo de salinização é considerado como o acúmulo excessivo de sais minerais nos solos, podendo ocorrer naturalmente em distintas áreas da superfície terrestre, onde as ações humanas podem intensificar ou até mesmo ocasionar esse fenômeno. Esse problema vem se acentuando em várias partes do mundo, podendo agravar processos de infertilidade e conseqüente abandono de áreas agrícolas. Estimativas da Food and Agriculture Organization (FAO) apontam que aproximadamente 50% dos 250 milhões de hectares irrigados no mundo apresentam problemas de salinização e 10 milhões de hectares são abandonados anualmente em virtude desse problema (FAO, 1995).

Geralmente métodos incorretos de irrigação na agricultura tendem a agravar esse processo. Para um manejo adequado do solo de modo a se evitar a sua salinização devido à irrigação, deve-se atentar para o balanço de sais do sistema, procurando manter o fluxo equilibrado de entradas e saídas. As entradas são os sais que são fornecidos ao solo através da irrigação, adubação e precipitação e as saídas podem ser encaradas como as quantidades que são retiradas através das drenagens e escoamento subsuperficial. De acordo com Pedrotti et al., (2015) uma área pode permanecer salinizada durante muito tempo, a níveis baixos ou moderados de salinidade, sem que o problema seja detectado.

Assim, solos com baixas condutividades hidráulicas e mal drenados tendem a concentrar mais sais, ao contrário de solos bem drenados que permitem uma maior lixiviação, que são levados para as camadas mais profundas atingindo as águas subterrâneas, onde podem concentrar-se em níveis mais elevados.

Um dos principais elementos das águas subterrâneas, que quando em excesso, é considerado nocivo ao desenvolvimento da vegetação é o sódio. O sódio é um elemento considerado comum na crosta terrestre constituindo um dos metais alcalinos mais importantes e abundantes nas águas subterrâneas, sendo um dos principais responsáveis pela salinização de solos, pois esse cátion provoca a diminuição da infiltração em solos argilosos pelo seu alto efeito dispersante. (CAUDURO; DORFMAN, 1988). De acordo com Santos (2008), esse elemento pode ser encontrado em concentrações variadas que oscilam entre 0,1 a 100,0 mg/L nas águas subterrâneas, 1,0 a 150,0 mg/L em águas naturais doces podendo chegar até 11.100 mg/L nos oceanos.

A quantidade de sódio prejudicial para irrigação depende dos teores conjuntos de cálcio e magnésio, pois esses elementos agem no processo de troca catiônica, influenciando no sentido de deslocar o sódio contido no solo. Quando presente em concentrações elevadas nas águas de irrigação, o sódio pode ser adsorvido pelas argilas levando a uma série de problemas como a diminuição da sua permeabilidade e perdas da sua capacidade de fertilização. A sodificação do solo pode afetar a germinação e o desenvolvimento vegetativo das plantas, reduzindo suas produtividades ou até inviabilizando a

produção. A tolerância dos vegetais à salinidade é bastante variável, havendo vegetais que se desenvolvem bem em ambientes salinizados, e outros que são mais intolerantes, mesmo em pequenas concentrações.

Cordeiro (2001) afirma que os esquemas de análises estabelecidos para avaliação da salinidade da água são, geralmente, empíricos e baseados em características da água, do ambiente e da fisiologia das plantas. Contudo, com este trabalho objetivou avaliar o risco de sodificação dos solos da microbacia hidrográfica do Lajeado Erval Novo (RS) com a introdução de águas subterrâneas para atividades de irrigação.

