

Investigação dos teores de radioelementos (K, U e Th) e seu zoneamento no solo de vinhedos

Investigation of radioelement content (K, U and Th) and their zoning in vineyard soil

Rodrigo Alberti¹, Rosemary Hoff², Ricardo da Cunha Lopes³, Henrique Pauletto⁴

¹ Mestre, Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), Centro Politécnico, São Leopoldo (RS), Brasil, rodrigoalberti.geologia@hotmail.com

² Doutora, Embrapa Uva e Vinho, Bento Gonçalves (RS), Brasil, rose.hoff@embrapa.br

³ Doutor, Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), Centro Politécnico, São Leopoldo (RS), Brasil, ricardo.lopes@unisinos.br

⁴ Engenheiro Cartógrafo, Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), Centro Politécnico, São Leopoldo (RS), Brasil, henriquepauletto_@live.com

RESUMO

O método de espectrometria de raio gama é uma alternativa para medir rapidamente a intensidade da radiação emitida pelos elementos potássio (K), tório (Th) e urânio (U) na superfície do solo e isso pode apoiar outras análises de solo. Os altos conteúdos de K podem ser prejudiciais às videiras, fato que ocorre com frequência em regiões tropicais subtropicais. Além disso, a manutenção de teores desejáveis de matéria orgânica (MO) é difícil em solos arenosos. Esse tipo de solo ocorre em uma área vitícola localizada em Santana do Livramento, Brasil. Assim, foi avaliada a distribuição geográfica dos conteúdos de radioelementos em diferentes tipos de solo e relevo, bem como seu mapeamento dentro dos vinhedos. Utilizando um modelo digital de elevação (DEM) de imagem ALOS, os dados foram interpolados por krigagem, gerando mapas com resolução de cinco metros. Os mapas de conteúdo U, Th e K foram classificados em alto conteúdo, médio conteúdo e baixo conteúdo, bem como a altimetria foi classificada em níveis alto, médio e baixo, sendo ambos os aspectos em relação à área dos vinhedos. O zoneamento mostrou a espectrometria gama como uma alternativa rápida para medir a variabilidade espacial desses radioelementos, o que pode indicar quais vinhedos devem ser monitorados quanto aos teores de potássio e de MO no solo.

Palavras-chave: solo; espectrometria de raios gama; viticultura.

ABSTRACT

The gamma ray spectrometry method is an alternative to quickly measure the intensity of radiation emitted by potassium (K), thorium (Th) and uranium (U) on the soil surface, which can support other soil analyses. High soil K contents can be harmful to vines, a fact that frequently occurs in subtropical tropical regions. Besides, the maintenance of a desirable organic matter level (OM) is difficult in sandy soils. This type of soil occurs in viticultural area located in Santana do Livramento, Brazil. Thus, the geographic distribution of radioelement contents in different types of soil and relief was evaluated, as well as their mapping within the vineyards using the ALOS image digital elevation model. The data were interpolated by kriging, generating maps with a resolution of 5 meters. The U, Th and K content maps were classified into high content, medium content, and low content, as well as the altimetry was classified into high, medium and low levels both in relation to the vineyard area. Zoning showed gamma spectrometry as a quick alternative to measure spatial variations of these radioelements, which can indicate vineyards to be monitored for potassium and OM levels in soil.

Keywords: soil; gamma ray spectrometry; viticulture

<https://doi.org/10.4322/978-65-86819-38-0.1000039>

 Este é um capítulo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que sem fins comerciais, sem alterações e que o trabalho original seja corretamente citado.

1 INTRODUÇÃO

A aplicação de geotecnologias na agricultura de precisão possibilitaria identificar a variabilidade espacial de determinados atributos em áreas cultivadas. Essa variabilidade pode estar associada a diferenças de relevo, vegetação, solo e ao manejo agrícola continuado (Bernardi et al., 2014). No desenvolvimento do solo, os processos de lixiviação e concentração de elementos em diferentes porções de um perfil de solo podem levar à ocorrência de diferentes nutrientes para as plantas cultivadas. O excesso de potássio tem sido identificado como um problema para a produção de suco de uva e vinho em áreas tropicais (Kodur, 2011), influenciando na acidez do produto, o que pode torná-lo de baixa qualidade em relação aos consumidores. Nas áreas com solo arenoso e lixiviado, e com agricultura convencional, como em partes da Campanha Gaúcha, pode ter havido profundas alterações, que podem causar, entre outras coisas, a perda de matéria orgânica (MO) (Sena et al., 2017). O mapeamento da variabilidade espacial desses aspectos pode subsidiar o manejo agrícola, seja pela inferência do teor de potássio do solo pela presença do radioelemento K, seja pela inferência da presença de MO em função da presença dos radioelementos U e Th.

Segundo Dickson e Scott (1997), o fato de o solo cobrir a superfície terrestre torna a relação entre os radioelementos da cobertura superficial e da rocha subjacente muito importante em levantamentos geofísicos. Assim, o método não invasivo de gamaespectrometria foi aplicado para distinguir radioelementos da superfície do solo numa área de vinhedos da Vinícola Almadén, Miolo Wine Group, na Região Vitivinícola da Campanha, Santana do Livramento, Rio Grande do Sul, Brasil. No caso da área estudada, os solos são oriundos de arenitos pobres em elementos radioativos, podendo apresentar diferentes efeitos devido à contaminação do material transportado (Dickson; Scott, 1997). Isto foi mostrado por estudos anteriores, em valores maiores em relação à rocha subjacente, embora os efeitos de intercalação com cama-

das de argila também devam ser levados em consideração (Tabela 1).

