

## Relação entre índice de vegetação obtido por sensor remoto ativo de superfície e a área foliar em vinhedos da região da Serra Gaúcha, Rio Grande do Sul, Brasil

Amanda Heemann Junges<sup>1</sup>  
Rafael Anzanello<sup>1</sup>  
Tácio Luiz Sabedot Pertile<sup>1</sup>  
Mariane Castanho de Christo<sup>1</sup>  
Denise Cybis Fontana<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária – FEPAGRO  
Caixa Postal 44 - 95330-000 – Veranópolis - RS, Brasil  
{amanda-junges, rafael-anzanello}@fepagro.rs.gov.br  
{tjspertile, mcchristo}@ucs.br

<sup>2</sup>Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia, Faculdade de Agronomia-UFRGS  
Caixa Postal 15100 - 91450-000 - Porto Alegre - RS, Brasil  
dfontana@ufrgs.br

**Abstract.** In vineyards, leaf area is essential for quality grapes production, however there are few methods to quantify this variable in the cycle. Remote sensors can provide information about the vegetation development. The aim of this study was to establish the relationship between the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), obtained by ground-based remote sensor, with the vine leaf area in the Serra Gaúcha region, Rio Grande do Sul, Brazil. For this, 20 plants in two 'Chardonnay' vineyards were monitored (September 2015 to May 2016) in Veranópolis. NDVI data were obtained with active ground-based remote sensor Greenseeker positioned above the canopy. Vine leaf area was estimated by non-destructive method based on linear measures of leaf blade. The relationship between NDVI and number of leaves per branches, leaf area (cm<sup>2</sup>), total plant leaf area (m<sup>2</sup>) and leaf area index (LAI) was established through regression models. The NDVI profiles indicated temporal variability of the vegetation index in the cycle (of 0.47 to 0.81), consistent with the leaf area variability in the vineyards due the phenology and management (pruning). NDVI was positive and non-linear correlated with the number of leaves per branches ( $R^2 = 0.74$ ), total plant leaf area ( $R^2 = 0.63$ ) and IAF ( $R^2 = 0.54$ ). The results indicate that NDVI can be use to monitoring and estimate vine leaf area. Greenseeker is a practical, objective and friendly remote sensor for a non-destructive measurement of leaf area in 'Chardonnay' vineyards.

**Palavras-chave:** Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, Índice de Área Foliar, *Vitis vinifera*, Greenseeker, Normalized Difference Vegetation Index, Leaf Area Index, *Vitis vinifera*, Greenseeker.

### 1. Introdução

A produção vitivinícola brasileira, que atualmente ocupa uma área de 83,7 mil hectares e envolve mais de mil vinícolas, consolidou o Brasil como quinto maior produtor de vinhos no Hemisfério Sul (IBRAVIN, 2016). No País, o maior produtor de uvas em termos de área cultivada (63,5%) e produção (56%) é o Estado do Rio Grande do Sul, no qual se destaca a região da Serra Gaúcha, mais importante pólo vitivinícola brasileiro (Protas e Camargo, 2011). Na região, responsável por 85% da produção nacional de vinhos (IBRAVIN, 2016), a promoção da inovação tecnológica fez surgir uma viticultura focada, principalmente, na produção de uvas *Vitis vinifera* para elaboração de vinhos finos de qualidade (Protas e Camargo, 2011).

Para videiras, o monitoramento e o manejo correto da área foliar são fundamentais para produção de uvas de qualidade. O potencial enológico das uvas está relacionado à capacidade de interceptação da radiação solar, a qual é influenciada pela distribuição e densidade de folhas (Drissi et al., 2009). Na videira, assim como na maioria das espécies frutíferas, o balanço entre a carga de frutas (dreno) e a área foliar adequadamente iluminada (fonte) influencia a quantidade e a qualidade da produção (Silva, 2009). O equilíbrio entre estes dois parâmetros pode ser considerado um critério para definição da qualidade dos vinhos

(Goutouly et al., 2006). No manejo da videira, a regulação da área foliar é realizada principalmente por meio de podas verdes, compreendendo práticas de desbaste, desponte e desfolha. A respeito da importância da área foliar, os vicultores dispõem de poucos métodos objetivos de quantificação, monitoramento e mapeamento desta variável ao longo do ciclo da cultura (Johnson et al., 2003).