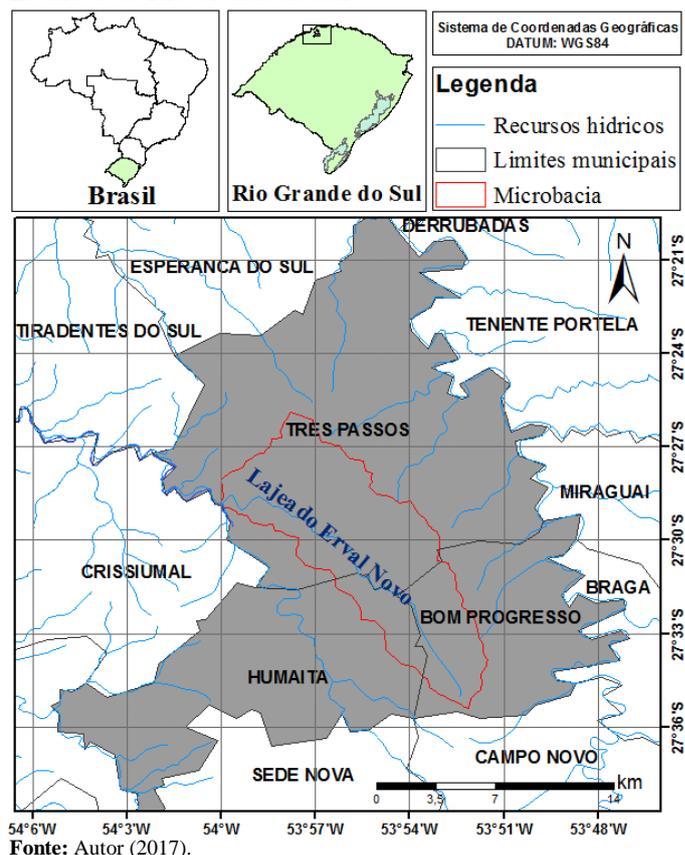
MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área de estudo

A microbacia hidrográfica do Lajeado Erval Novo localiza-se na Região Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (Figura 1), no Planalto Meridional Brasileiro, entre os municípios de Três Passos, Humaitá e Bom Progresso. Faz parte da Bacia Hidrográfica dos Rios Turvo, Santa Rosa e Santo Cristo (U030) (SEMA, 2005), possuindo uma área de aproximadamente 97,14 km².

O clima, é caracterizado pela classificação de Köppen como subtropical úmido, tipo Cfa, com a presença bem definida das estações do ano (ALVARES et al., 2013). Na microbacia hidrográfica destacam-se a produção agropecuária, com predomínio da suinocultura e produção agrícola de culturas anuais, como milho e soja.

Figura 1. Localização da microbacia hidrográfica do Lajeado Erval Novo. Rio Grande do Sul

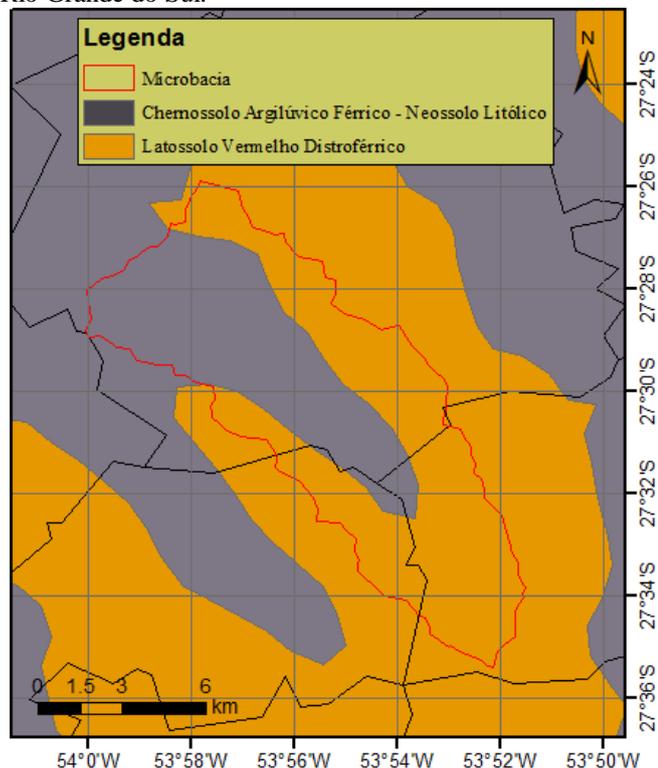


A microbacia hidrográfica do Lajeado Erval Novo está localizada na região geomorfológica da bacia Sedimentar do Paraná, apresentando aquíferos fraturados com características

confinadas oriundas das rochas vulcânicas do Sistema Aquífero Serra Geral (MACHADO; FREITAS, 2005).