Os dados gamaespectrométricos provêm da radiação emitida pelos radioelementos e não representam as quantidades presentes no solo, mas as representam qualitativamente. Este estudo indica apenas a distribuição espacial do potássio como indicativo de partes da área com vinhedos a serem monitoradas por meio de análise química do solo, para subsidiar o manejo das videiras. Da mesma forma, os teores de urânio e tório são indicativos da ocorrência de MO nos solos dos vinhedos, favorecendo o seu manejo.

O objetivo geral deste estudo foi avaliar a distribuição espacial de radioelementos no solo de vinhedos, utilizando o método de espectrometria de raios gama. Os objetivos específicos foram: 1) avaliar a variação espacial nos níveis dos radioelementos U, Th e K; 2) relacionar a distribuição espacial dos radioelementos analisados aos solos mapeados em estudo anterior (Flores et al., 2007); 3) contribuir para o zoneamento dos vinhedos, classificando as zonas de radioelementos em relação ao relevo e indicando as áreas a serem monitoradas em relação ao teor de K e inferindo o teor de MO pelos teores de U e Th.

Apesar de não caracterizar um estudo típico de agricultura de precisão, a variabilidade dos radioelementos pode inferir a variabilidade do solo das parcelas de vinhedos, seja sugerindo teores diferentes de matéria orgânica ou apontando possíveis doenças relacionadas a anomalias de potássio, provando ser uma ferramenta útil no processo de gestão da variabilidade espacial da área sem a necessidade de amostragem e análises destrutivas de solo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram medidos os solos de 115 vinhedos, somando 409,853 hectares, sendo criado um banco de dados em sistema de informações geográficas (SIG), contendo dados vetoriais e *raster* da área de estudo. Os dados vetoriais dos vinhedos foram fornecidos pela viníco-

Tabela 1. Conteúdo de elementos radioativos em rochas sedimentares e seus solos, apresentando valores médios entre parênteses, segundo Dickson e Scott (1997).

Rochas sedimentares	Rocha			Solo		
	K (%)	U (ppm)	Th (ppm)	K (%)	U (ppm)	Th (ppm)
Folhelhos Arqueanos	0,4-1,6 (0,9)	0,3-1,3 (0,9)	1-5 (2,7)	0,8	1,2	3
Outros folhelhos	0,1-4,0 (2,6)	1,6-3,8 (2,6)	10-55 (19)	0,7-3,0 (1,5)	1,2-5 (2,3)	6-19 (13)
Arenito	0,0-5,5 (1,8)	0,7-5,1 (2,3)	4-22 (12)	0,1-2,4 (1,3)	1,2-4,4 (2,1)	7-18 (11)
Carbonatos	0,0-0,5 (0,2)	0,4-2,9 (1,6)	0,0-2,9 (1,4)	-	-	-

la, sendo que a base cartográfica utilizou vetores do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2013).

Foi utilizado o modelo digital de elevação (MDE) da imagem ALOS RT1, com resolução de 12,5 m, sendo produto gerado a partir de dados de RADAR (ALOS PALSAR) com correção radiométrica do terreno (ASF Engineering, 2015).

O processamento das imagens foi realizado no *software* livre QGIS, versão 3.14 (QGIS, 2020). O MDE foi interpolado por krigagem, seguindo as etapas de vetorização em pontos (12,5 em 12,5 m), a fim de gerar uma imagem de cinco metros de resolução, melhorando a visualização dos vinhedos, sem alterar os valores originais da imagem do terreno (Hoff et al., 2017, Junges et al., 2017). A partir do modelo digital de elevação reamostrado, os aspectos da hipsometria foram integrados com imagens classificadas de radioelementos (U, Th e K).

O trabalho de campo foi feito entre julho e agosto de 2018, medindo-se a contagem total (TC), K (%), U (ppm) e Th (ppm) dos isótopos. As medidas foram feitas por espectrômetro de raios gama portátil (Radiation Solutions/Super Spec RS-125) com 1.024 canais espectrais, configurado para registrar contagens por 180 segundos, sendo feitas em contato direto entre o equipamento e o solo, salvando na memória do equipamento. As coordenadas geo-

gráficas foram obtidas por GPS de alta precisão para cada ponto de coleta de dados. Os dados foram obtidos numa grade aproximada de 200 metros na área dos vinhedos, totalizando 259 pontos (Figura 1). As medidas dos radioelementos obtiveram pontos, os quais foram interpolados por krigagem, gerando imagens com resolução de cinco metros, sendo os mapas elaborados também no *software* QGIS 3.14, pela função *layout*.

Os cálculos estatísticos foram baseados em Pimentel Gomes (1985), no *software* Libre Office Calc. Buscando diferenciar as medições aos tipos de solos, foram utilizadas estatísticas descritivas e gráficos comparativos. Foram elaborados mapas de elevação e de radioelementos e parâmetros, visando ao zoneamento de cada vinhedo e às operações aritméticas.

