

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

**Lincon Oliveira Stefanello da Silva**

**ESTRATÉGIAS DE FORNECIMENTO DE NITROGÊNIO EM VIDEIRAS EM  
PRODUÇÃO**

**Santa Maria, RS**

**2018**

**Lincon Oliveira Stefanello da Silva**

**ESTRATÉGIAS DE FORNECIMENTO DE NITROGÊNIO EM VIDEIRAS EM  
PRODUÇÃO**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Ciência do Solo**.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Brunetto

Santa Maria, RS

2018

da Silva, Lincon Oliveira Stefanello  
ESTRATÉGIAS DE FORNECIMENTO DE NITROGÊNIO EM VIDEIRAS  
EM PRODUÇÃO / Lincon Oliveira Stefanello da Silva.- 2018.  
110 p.; 30 cm

Orientador: Gustavo Brunetto  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós  
Graduação em Ciência do Solo, RS, 2018

1. Adubação Nitrogenada 2. Fertirrigação 3.  
Produtividade 4. Composição Química do Mosto 5.  
Concentração de N nas Folhas I. Brunetto, Gustavo II.  
Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

Todos os direitos autorais reservados a Lincon Oliveira Stefanello da Silva. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

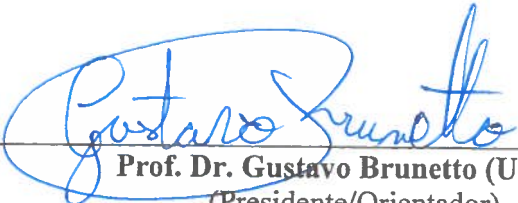
E-mail: linconfa@hotmail.com

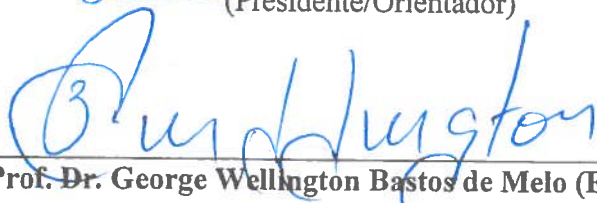
Lincon Oliveira Stefanello da Silva

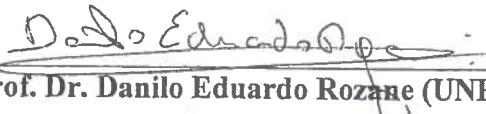
**ESTRATÉGIAS DE FORNECIMENTO DE NITROGÊNIO EM VIDEIRAS EM  
PRODUÇÃO**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Ciência do Solo**.

**Aprovado em 28 de Fevereiro de 2018:**

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. Gustavo Brunetto (UFSM)**  
(Presidente/Orientador)

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. George Wellington Bastos de Melo (EMBRAPA)**

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. Danilo Eduardo Rozane (UNESP) - Videoconferência**

Santa Maria, RS

2018

## **DEDICATÓRIA**

*À minha família pelo exemplo de humildade, dignidade, hombridade e força de vontade. Sou grato por nunca deixarem faltar nada, principalmente respeito e amor! À minha amada Raíssa por tornar meus dias mais felizes, e planejar o futuro sempre pensando em nós.*

## AGRADECIMENTOS

À DEUS pela proteção, iluminação e oportunidade concedida para evoluir moralmente, empregando valores adquiridos a um trabalho em prol da sociedade.

Aos meus pais, José Rodolfo Stefanello da Silva e Marli Terezinha de Oliveira Silva, os quais sempre se empenharam ao máximo, financeiramente e pessoalmente, me fornecendo suporte para que eu alcançasse meus objetivos pessoais e profissionais. Também os agradeço pelos ensinamentos diários sobre ética e moral, sem nunca deixarem faltar amor e carinho.

À minha avó, Sedália de Oliveira, minha segunda mãe, pelos ensinamentos de humildade e caridade, os quais, levarei para toda vida.

À minha namorada Raíssa Schwalbert, companheira de caminhada, que faz meus dias mais alegres, me motiva e renova a cada instante, divide derrotas e vitórias comigo, e faz com que tudo seja mais leve. Obrigado por sempre acreditar em nós. Amo muito você.

Ao meu amado filho Augusto, motivo de orgulho e felicidade nesta vida, mudou a direção de minha vida com muito amor, alegria e espontaneidade.

Ao professor Gustavo Brunetto, pela orientação, amizade, e confiança depositada. Obrigado pelo incentivo e acompanhamento diário. O senhor é o grande responsável por nosso avanço moral e científico, e com certeza seu exemplo de postura e hombridade terá impacto positivo no futuro da nossa sociedade.

À banca examinadora, Dr. George Wellington Bastos de Melo, Dr. Danilo Eduardo Rozane e Dra. Marlise Nara Ciotta, por aceitarem o convite para revisão do material, e contribuições realizadas.

Aos colegas de laboratório, alunos de Pós-Graduação, Alessandra Bacca, Betânia De Paula, Carina Marchezan, Edicarla Trentin, Isley Bicalho, Lessandro De Conti e Matheus Kullmann, pelas trocas de conhecimento e discussão de temas.

Aos colegas de laboratório, alunos de graduação, Adriele Tassinari, Amanda Krug, Beatriz Vitto, Daniela Facco, Gabriel Sans, Jacson Hindersmann, João Pedro Jung, Letícia Morsh, Luana Garlet, Ricardo Vidal, Rodrigo Knevitz, Rodrigo Schneider Mico, Rodrigo Krammes, Simoni Belles, Vanessa Marques, Yohanna Porto e Wagner Squizani, pela intensa colaboração no planejamento e execução das atividades. Graças a vocês as atividades foram executadas com máxima eficiência.