Os tipos de solos encontrados na microbacia, segundo o mapa de solos do Rio Grande do Sul desenvolvido pela EMATER/ASCAR (2007), foram diagnosticados como Latossolos Vermelhos nas áreas mais altas e uma associação de Chernossolo Argilúvico e Neossolo Litólico nas áreas mais baixas (Figura 2), o que foi confirmado pelo modelo de elevação extraído de imagens SRTM (Shuttle Radar Topography Mission).

Figura 2. Mapa dos tipos de solos da região onde está localizada a microbacia hidrográfica do Lajeado Erval Novo, Rio Grande do Sul.



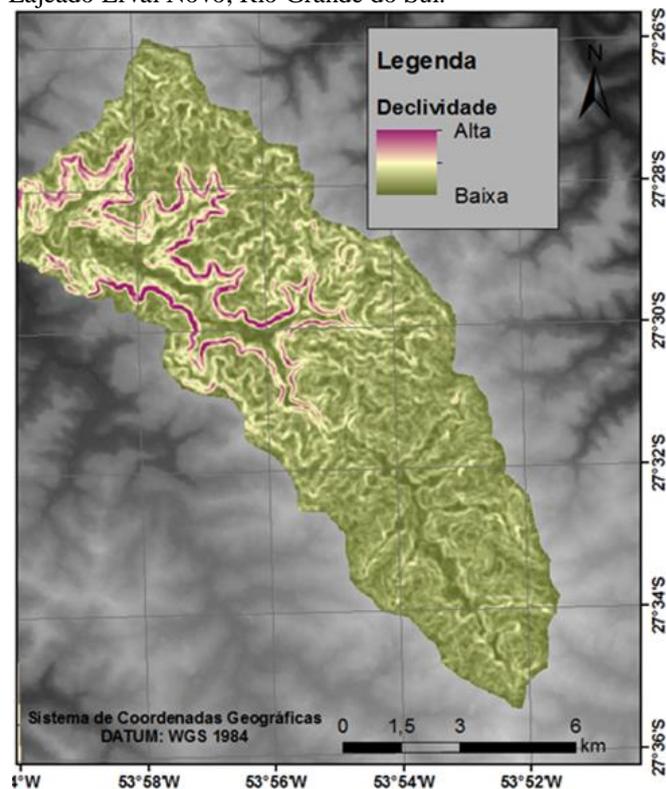
Fonte: EMATER (2007)

Na microbacia, os Latossolos apresentam cores vermelhas acentuadas devido aos altos teores de óxidos de ferro gerados pela intemperização do material originário, com textura e estrutura uniformes em profundidade. Trata-se de solos profundos e bem drenados, contudo, possuem elevado teor de argila (mais de 60%) o que configura uma maior propensão à Sodificação desse solo. Já a associação formada por Chernossolo Argilúvico e Neossolo Litólico, é caracterizada por serem solos pouco desenvolvidos, com elevada pedregosidade e pequena profundidade, conformando solos com menor probabilidade de sodificação.

O grau de declive do terreno exerce influência direta sobre a drenagem superficial, pois, quanto maior seu gradiente, maior será a intensidade de escoamento das águas por efeito da gravidade. Para avaliação da drenagem, utilizou-se um Modelo Numérico do Terreno (MNT) por meio de imagens SRTM com resolução espacial de 30 metros. Foram estabelecidas classes de declive para a variável drenagem, divididas em quatro níveis, onde foi considerada as condições de escoamento, sendo os terrenos com declividades mais altas considerados com melhores condições de drenagem, e

terrenos mais planos considerados mais susceptíveis ao risco de salinização. (Figura 3).