A partir dos mapas de U, Th e K, bem como de altimetria, foram recortados pelos polígonos dos vinhedos, a fim de mostrar a sua variabilidade no solo de cada vinhedo. Isso também pode fornecer os valores, excluindo o que não foi plantado com uvas viníferas, para melhor visualização dentro dos vinhedos.

Os solos da área estudada foram originados a partir de rochas sedimentares, principalmente arenitos de idade mesozoica da Formação Guará (Scherer et al., 2000, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2020). As unidades de solo na área de estudo foram

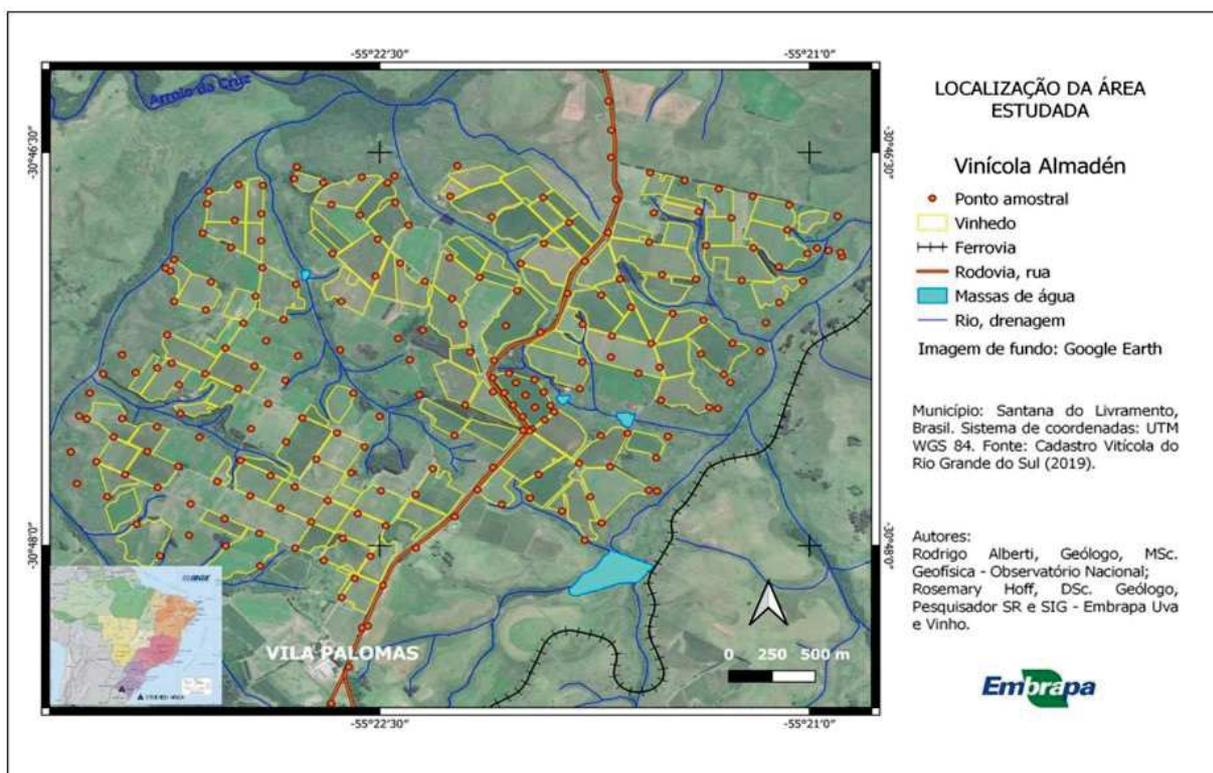


Figura 1. Localização e detalhe da área de estudo e pontos de coleta, Santana do Livramento, Rio Grande do Sul, Brasil. Base cartográfica: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2013).

mapeadas por Flores et al. (2007) na escala 1:50.000, com base no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa 1999), apresentando:

- 1) Alissolos: ocorrem em toda a extensão da área estudada e em menor porção ao sul, constituídos por material mineral, com horizonte B textural ou horizonte B nítico. Podem ter argila com atividade igual ou superior a 20 cmol/kg e alto teor de alumínio extraível, e saturação de alumínio maior que 50% e/ou saturação por bases menor que 50% na maior parte do horizonte B. Podem ter horizontes plínticos, se presentes, não estão acima de B e nem coincidem com a parte superficial do mesmo; horizonte Glei, se presente, inicia-se após 50 cm de profundidade e não coincide com a parte superficial do horizonte B, nem ocorre até este horizonte (Embrapa, 1999);
- 2) Argissolos: distribuídos por toda a área de estudo, principalmente nos terrenos de maior altitude; compostos por material mineral, horizonte B textural imediatamente abaixo de A ou E, baixa atividade argilosa, ou alta argila combinada com baixa saturação por bases, ou caráter lítico na maior parte do horizonte B;
- 3) Planossolos: nas porções nordeste e noroeste da área, nas zonas de menor altitude; compostos por material mineral com horizonte A ou E seguido de horizonte B; por não apresentarem o caráter sódico, perdem a precedência taxonômica para o horizonte plíntico (Embrapa, 2013).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A altitude da área estudada varia de 147 a 229 metros acima do nível do mar, sendo que as altitudes menores se localizam a noroeste, no vale do Arroio da Cruz, e outras a nordeste pelo seu afluente principal. As maiores elevações se situam no centro da área, constituídas por topos de colinas suaves de arenito, coincidindo com os vinhedos. Para uma melhor compreensão da altitude, foi feita uma classificação hipsométrica em três classes, conforme a Figura 2 e a Tabela 2.