Ferramentas e tecnologias de sensoriamento remoto podem otimizar a obtenção de dados acerca do crescimento e desenvolvimento da vegetação, por meio, por exemplo, do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (do inglês *Normalized Difference Vegetation Index* - NDVI). Nesse sentido, sensores remotos de superfície têm surgido como uma importante fonte de informações acerca do dossel vegetativo, a campo e em tempo real. Para cultura da videira, trabalhos desenvolvidos principalmente na França, Itália, Grécia e Estados Unidos, relacionaram o NDVI obtido por sensores remotos de superfície ao índice de área foliar (IAF) (Drissi et al, 2009), vigor vegetativo (Mazzetto et al., 2010; Goutouly et al., 2006; Stadiamatis et al., 2010), incidência de doenças (Mazzetto et al., 2010) e teores de clorofila e nitrogênio foliares (Taskos et al., 2010). O objetivo desse trabalho foi relacionar o NDVI, obtido por sensor remoto ativo de superfície, com a área foliar de videiras na região da Serra Gaúcha, Rio Grande do Sul, Brasil.

## 2. Metodologia de Trabalho

A área de estudo correspondeu a dois vinhedos comerciais de *Vitis vinifera*, cultivar Chardonnay, localizados em Veranópolis, na Encosta Superior da Serra do Nordeste (Serra Gaúcha), Rio Grande do Sul, Brasil. Dentre as viníferas destinadas à elaboração de vinhos finos brancos e espumantes, 'Chardonnay' é que ocupa maior área cultivada no Estado (12,5%) (Mello et al., 2012). Nos vinhedos avaliados, as videiras eram conduzidas em sistemas latada (CHLA) e lira (CHLI), os quais se caracterizam pela condução horizontal e elevada do dossel vegetativo com uso de postes e arames.

Os valores de NDVI foram obtidos com sensor remoto ativo Greenseeker® (Greenseeker Handheld HCS-100, Trimble), equipamento portátil que utiliza diodos de emissão de radiação nas faixas do vermelho (650 nm) e infravermelho próximo (770 nm) para cálculo do índice de vegetação. O sensor foi posicionado de 60 cm acima do dossel vegetativo, com auxílio de barra extensora (Figura 1). Em cada vinhedo, foram avaliadas mensalmente dez plantas ao longo do ciclo vegetativo das videiras (da brotação à queda de folhas), de setembro de 2015 a maio de 2016 (safra 2015/2016). Em cada planta avaliada foram marcados quatro ramos, sendo um por quadrante, para determinação de medidas instantâneas de NDVI, as quais foram empregadas na definição do NDVI médio por planta.

A área foliar foi determinada de forma não destrutiva pelo método descrito por Carbonneau com modificações (Anzanello, 2009), no qual a área é estimada a partir de dimensões do limbo foliar. Para isso, nos quatro ramos marcados, a cada avaliação, foi determinado o número médio de folhas e medido o comprimento das nervuras principais das folhas. A área da folha ( $\text{cm}^2$ ), calculada a partir do comprimento da nervura principal por modelo de regressão, foi multiplicada pelo número médio de folhas por ramo e pelo número de ramos por planta para determinação da área foliar total da planta ( $\text{m}^2$ ). O IAF foi estimado dividindo-se a área foliar da planta pela área de solo ( $\text{m}^2$ ). A área de solo foi obtida pela multiplicação do espaçamento médio das entrelinhas dos vinhedos pelo espaçamento médio entre plantas na linha.

O ciclo das videiras foi acompanhado por meio do registro das datas de ocorrência das principais etapas fenológicas da cultura de acordo com a escala BBCH ampliada (Lorenz et al., 1995).

Os valores médios de NDVI e de IAF das dez plantas por vinhedo foram empregados na definição de perfis temporais. A relação entre NDVI e as variáveis relacionadas à área foliar

das videiras (número médio de folhas, área da folha, área foliar total da planta e IAF) foi estabelecida por meio gráficos de dispersão dos dados e ajuste de equação de regressão.