Figura 3. Declividades da microbacia hidrográfica do Lajeado Erval Novo, Rio Grande do Sul.



Fonte: Autor (2017)

Dessa forma, as declividades da microbacia foram utilizadas como um dos critérios para indicar as áreas com menores propensões ao risco de sodificação, e, portanto, com melhores condições para a lixiviação dos sais.

Levantamento de dados físico-químicos das águas subterrâneas

Através de consulta ao banco de dados do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS) do Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2015), foram inventariadas informações físico-químicas de poços tubulares perfurados dentro da microbacia hidrográfica e região ao entorno. No total, levantaram-se 14 poços (Tabela 1) com dados suficientes para a elaboração do diagrama de salinidade e posterior processamento em SIG.

Todas as análises de qualidade das águas subterrâneas avaliadas são oriundas do Sistema Aquífero Serra Geral (MACHADO; FREITAS, 2005), onde a matriz constituinte principal desses aquíferos são basaltos com características fraturadas, originários de vulcanismo fissural típicos do planalto rio-grandense e capeadas por espesso solo avermelhado. Os autores avaliaram que as ocorrências de águas subterrâneas sódicas nessas regiões são provavelmente provenientes de porções do aquífero influenciadas por águas ascendentes do Sistema Aquífero Guarani.

Através dos dados inventariados e com o intuito de avaliar-se o conteúdo de sais dessas águas, utiliza-se, geralmente, diagramas de salinidade. Para este estudo, foi empregado o diagrama de salinidade desenvolvido pelo United States Salinity Laboratory (USSL).

Tabela 1. Dados físico-químicos das águas subterrâneas dos poços tubulares da região onde está localizada a microbacia hidrográfica do Lajeado Erval Novo, Rio Grande do Sul

Cadastro SIAGAS	Na ⁺ (mg/l)	Ca ⁺² (mg/l)	Mg ⁺² (mg/l)	Condutividade elétrica (µs/cm)	Município
4300021556	58,00	9,00	2,00	250,00	Três passos
4300022874	43,00	10,00	5,10	257,40	Três passos
4300022875	74,00	2,00	0,50	308,00	Três passos
4300022922	92,00	0,30	0,10	367,00	Três passos
4300023327	49,00	9,00	3,00	277,00	Três passos
4300023901	83,00	3,00	0,51	419,00	Bom progresso
4300024152	127,00	<L.D.*	0,73	717,00	Bom progresso
4300022726	4,00	11,00	4,00	108,20	Bom progresso
4300024153	18,00	9,10	1,60	135,70	Bom progresso
4300024154	6,00	26,00	8,00	235,40	Bom progresso
4300022621	56,00	<L.D.*	0,30	273,00	Humaitá
4300022622	57,00	<L.D.*	0,40	257,00	Humaitá
4300022924	14,00	31,00	10,00	278,00	Humaitá
4300022730	68,00	1,00	0,60	320,00	Braga

* L.D. - Limite de Detecção.

Fonte: SIAGAS/CPRM (2016).

O diagrama de salinidade (USSL) é mundialmente usado para determinar a adequabilidade do uso da água para agricultura (CORDEIRO, 2001; SANTOS, 2008). O diagrama fornece o processamento gráfico das relações hidroquímicas, plotados em um diagrama entre o índice RAS e as condutividades elétricas medidas em µS/cm, classificando as águas em classes. Ao todo, são 16 classes de água identificadas pelas letras C e S onde a água com melhor classe é caracterizada como C1S1 e a mais prejudicial à planta e ao solo (devido ao elevado risco de salinização) é a classe C4S4. (CAUDURO; DORFMAN, 1988)