As amostras de radioelementos foram classificadas por tipos de solo, conforme o mapeamento de Flores et al. (2007), mostrados na Tabela 3. Foram obtidos parâmetros estatísticos, como média aritmética, mediana, moda, desvio padrão, variância, valores mínimo e máximo. A avaliação da dispersão dos dados do coeficiente de variação deu-se segundo Pimentel Gomes (1985), sendo: menor ou igual a 10%, baixa dispersão; entre 10 e 20%, dispersão mé-

Tabela 2. Hipsometria em vinhedos da Vinícola Almadén, Santana do Livramento, Rio Grande do Sul, Brasil.

Classe de altitude (m)	Área (ha)	Porcentagem (%)
Baixa (147,37 - 175)	50,28	12,31
Média (175 - 200)	238,33	58,32
Alta (200 - 228,62)	120,00	29,37
Total	408,62	100,00

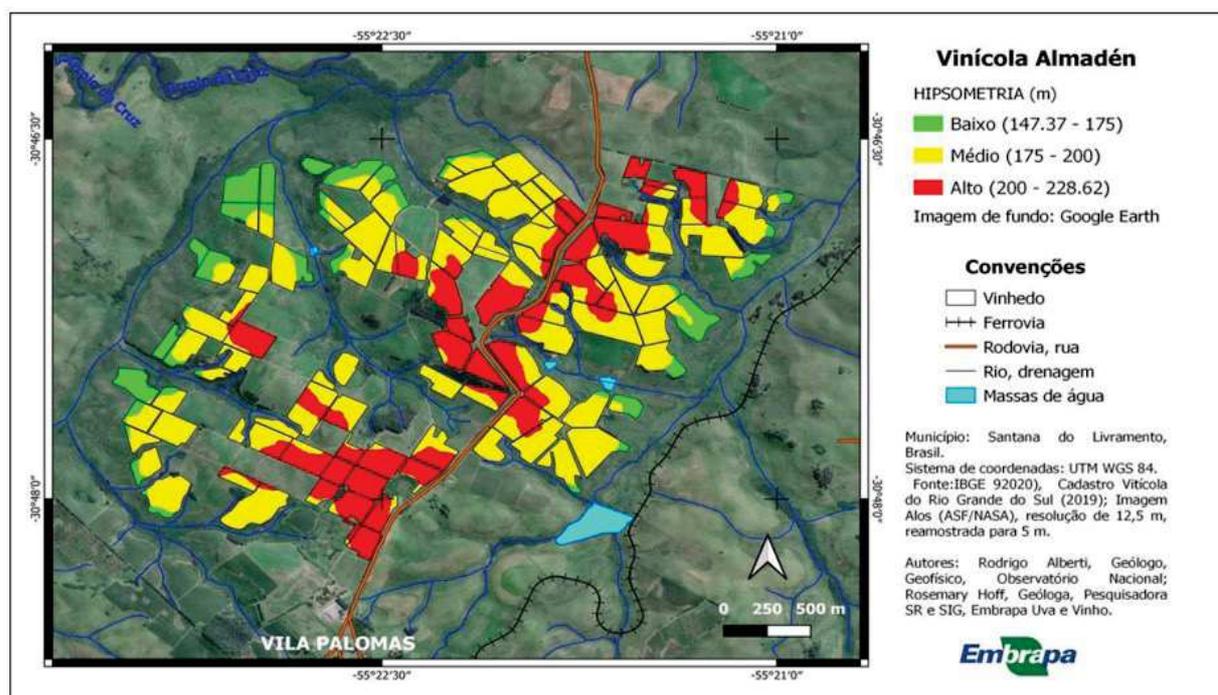


Figura 2. Hipsometria em vinhedos a partir de MDE ALOS (12,5 m de resolução), reamostrada para 5 m. Vinícola Almadén, Santana do Livramento, Rio Grande do Sul, Brasil. Base cartográfica: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2013).

Tabela 3. Distribuição de amostras para cada unidade de solo (Flores et al., 2007), conforme Alberti (2018).

Unidade de mapeamento de solo	n
Alissolo	84
Argissolo	138
Planossolo	37
Total	259

dia; entre 20 e 30%, alta dispersão; mais de 30%, dispersão muito alta.

Os teores de K, Th e U, para as três unidades de solo, apresentaram comportamentos semelhantes e, possivelmente, as variáveis indicam similaridade entre os tipos de solo na área de estudo (Figura 3). A frequência percentual de K (Figura 3A) não foi reclassificada, devido à pequena quantidade de valores diferentes da variável no conjunto amostral. Foi possível verificar a similaridade de comportamento dos Alissolos e Argissolos, com maior percentual de amostras igual a 0% de K. Observou-se nos Argissolos a ocorrência de uma amostra com K igual a 1,9%, o que pode ser considerado um *outlier* do conjunto. A linha de Planossolos indica maior quantidade de amostras com K igual a 0,2%. Os Planossolos tiveram um percentual menor em relação às demais unidades, como 0 e 0,1%. Assim, em uma faixa entre 0,4 a 0,8%, os Planossolos foram superiores aos outros dois tipos de solo.