Figura 1. Demonstração do emprego (A) e do posicionamento (B) do sensor remoto ativo de superfície Greenseeker para obtenção de dados de NDVI em videiras em sistema horizontal de condução do dossel vegetativo (latada e lira) na região da Serra Gaúcha, Rio Grande do Sul, Brasil. Veranópolis, 2016.

### 3. Resultados e Discussão

Os perfis médios de NDVI de videiras ‘Chardonnay’ indicaram variabilidade temporal dos valores do índice de vegetação ao longo do ciclo (de 0,47 a 0,81) (Figura 2). Os menores valores de NDVI (0,47 a 0,51) ocorreram no final do ciclo, no período de senescência e queda de folhas. Os maiores valores (0,80 a 0,81) ocorreram no desenvolvimento vegetativo, no estágio fenológico de desenvolvimento dos frutos denominado “bagas em grão chumbinho”.

No início de setembro, quando as plantas tinham, em média, de 6 a 7 folhas por ramo, folhas com área média de  $27 \text{ cm}^2$  e IAF inferior a 0,5 (0,25 a 0,35), os valores de NDVI ficaram entre 0,56 e 0,6. Posteriormente, os valores de NDVI e IAF foram crescentes até 23 de outubro (bagas em grão chumbinho), quando ocorreram os valores máximos de NDVI (0,80 a 0,81). Os máximos IAF (em média, 1,3 para CHLI e 1,8 para CHLA) ocorreram aproximadamente 15 dias após os máximos NDVI, quando houve fechamento do dossel vegetativo e registro do máximo número de folhas por ramo (17). Esse resultado foi semelhante ao encontrado por Ballesteros et al. (2015) que, para videiras da cultivar ‘Cencibel’ na Espanha, também verificaram que o máximo IAF (1,1) ocorreu no máximo número de folhas.

É importante salientar que, analisando-se a variabilidade dos dados, IAF de até 2,5 para CHLA e 2,1 para CHLI ocorreram em algumas plantas analisadas, porém, em termos médios, os valores de IAF máximo ocorridos na safra e vinhedos analisados foram inferiores aos encontrados por Cardoso et al. (2010) e Comiran (2012), que, na mesma região de estudo (Serra Gaúcha), registraram valores máximos de IAF de 4,5 e 2,5 em videiras ‘Moscato Giallo’ e ‘Niágara Rosada’, respectivamente. Variações no índice de área foliar em vinhedos são esperadas dado que esse parâmetro é influenciado tanto pela cultivar e objetivo da produção, quanto pelo sistema de condução e práticas de manejo (Mandelli et al., 2009).

Após a ocorrência dos máximos, os perfis temporais indicaram redução dos valores de NDVI (0,75) e da área foliar (IAF entre 1,1 e 1,6 e número médio de folhas entre 14,5 e 15). Essa redução, ocorrida em novembro, no estágio fenológico de fechamento do cacho, foi associada à realização de podas verdes. A poda verde, que compreende despontes, desbrotes e desfolhas, é uma prática de manejo realizada com intuito de reduzir vigor e promover o equilíbrio entre as partes vegetativa e produtiva da videira. Da mesma maneira, por meio de podas verdes, propicia-se a aeração e a entrada de radiação solar no dossel vegetativo,

diminuindo a probabilidade de ocorrência de doenças, especialmente podridões de cachos, que comprometem a qualidade final das uvas (Mandeli e Miele, 2003).

Após as podas verdes, os perfis temporais indicaram novo incremento de NDVI, embora não tenham atingido os valores máximos ocorridos no estágio fenológico de grão chumbinho (Figura 2). Os valores de NDVI permaneceram superiores a 0,70 até a primeira quinzena de março, período de pós-colheita. Nessa etapa do ciclo, o número médio de folhas por ramo decresceu (até 12, em 02/03), de maneira que a manutenção de altos valores de NDVI foi associada à expansão da área das folhas, que atingiu os valores máximos (entre 62 e 66 cm<sup>2</sup>) entre fevereiro e março.