O índice RAS é um dos métodos mais empregados para se avaliar o perigo (risco) de sodificação de um solo, o qual depende da proporção de sódio e os constituintes cálcio e magnésio. (CAUDURO; DORFMAN, 1988). O índice RAS pode ser calculado por meio das concentrações dos íons pela seguinte fórmula, expressa em unidade de miliequivalentes/Litro, onde:

$$RAS = \frac{Na}{\frac{(Ca + Mg)^{1/2}}{2}}$$

As classificações quanto ao risco de sodificação para as águas são consideradas de risco baixo (SAR <10), risco médio (SAR entre 10 e 18), risco alto (SAR entre 18 a 26) e risco muito alto (SAR >26). Todavia, esta relação expressa somente a atividade relativa dos íons de sódio em reações de intercâmbio catiônico com o solo. Águas com alto conteúdo de sais também são prejudiciais, mesmo que a relação SAR seja baixa (CORDEIRO, 2001). O índice reflete o risco à sodificação e não à salinidade total, cada caso deve ser avaliado em sua totalidade conforme características da água subterrânea e do solo.

Salienta-se que das análises inventariadas de água subterrânea em poços tubulares, algumas apresentaram teores de fluoreto (F) acima do Valor Máximo Permissível (VMP) de 1,0 mg/L para irrigação segundo a Resolução do CONAMA n. 396/2008 (BRASIL, 2008). Concentrações acima desse valor são consideradas tóxicas, podendo ocasionar deficiência para o crescimento vegetal. Estudos realizados por Nanni (2008) no planalto meridional do Rio

Grande do Sul apontam a associação de águas bicarbonatadas sódicas com o elemento flúor na água subterrânea da região, mostrando correlações positivas entre o aumento de sódio com esse elemento.

Modelo quali-quantitativo utilizado

A fim de mapear áreas com maior risco à sodificação, executou-se o processamento das informações levantadas somando-se as variáveis diagnosticadas em forma de mapas com iguais porcentagens de influência. Para cada atributo de variável, atribuiu-se uma nota entre 0 a 100 (Tabela 2) baseada na característica intrínseca do atributo em contribuir para a sodificação e/ou salinização do solo.

Tabela 2. Variáveis e atributos selecionados para estruturação do modelo quali-quantitativo.

Variáveis	Atributos	Nota
Tipo de Solo 33,33%	Latossolo-vermelho	75
	Neossolo-Chernossolo	50
Declividade 33,33%	0 – 6°	100
	6 – 12°	75
	12 – 20°	50
	20 – 31,6°	1
Índice RAS 33,34%	Baixo	1
	Médio	50
	Alto	75
	Muito alto	100

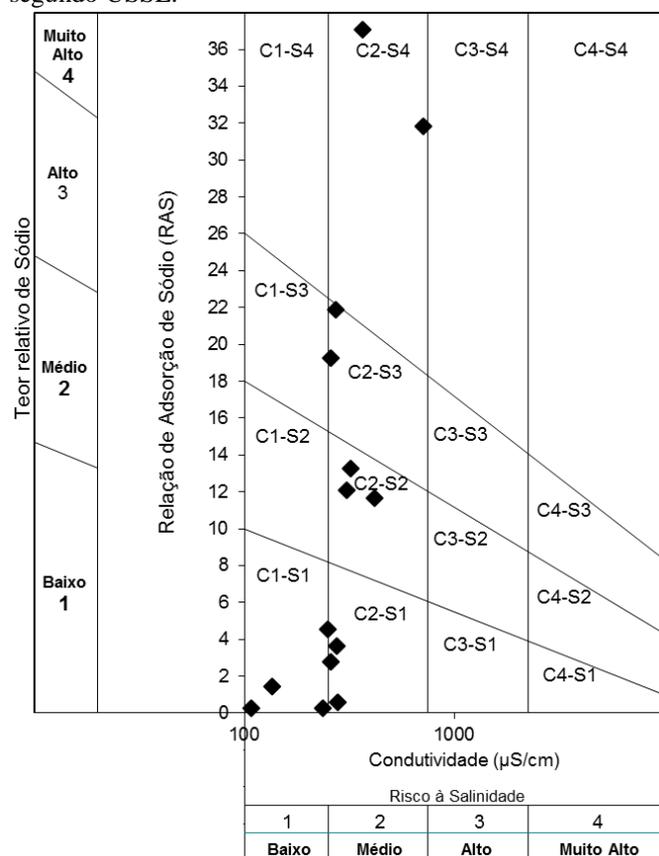
A estruturação do modelo deu-se em ambiente SIG por meio da soma de pixel a pixel das diferentes variáveis transformadas em raster e sobrepostas umas às outras, projetados em um mesmo DATUM de referência. Cabe ressaltar que as resoluções espaciais das imagens de entrada utilizadas no processamento das informações levantadas foram de 30 metros por pixel.