Os valores de Th (Figura 3B) foram divididos por conjunto amostral em 23 classes com amplitude 0,4. Isso pode explicar o comportamento das linhas para cada tipo de solo. Os picos alternam com valores mais baixos para as três linhas. Devido à baixa mobilidade geoquímica do Th (Rebello, 2000), permanecendo fixo durante os processos de intemperismo e pedogenéticos, a distribuição observada nos gráficos reflete o contexto geológico.

Os valores de U (Figura 3C) são absolutos, sem definição de classes. Uma maior porcentagem de amostras com valor próximo a 0 ppm foi observada nas três unidades de solo. Os teores subsequentes apresentaram-se em picos percentuais alternados entre os tipos de solo.

O mapa de K (Figura 4A) apresenta a sua variabilidade espacial na área, com maior teor na porção sul do terreno em dois grupos de vinhedos. Isso pode ser devido à mobilidade desse elemento, que é facilmente transportado para áreas mais baixas. Possivelmente, a ocorrência no sudoeste se deve ao acúmulo de material de morros próximos, (200 e 220 metros de altitu-

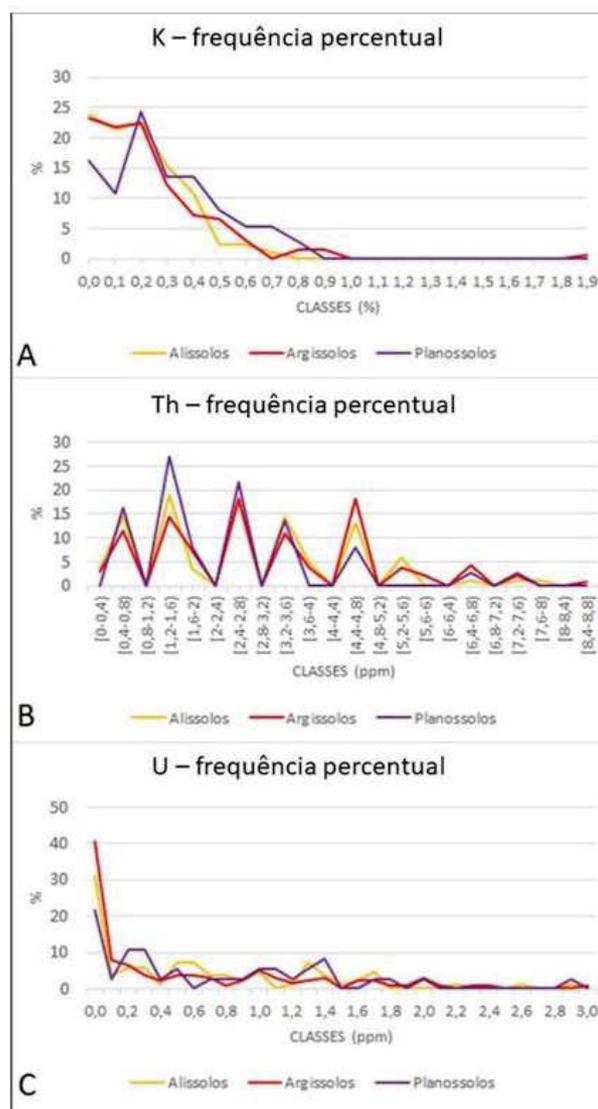


Figura 3. Frequência Percentual de K (A), Th (B), U (C) para solos de vinhedos, conforme Alberti (2018). Santana do Livramento, Rio Grande do Sul, Brasil.

de). O mapa de Th (Figura 4B) mostra a variabilidade espacial desse elemento entre os vinhedos, com uma maior concentração na porção NNE. A baixa mobilidade do elemento sugere que as áreas de maior enriquecimento apresentam alto teor de óxidos de ferro nas partes mais superficiais do solo. A variabilidade espacial do U entre os vinhedos (Figura 4C) destaca-se pelo alto teor na porção central. Outros pontos da área apresentam concentração notável desse radioelemento, como as regiões nordeste, noroeste e sudeste. A ocorrência de U não parece estar relacionada à elevação. Foram definidas três classes de zoneamento, como alto, médio e baixo teor para cada radioelemento.

Os intervalos foram estabelecidos a partir da amplitude de cada variável dividida por três classes, cujas áreas estão apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4. Classificação de zoneamento de radioelementos em vinhedos na Vinícola Almadén, conforme Alberti (2018), em Santana do Livramento, Rio Grande do Sul, Brasil.