Posteriormente, os perfis temporais de NDVI decresceram gradualmente, até atingir valores entre 0,47 e 0,51 no final do ciclo da cultura (maio), refletindo a redução de biomassa verde no dossel vegetativo decorrente da senescência e queda das folhas. Tal redução dos valores de NDVI era esperada em função da videira, assim como demais frutíferas de clima temperado, apresentar hábito caducifólio e passar por período de repouso hibernar, decorrente, na região de estudo, da diminuição da temperatura do ar no período de outono-inverno. Os resultados indicaram que o NDVI pode ser empregado na quantificação da manutenção de área foliar em pós-colheita, informação importante para cultura, pois a presença de folhas final do ciclo está relacionada ao acúmulo de reservas nos tecidos, o que favorece o crescimento inicial das brotações no ciclo seguinte (Anzanello e Souza, 2015).

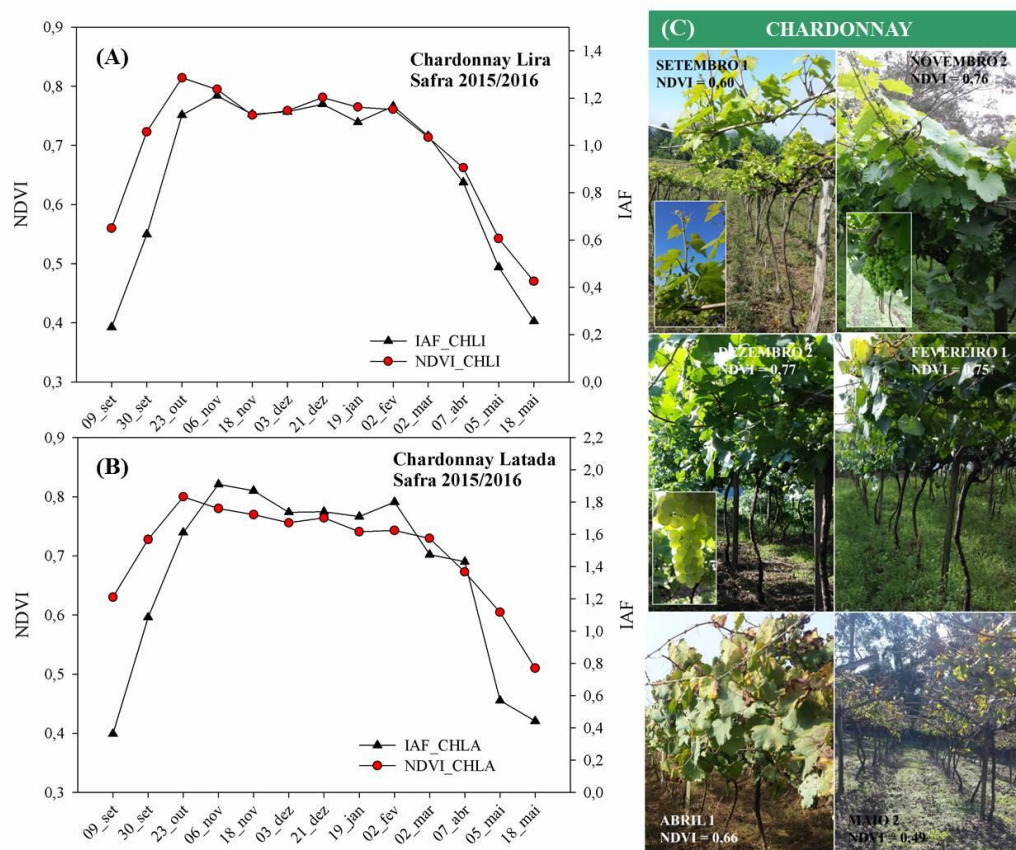


Figura 2. Perfis temporais de índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), obtido por sensor remoto ativo de superfície (Greenseeker), e de índice de área foliar (IAF) de videiras ‘Chardonnay’ conduzidas em sistema lira (A) e latada (B) na safra 2015/2016; imagens ilustrativas do ciclo das videiras na região da Serra Gaúcha, Rio Grande do Sul, Brasil (C). Veranópolis, 2016.