Dessa forma, a aplicação do modelo permitiu o cruzamento das informações para o mapeamento das áreas que possuem maior risco à sodificação dos solos por uso de água subterrânea para irrigação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De posse dos dados, procedeu-se a avaliação do risco de salinização das águas subterrâneas dos poços tubulares cadastrados junto ao SIAGAS. Através dos dados físico-químicos foi possível realizar a construção do diagrama de salinidade, que estabelece o risco devido à sodificação pelo índice RAS e o risco à salinidade total, estimado pela condutividade elétrica da água medidas em $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Figura 4).

Figura 4. Diagrama para classificação de águas para irrigação segundo USSL.



Fonte: Autor (2017)

Por intermédio do diagrama de salinidade foi possível constatar a distribuição do índice RAS e risco à salinidade total, avaliando-se o risco potencial para cada tipo de água.

Tomando-se como base o critério de risco de sodificação, de acordo com o diagrama, constatou-se dois poços que apresentam índice RAS muito alto (>26), localizados no município de Três Passos fora da microbacia e no município de Bom Progresso, dentro da microbacia. Essas águas são consideradas inadequadas para irrigação, onde o risco à sodificação de solos é muito alto, uma vez que a proporção de sódio em relação aos minerais de cálcio e magnésio são baixas. Ressalta-se que águas com elevados teores de sódio podem vir a conter outros íons associados, que quando em excesso, podem ser prejudiciais ao desenvolvimento de plantas como o fluoreto ou o boro.

Outras duas análises localizadas fora da microbacia nos municípios de Humaitá foram considerados com RAS altos (>18). Águas com altos teores de sódio classificadas como S3 podem produzir níveis tóxicos de sódio trocável em muitos solos. O emprego dessas águas para irrigação requer a utilização de práticas especiais de manejo da água aliadas a

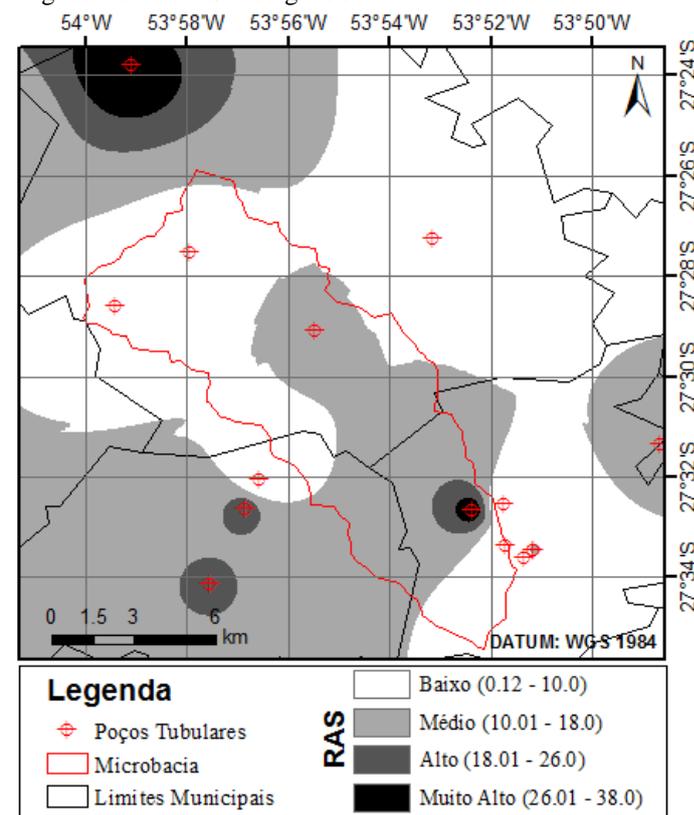
um eficiente sistema de drenagem. (CAUDURO; DORFMAN, 1988).