Radioelemento	Baixo		Médio		Alto		Total (ha)
	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%	
Potássio	175,41	42,93	180,50	44,17	52,72	12,90	408,63
Tório	177,36	43,40	137,14	33,56	94,15	23,04	408,65
Urânio	200,48	49,06	166,13	40,65	42,07	10,29	408,68

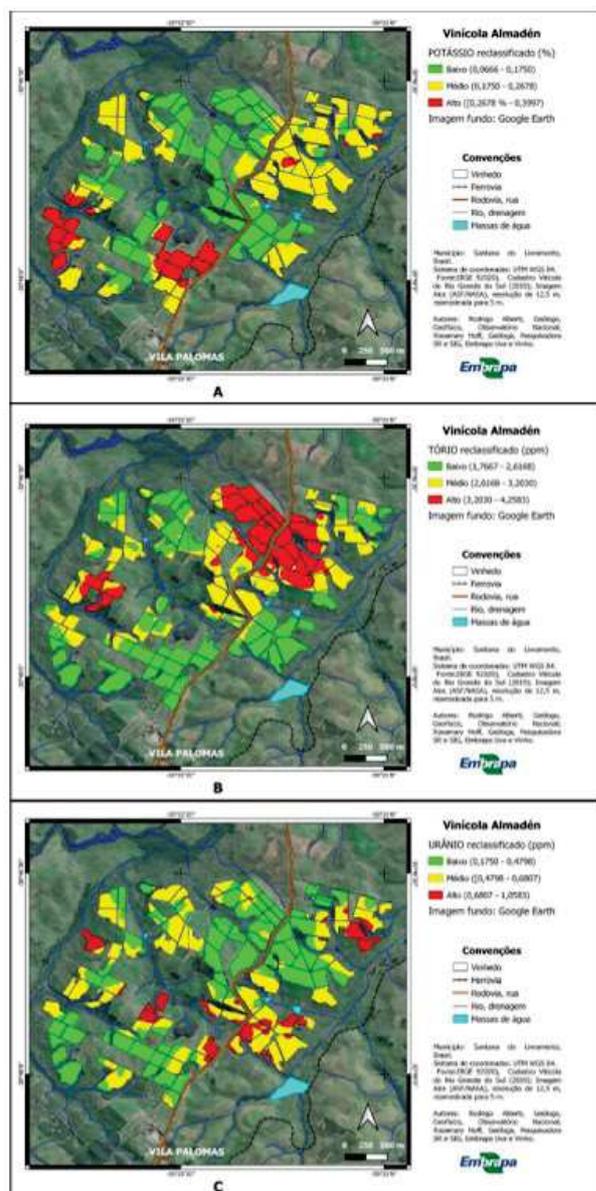


Figura 4. Classificação de zoneamento dos teores de potássio (A), tório (B) e urânio (C), Santana do Livramento, Rio Grande do Sul, Brasil.

Houve diferença de área, relacionada à soma dos polígonos de vinha (409,853 ha) devido ao recorte das imagens classificadas, em torno de 408,65 ha, devido à *pixelização* da imagem final. Este fato produziu

bordas vazias em comparação com seus produtos vetorizados. Essa diferença em torno de um hectare, ao longo de quase de 410 hectares, não foi considerada relevante na análise deste estudo.

A distribuição das classes de radioelementos e sua relação com as classes de elevação, ao longo da área dos vinhedos, podem ser observadas na Figura 5 (A, B e C), e para cada radioelemento foram geradas nove classes combinando os intervalos de elevação. Os valores de K mais baixos ocorreram em terrenos de média altitude. Quanto ao Th, os maiores valores baixos, médios e altos ocorrem nas altitudes médias dos vinhedos. Em termos de U, valores mais baixos, médios e altos também acompanham as altitudes médias dos terrenos dos vinhedos.

De acordo com De Vos et al. (2006), a mobilidade do U no solo depende da mobilidade do cátion UO_2^{2+} , sendo a solubilidade do radioelemento aumentada pela ação de ácidos orgânicos. Quando o U é dissolvido em água, associa-se diretamente com a MO e os óxidos de ferro e fosfatos dissolvidos. Kabata-Pendias (2010) destaca que, do ponto de vista geoquímico, Th tem um comportamento semelhante ao U, tendo mobilidade dependente de Th^{4+} . A solubilidade deste cátion, em uma ampla faixa de pH, é responsável pelo seu deslocamento. A solubilidade do Th aumenta na presença de ácidos orgânicos, porém sua mobilidade é prejudicada devido à sua precipitação, por exemplo, na forma de fosfatos e óxidos. Segundo Fráguas (1996), o excesso de potássio pode causar a dessecação do cacho de uva, devido à menor absorção de cálcio e magnésio. Isso corresponde a um distúrbio fisiológico que ocorre no início do amolecimento dos bagos, caracterizado pelo murchamento das pontas dos cachos, que pode progredir para o resto do cacho. Flores (2011) avaliou parâmetros edáficos para orientar a implantação dos vinhedos, sobre os teores de K relacionados à MO. Se o K for inferior a 1,5 ppm e a MO for inferior a 60 kg/ha, o solo é recomendado para a viticultura (Tabela 5).

Assim, menores teores de K proporcionariam melhores condições para o estabelecimento de vinhe-

Tabela 5. Teores de potássio e teores de matéria orgânica com respectivas recomendações de acordo com Flores (2011).

Teor de potássio (ppm*)	
≤1,5	Muito recomendável
1,6-3,0	Recomendável
3,1-5	Pouco recomendável
≥5,1	Não recomendável
Teor de matéria orgânica (kg/ha)	
≤60	Muito recomendável
60-90	Recomendável
≥91	Não recomendável

* Teor de potássio por análise química.