Os perfis de NDVI obtidos nesse trabalho caracterizaram o acúmulo de biomassa verde ao longo do ciclo de crescimento e desenvolvimento de videiras ‘Chardonnay’ e foram

semelhantes em termos de evolução temporal aos perfis de NDVI obtidos, para mesma área de estudo, por Pithan et al. (2015) e Schaparini et al. (2016) empregando imagens Landsat 8/OLI.

As relações entre NDVI, obtido por sensor remoto de superfície, e as variáveis número de folhas por ramo, área foliar total da planta e IAF foram positivas e podem ser representadas por equações exponenciais (Figura 3), demonstrando a não linearidade entre NDVI e parâmetros biofísicos da cultura. Tanto na região do visível, quanto na do infravermelho próximo, a reflectância da vegetação não apresenta relação linear com os parâmetros como biomassa e IAF, mas comportamento assintótico (Ponzoni, 2001). Drissi et al (2009) estabeleceram relação quadrática ( $R^2=0,85$ ) entre NDVI, obtido por sensor remoto de superfície e IAF de vinhedos na França. Por sua vez, Johnson et al. (2003) estabeleceram relação linear ( $R^2=0,72$ ) entre NDVI, obtido de imagens Ikonos, e IAF em vinhedos da região de Napa Valley nos Estados Unidos. Os autores, no entanto, empregaram dados da brotação à colheita, não considerando o período de pós-colheita, quando há decréscimo em ambos parâmetros.

Os maiores coeficientes de determinação ocorreram para número médio de folhas por ramo ( $R^2= 0,74$ ) e para área foliar total da planta ( $R^2 = 0,63$ ) (Figura 3), indicando que, para os sistemas avaliados, de condução horizontal e de ampla expansão do dossel vegetativo, medidas referentes à área de solo ocupada pelas videiras, a exemplo do IAF, não aprimoram a capacidade de estimativa dos parâmetros via NDVI obtido por sensor remoto Greenseeker.

A relação entre NDVI e área da folha não foi significativa em função de que a área unitária das folhas aumenta gradualmente até atingir um máximo e, posteriormente, se estabiliza. No final do ciclo, a diminuição do NDVI está muito mais associada à redução do número de folhas por ramo, do que à área das folhas, pois estas não sofrem alteração de tamanho ao senescerem.