Freire et al. (2003) advertem a respeito da necessidade de obter-se um controle criterioso das águas de irrigação com baixa condutividade elétrica e relação de adsorção de sódio mais elevada, visto que nesse processo é favorecido a dispersão dos colóides possibilitando a impermeabilização dos solos.

O restante das análises ficou entre risco baixo e médio, distribuídas entre as classes C1-S1, C2-S1 e C2-S2, configurando águas com melhor qualidade para irrigação. Quanto à salinidade total, evidenciaram-se águas com baixo e médio risco visto que são águas com condutividades elétricas relativamente baixas ($<750\mu\text{S}/\text{cm}$).

Essas informações, aliadas ao conhecimento geográfico das captações de água foram espacializadas em SIG por meio de uma interpolação dos dados do índice RAS (Figura 5).

Figura 5. Mapa interpolado com localização dos poços e diagnóstico da RAS das águas subterrâneas.

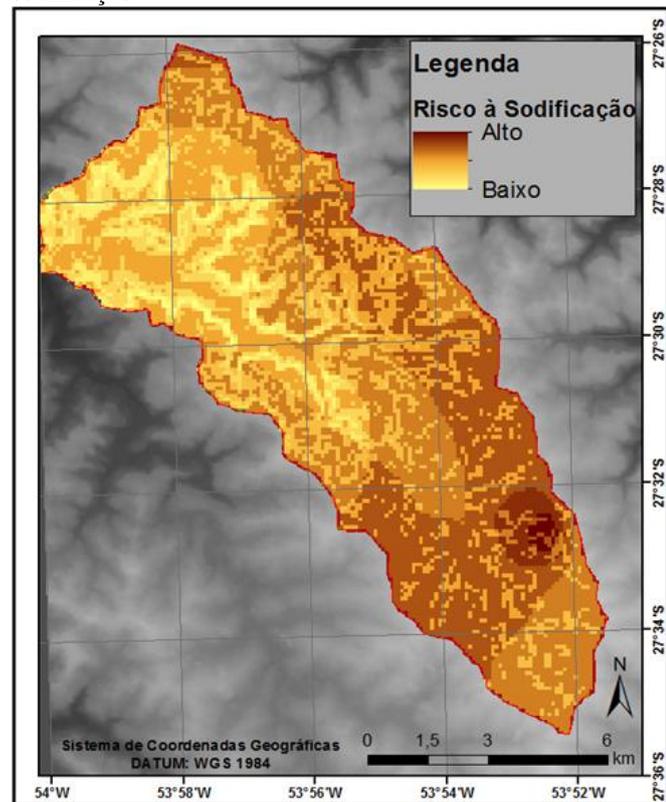


Fonte: Autor (2017)

Utilizou-se o interpolador de Ponderação pelo Inverso da Distância (IDW) a fim de obter a influência de um ponto relativo a outro. O intuito foi ressaltar a distribuição do índice RAS na microbacia e fornecer uma orientação para a observação dos distintos tipos de água em caso de utilização de seus recursos para fins de irrigação.