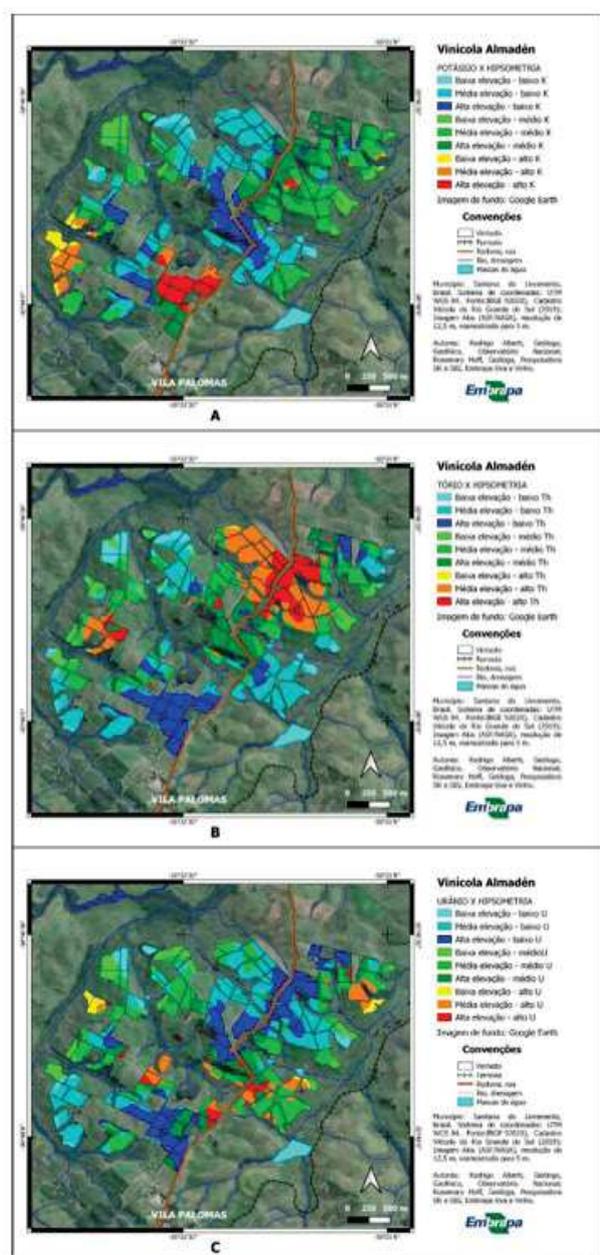


Figura 5. Mapa de cruzamento de hipsometria com mapas de potássio (A), tório (B) e urânio (C), na Vinícola Almadén, Santana do Livramento, Rio Grande do Sul, Brasil.

dos. Recomenda-se observar as áreas da classe com menor teor de K, corrigindo e monitorando as áreas com altos teores, a SE e SW da área (Figura 4). Quanto maior o teor de U e Th, menor a quantidade de MO. Assim, recomenda-se observar as áreas de alto teor de U, bem como de alto teor de Th, a fim de monitorá-las, por meio de análises periódicas do solo, principalmente durante o ciclo fenológico, para corrigir as anomalias a tempo. Os mapas de conteúdo dos radioelementos possibilitaram a visualização de sua variabilidade espacial, posteriormente interpolados para visualização geográfica.

4 CONCLUSÃO

A partir dos valores estatísticos descritivos, observou-se que os níveis de U, Th e K não foram muito eficientes para a comparação com as unidades de solo na área de estudo. Os perfis do solo desta área com vinhedos indicaram uniformidade nos teores de U e K da rocha subjacente à superfície do solo. Em relação ao Th, houve o enriquecimento em alguns níveis do solo, podendo ser explicado pela retenção do radioelemento nos óxidos e hidróxidos de Fe e Ti oriundos de arenitos da Formação Guará. No entanto, o zoneamento proporcionou a visualização da variabilidade espacial dos radioelementos, contribuindo para as inferências sobre a variabilidade espacial dos teores de K e MO no solo.

Os mapas de radioelementos podem indicar quais os vinhedos que necessitam de um monitoramento mais ou menos intenso. Os vinhedos que demandam um monitoramento menos intenso correspondem aos menores valores de K e aos maiores valores de U e Th.

A espectrometria gama pode ser uma alternativa rápida para medir as variações de radioelementos ao longo da área com vinhedos, o que possibilita a aplicação dessa técnica no contexto da viticultura de precisão.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às agências de fomento à pesquisa FINEP, CNPq e Fapergs, às instituições Embrapa e UNISINOS, bem como a Miolo Wine Group.

REFERÊNCIAS

ALBERTI, R. **Gamaespectrometria aplicada ao estudo do solo em área vitícola em Santana do Livramento, RS.** 2018. Monografia (Bacharelado em Geologia). Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo.