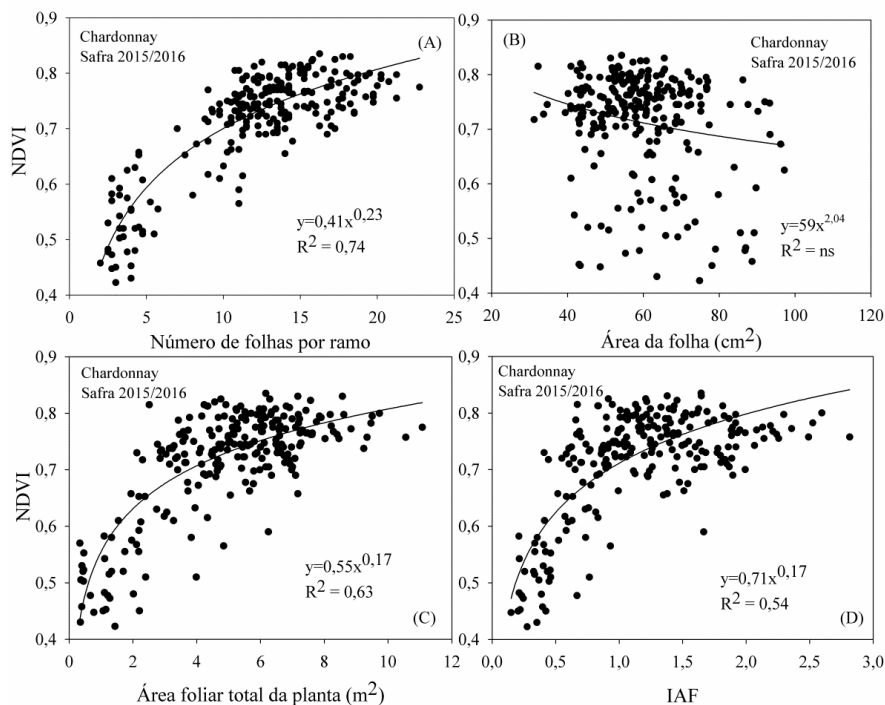


Figura 3. Relação entre o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), obtido por sensor remoto ativo de superfície (Greenseeker), e o número médio de folhas por ramo (A), área média das folhas (B), área foliar média total da planta (C) e índice de área foliar (IAF) (D) no ciclo de videiras ‘Chardonnay’, safra 2015/2016, na região da Serra Gaúcha, Rio Grande do Sul, Brasil. Veranópolis, 2016.

#### 4. Conclusões

A evolução temporal do NDVI obtido por sensor remoto ativo de superfície em vinhedos da cultivar Chardonnay foi coerente com as variações de biomassa verde que caracterizam o ciclo da cultura da videira na região de estudo e indicou as variações na área foliar que decorrem tanto das etapas fenológicas, quanto de práticas de manejo que promovem alterações no dossel vegetativo, tais como podas verdes.

O NDVI pode ser empregado na estimativa de parâmetros relacionados à área foliar de videiras, especialmente número de folhas por ramo e área foliar total da planta, com os quais possui relação não-linear.

O sensor remoto Greenseeker é uma ferramenta prática, objetiva e de fácil utilização que fornece, via NDVI, uma medida do desenvolvimento da vegetação a campo e em tempo real, configurando-se assim, como uma alternativa aos viticultores no monitoramento da área foliar e suporte à tomada de decisão no manejo de vinhedos.

#### Agradecimentos

À família Anzanello, proprietária dos vinhedos empregados nesse estudo e ao CNPq (473398/2013-3) pelo suporte financeiro.

#### Referências Bibliográficas

Anzanello, R. **Comportamento produtivo e fisiológico de três cultivares de videira submetidas a duas safras por ciclo vegetativo pelo manejo da poda**. 2009. 102 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

Anzanello, R.; Souza, P.V.D. Conteúdo de reservas, vigor vegetativo e rendimento de videiras submetidas a duas safras por ciclo vegetativo. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, p. 719-729, 2015.

Ballesteros, R., Ortega, J.F., Hernández, D., Moreno, M.A. Characterization of *Vitis vinifera* L. canopy using unmanned aerial vehicle-based remote sensing and photogrammetry techniques. **American Journal of Enology and Viticulture**, v.6, n.2, p.1-28, 2015.

Cardoso, L., Bergamaschi, H., Comiran, F., Chavarria, G., Marodin, G.A.B., Dalmago, G.A., Santos, H.P., Mandelli, F. Padrões de interceptação de radiação solar em vinhedos com e sem cobertura plástica. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.32, n.1, p.161-171, 2010.

Comiran, F. **Microclima, desenvolvimento e produção de videiras ‘Niágara Rosada’ em cultivo orgânico sob cobertura plástica**. 2009. 83 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

Drissi, R., Goutouly, J.P., Forget, D., Gaudillere, J.P. Nondestructive measurement of grapevine leaf areaby Ground Normalized Difference Vegetation Index. **Agronomy Journal**, v. 101, p.226-231, 2009.

Goutouly, J.P., Drissi, R., Forget, D., Gaudillère, J.P. Characterization of vine vigour by ground based NDVI measurements. In: International Terroir Congress, 6., 2006, Bordeaux (France). **Proceedings...**Enita: Bordeaux, 2006. p. 237-242.

IBRAVIN. **Instituto Brasileiro do Vinho: O Brasil Vitivinícola**. Disponível em: <<http://www.ibravin.org.br>>. Acesso em: 25 out. 2016.

Johnson, L., Roczen, D., Youkhana, S., Neemani, R. R., Bosch, D. F. Mapping vineyard leaf area with multispectral satellite imagery. **Computers and Electronics in Agriculture**, n.38, p. 33-44, 2003.