De posse das principais variáveis geomorfológicas e físico-químicas das águas que interferem nos aspectos referentes à possibilidade de sodificação do solo na microbacia, construiu-se uma representação desse risco em mapa (Figura 6), através do modelo proposto, somando-as pixel a pixel utilizando pesos iguais entre as variáveis.

Figura 6. Mapa com diagnóstico das áreas com risco à sodificação.



Fonte: Autor (2017)

O diagnóstico das áreas com risco à sodificação por uso de água subterrânea para irrigação fica evidenciado principalmente na porção sul da microbacia hidrográfica. Considerando que o uso da água subterrânea para a atividade de agricultura é fortemente dependente da salinidade e de fatores condicionantes do solo como a permeabilidade e as condições de drenagem, observa-se que o modelo apresenta distintas respostas à introdução de águas subterrâneas para irrigação, corroborando para tomadas de decisão e aplicações de políticas públicas em parte da Bacia Hidrográfica dos rios Turvo, Santa Rosa e Santo Cristo.

CONCLUSÕES

As áreas mais planas localizadas ao sul da microbacia e pertencentes aos Latossolos Vermelhos são mais propensas ao risco de sodificação, enquanto que na porção norte favorecem a lixiviação dos sais, e, conseqüente menor risco à sodificação nessa porção. A associação de Neossolo-Chernossolo que são solos pouco profundos, considerados ainda jovens e bastante permeáveis, aliados a áreas mais declivosas foram os fatores que mais contribuíram para a diminuição de risco à sodificação nesta porção.

REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES, G.; LEONARDO, J.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n.6, p.711-728. 2013.

BRASIL. Resolução CONAMA n° 396, de 3 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais

para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. *Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, abr. 2008.*

CAUDURO, F. A., DORFMAN, R. Manual de ensaios de laboratório e de campo para irrigação e drenagem. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas/UFRGS. 1988. 216p.

CORDEIRO, G. G. Qualidade da água para fins de irrigação (Conceitos básicos e práticos). Embrapa: Petrolina, PE. 2001.

CPRM. COMPANHIA DE PESQUISA EM RECURSOS MINERAIS. 2015. Sistema de Informações de Águas Subterrâneas. Banco de dados dos poços cadastrados. Disponível em: <<http://siagasweb.cprm.gov.br>>. Acesso em setembro de 2015.

EMATER. EMPRESA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL. Mapa de solos do Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: EMATER/ASCAR, 2007.

ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL/SEMA. Secretaria Estadual de Meio Ambiente. Bacias hidrográficas e municípios do Rio Grande do Sul. Mapa. 2005.

FAO. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. 1995. Planning for sustainable use of land resources: towards a new approach. *FAO Land and Water Bulletin*. 1995.

FREIRE, M. B. D. S., RUIZ, H. A., RIBEIRO, M. R., FERREIRA, P. A., ALVAREZ, V., VÍCTOR, H.; FREIRE, F. J. Estimativa do risco de sodificação de solos de Pernambuco pelo uso de águas salinas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. V. 7, n.2, p.227-232, 2003.

MACHADO, J. L. F.; FREITAS, M. A. Projeto mapa hidrogeológico do Estado do Rio Grande do Sul: escala 1:750.000, relatório final. Porto Alegre: CPRM. 2005.

NANNI, A. S. O flúor em águas do Sistema Aquífero Serra Geral no Rio Grande do Sul: origem e condicionamento geológico. 128 f. Tese (Doutorado em Geociências) – Univ. Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

PEDROTTI, A.; CHAGAS, R. M.; RAMOS, V. C.; DO NASCIMENTO, A. P.; LUCAS, A. A. T. DOS SANTOS, P. B. Causas e conseqüências do processo de salinização dos solos. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, v.19, n.2, p.1308-1324. 2015.

SANTOS, A. C. Noções de Hidroquímica. In: FEITOSA, F. A. C. et al (Org.). *Hidrogeologia: Conceitos e aplicações*. 3 ed. Rio de Janeiro: CPRM; LABHID, 2008. Cap. 5.1, p. 325-357.