- ASF ENGINEERING. **Radiometrically Terrain Corrected ALOS PALSAR products**. 2015. Disponível em: https://asf.alaska.edu/wp-content/uploads/2019/03/rtc_product_guide_v1.2.pdf. Acesso em: 01 out. 2024.
- BERNARDI, A. C. de C.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. **Agricultura de precisão**: resultados de um novo olhar. Brasília, DF: Embrapa, 2014. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1002959/1/Agriculturadeprecisao2014.pdf>. Acesso em: 01 out. 2024.
- DE VOS, W.; TARVAINEN, T.; SALMINEN, R.; REEDER, S.; DE VIVO, B.; DEMETRIADES, A.; PIRC, S.; BATISTA, MJ; MARSINA, K.; OTTESEN, RT; O'CONNOR, PJ; BIDOVEC, M.; LIMA, A.; SIEWERS, U.; SMITH, B.; TAYLOR, H.; SHAW, R.; SALPETEUR, I.; GREGORAUSKIENE, V.; HALAMIĆ, Josip; SLANINKA, I.; LAX, K.; GRAVESEN, P.; BIRKE, M.; BREWARD, N.; ANDER, EL; JORDÂNIA, G.; DURIS, M.; KLEIN, P.; LOCUTURA, J.; BEL-LAN, A.; PASIECZNA, A.; LIS, J.; MAZREKU, A.; GILUCIS, A.; HEITZMANN, P.; KLAVER, G.; PETERSELL, V. **Geochemical atlas of Europe**: Part 2, interpretation of geochemical maps, additional tables, figures, maps and related publications. Espoo: Geological Survey of Finland, 2006.
- DICKSON, B. L.; SCOTT, K. M. Interpretation of aerial gamma-ray surveys – adding the geochemical factors. **AGSO Journal of Australian Geology and Geophysics**, v. 17, n. 2, p. 187-200, 1997.
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 2013.
- EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa, 1999.
- FLORES, C. A. **Influência do solo na tipicidade do vinho**. 2011. Disponível em: http://www.infobibos.com/Artigos/2011_4/vinho/index.htm. Acesso em: 01 out. 2024..
- FLORES, C. A.; PÖTTER, R.; FASOLO, P.; HASENACK, H.; WEBER, E. **Mapa semidetalhado de solos – Folha Palomas**. Porto Alegre: Editora da Universidade, 2007. (1 mapa: color.; 80 x 60 cm; Escala 1:50.000; 1 CD-ROM).
- FRÁGUAS, J. C. **A importância do boro para a videira**. Bento Gonçalves: Embrapa-CNPUV, 1996. 4 p. (Comunicado Técnico, 17).
- HOFF, R.; BERGMANN, M.; ALBERTI, R. Geologia integrada a dados de relevo para caracterização de terroir vitivinícola em Pinheiro Machado, Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 18. (SBSR), 2017, Santos. **Anais [...]**. São José dos Campos: INPE, 2017. p. 6391-6398. Disponível em: <http://urlib.net/rep/8JMKD3MGP6W34M/3PSMCQQ>. Acesso em: 01 out. 2024.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Malha Digital Municipal**. Rio de Janeiro: IBGE, 2013. Disponível em: http://servicodados.ibge.gov.br/Download/Download.ashx?u=geoftp.ibge.gov.br/malhas_digitais/municipio_2015/rs.zip. Acesso em: 01 out. 2024.
- JUNGES, A. H.; PAULETTO, H.; ALBERTI, R.; HOFF, R.; DUCATI, J. R. Orbital remote sensing to monitoring vine cycle using vegetation index in “Campanha Region”, Rio Grande do Sul State, Brazil. In: GIESCO, 2017, Mendoza. **Proceedings [...]**. 2017. Disponível em: <https://www.giesco.org/article-orbital-remote-sensing-to-monitoring-vine-cycleusing-vegetation-index-in-%E2%80%9Ccampanha-region%E2%80%9D-riogrande-do-sul-state-brazilteledetection-orbital-pour-la-surveillance-du-cycle-de-la-vignepar-859.html>. Acesso em: 01 out. 2024.
- KABATA-PENDIAS, A. **Trace elements in soils and plants**. Boca Ratón: CRC Press, 2010. DOI: <http://doi.org/10.1201/b10158>.
- KODUR, J. Effects of juice pH and potassium on juice and wine quality. **Vitis**, v. 50, n. 1, p. 1-6, 2011. Disponível em: <https://ojs.openagrar.de/index.php/VITIS/article/view/4052>. Acesso em: 01 out. 2024.
- PIMENTEL GOMES, F. **Curso de Estatística Experimental**. São Paulo: Nobel, 1985.
- QGIS. **Guia do Usuário QGIS**. 2020. Disponível em: https://docs.qgis.org/3.10/pt_BR/docs/user_manual/. Acesso em: 01 out. 2024.
- REBELLO, A. M. A. **Processos supergênicos na distribuição de radônio em paisagens tropicais úmidas**. 2000. 209 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- SCHERER, C.; FACCINI, U.F.; LAVINA, E. L. Arcabouço estratigráfico do Mesozóico da Bacia do Paraná. In: HOLZ, M.; DE ROS, L.F. (eds.). **Geologia do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: UFRGS/CIGO, 2000. p. 335-354.
- SENA, K. N.; MALTONI, K. L.; FARIA, G. A.; CASSIOLATO, A. M. R. Organic carbon and physical properties in sandy soil after conversion from degraded pasture to Eucalyptus in the Brazilian Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 41, p. e0150505, 2017. DOI: <http://doi.org/10.1590/18069657rbc20150505>.