Lorenz, D. H.; Eichhorn, K. W.; Bleiholder, H.; Klose, R.; Meier, U.; Weber, E. Phenological growth stages of the grapevine (*Vitis vinifera* L. ssp. *vinifera*) — Codes and descriptions according to the extended BBCH scale. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, v.1, p.100-3, 1995.

Mandelli, F., Miele, A. **Uvas americanas e híbridas para processamento em clima temperado: poda.** Embrapa Uva e Vinho: Sistema de produção, 2. Disponível em:  
<<https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Uva/UvaAmericanaHibridaClimaTemperado/poda.htm>>. Acesso em 01.nov.2016.

Mandelli, F., Miele, A., Tonietto, J. Uva em clima temperado. In: Monteiro, J.E.B.A. (Org). **Agrometeorologia dos cultivos** – o fator meteorológico na produção agrícola. Brasília: INMET, 2009, p.505-5015.

Mazzetto, F., Calcante, A., Mena, A., Vercesi, A. Integration of optical and analogue sensors for monitoring canopy health and vigour in precision viticulture. **Precision Agriculture**, n. 11, p. 636-649, 2010.

Mello, L.M.R., Machado, C.E., Silva, S.M.R. Dados cadastrais da viticultura do Rio Grande do Sul: 2008 a 2012. In: Mello, L.M.R., Machado, C.E. **Cadastro vitícola do Rio Grande do Sul: 2008 a 2012.** Brasília: Embrapa, 2013.1CD-ROM.

Pithan, P. A.; Junges, A. H.; Farias, A. R.; Anzanello, R.; Hoff, R. Monitoramento do ciclo de videiras pelo Índice de Vegetação por Diferença Normalizada obtido de imagens Landsat 8 no município de Veranópolis-RS, Brasil. In: Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto, 17. (SBSR), 2015, João Pessoa. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2015. p. 2944-2951. Internet. ISBN 978-85-17-0076-8. Disponível em:  
<<http://urlib.net/8JMKD3MGP6W34M/3JM4AHE>>. Acesso em: 09 nov. 2016.

Ponzoni, F.J. Comportamento espectral da vegetação. In: Meneses, P.R; Netto, J.S.M. **Sensoriamento remoto: reflectância dos alvos naturais.** Brasília: Universidade de Brasília, 2001. p.157-199.

Protas, J.F.S., Camargo, U.A. **Vitivinicultura brasileira: panorama setorial de 2010.** Brasília: SEBRAE, Bento Gonçalves: IBRAVIN: Embrapa Uva e Vinho, 2011.110 p.

Rouse, J.W. et al. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE SYMPOSIUM, 3., 1973, Washington. **Proceedings...**Washington: NASA, 1973, p.309-317.

Schaparini, L.P., Junges, A.H., Fontana, D.C., Hoff, R. Variabilidade do padrão temporal do NDVI/Landsat na Serra Gaúcha, Brasil. In: Reunión Argentina de Agrometeorología e Reunión Latinoamericana de, XVI e VIII, 2016, Puerto Madryn. **Anais....**Rio Cuarto: Asociación Argentina de Agrometeorología, 2016. p. 69-60. Internet. ISBN 978-987-42-2098-1. Disponível em: <http://reunion2016.aada.com.ar/>. Acesso em: 09.nov.2016.

Silva, L.C., Rufato, L., Kretschmar, A.A., Marcon Filho, J.L. Raleio de cachos em vinhedos de altitude e qualidade do vinho da cultivar Syrah. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, n.2, p.148-154, 2009.

Stamatiadis, S., Taskos, D., Tsadila, E., Christofides, C., Tsadilas, C. Schepers J. S. Comparison of passive and active canopy sensors for the estimation of vine biomass production. **Precision Agriculture**, v. 11, p. 306-315, 2010.

Taskos, D.G., Koundouras, S., Stamatiadis, S., Zioziou, E., Nikolaou, N., Karakioulakis, K., Theodorou, N. Using active canopy sensors and chlorophyll meters to estimate grapevine nitrogen status and productivity. **Precision Agriculture**, n. 16, p. 77-98, 2015.