Aos meus sogros Rudi e Bela Schwalbert, pela acolhida em sua família, ensinamentos e conselhos, e pelo carinho e confiança depositados.

Ao meu cunhado Raí Schwalbert, pela parceria, amizade e grande ajuda no trabalho estatístico dos dados.

Ao meu grande melhor amigo, irmão de coração, Quelvynn Oliveira, pela sincera amizade de infância, apoio, carinho e incentivo ao longo destes vinte anos.

À professora Cláudia Kaehler Sautter, pela disponibilização do laboratório para realização das análises químicas de uva e mosto.

À Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia dos Alimentos/UFSM, Marcia Silveira, pela ajuda na realização das análises enológicas, e por estar sempre pronta para colaborar nas outras etapas da construção do material.

Aos colegas de Pós-Graduação, em especial, a Carlos Pires e Douglas Scheid, pela parceria e compartilhamento de ideias, conhecimento e informação.

Aos ex-colegas da 87ª Turma de Agronomia da UFSM, pela amizade, parceria e conversas nos momentos de descontração.

Aos colegas de laboratório pela convivência e amizade criada ao longo desses anos. Agradeço-os pelo conhecimento compartilhado ao longo desse período.

À Miolo Wine Group, representada pela pessoa do Engenheiro Agrônomo Fabrício Domingues, por ceder a área experimental para condução dos estudos, e pela intensa colaboração na instalação e condução dos experimentos realizados a campo.

À Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo (PPGCS) pela oportunidade de realização do Curso de Mestrado.

Aos professores do Departamento de Solos, especialmente, Carlos Alberto Ceretta, Celso Aita, Danilo Rheinheimer dos Santos, Fabrício Pedron, Leandro da Silva, Ricardo Dalmolin, Rodrigo Jacques, Sandro Giacomini, Telmo Amado e Zaida Antonioli, pelas aulas ministradas e pela oportunidade de aprendizado durante o curso.

Ao Héverton, secretário do curso de Pós-Graduação, pela dedicação e competência com que realiza seu trabalho.

A todos aqueles que não foram citados, mas, que de alguma contribuíram para minha formação pessoal e profissional, e para a realização deste estudo.

À CAPES pela concessão da bolsa de estudo.

Ao CNPQ, CAPES, FAPERGS, FINEP e EMBRAPA, os quais contribuíram financeiramente, possibilitando a realização dos estudos.

*O mundo tem olhos grandes, não deixa nada passar  
Enxerga o que a gente planta e o que deixa de plantar  
Um dia o fruto da alma de cada um vai vingiar  
Trazendo gosto à garganta conforme Deus ordenar*

*(Ângelo Franco)*



## RESUMO

### ESTRATÉGIAS DE FORNECIMENTO DE NITROGÊNIO EM VIDEIRAS EM PRODUÇÃO

AUTOR: Lincon Oliveira Stefanello da Silva

ORIENTADOR: Gustavo Brunetto

Solos com textura arenosa e baixo teor de matéria orgânica possuem baixa disponibilidade de nitrogênio (N), sendo necessária a complementação às videiras. O N é aplicado sobre a superfície do solo sem incorporação, o que potencializa as perdas por volatilização. Assim, a utilização de modos alternativos de fornecimento de N, como a fertirrigação ou aplicação de N seguida de irrigação, os quais podem aumentar o aproveitamento do N pela videira se faz necessário. Porém, não é suficientemente conhecido o impacto de modos de fornecimento de doses de N sobre parâmetros de crescimento, estado nutricional, produção e composição da uva. O trabalho objetivou definir modos de fornecimento de doses de N mais adequados a serem aplicados em videiras em início de produção. Dois estudos foram conduzidos em vinhedos em espaldeira da cultivar 'Alicante Bouschet', enxertada sobre o porta-enxerto Paulsen 1103, em Santana do Livramento (RS), região da Campanha Gaúcha. O Estudo 1 abordou crescimento, produção, composição do mosto e perdas de N por lixiviação, em vinhedo submetido à aplicação da dose de N recomendada para a videira com diferentes modos de fornecimento. Os tratamentos foram sem aplicação de N (SN), aplicação de 20 kg N ha<sup>-1</sup> + 20 kg N ha<sup>-1</sup> sem irrigação (NSI), aplicação de 20 kg N ha<sup>-1</sup> + 20 kg N ha<sup>-1</sup> com irrigação (NCI), aplicação de 20 kg N ha<sup>-1</sup> + 20 kg N ha<sup>-1</sup> via fertirrigação (NF) e aplicação de 20 kg N ha<sup>-1</sup> via fertirrigação (½NF). Folhas foram coletadas no pleno florescimento e mudança de cor das bagas, e determinada a concentração de N. O diâmetro de caule das plantas foi mensurado. A produção de uva e seus componentes (número de cachos por planta, massa de 100 bagas e número de bagas) foram determinados. Os sólidos solúveis totais (SST), pH, acidez total titulável (ATT) e antocianinas totais (AT) foram avaliados no mosto. Lisímetros de cápsula porosa foram instalados à 0,20 m de profundidade para coleta de solução de solo e determinação de amônio e nitrato. O Estudo 2 tratou do crescimento, produtividade e composição do mosto, em videiras submetidas a aplicações de modos de fornecimento de doses de N. O experimento foi um bifatorial (dose x modo). As doses de N (0, 20, 40, 60, 80 e 100 kg N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>), foram aplicadas em três modos de fornecimento (aplicação de N sem irrigação - NSI, N seguido de irrigação - NCI e N via fertirrigação - NF). As avaliações deste estudo foram às mesmas realizadas no Estudo 1, além do comprimento e largura de cacho, e polifenóis totais (PT) no mosto. No Estudo 1 as videiras submetidas à aplicação de NF e NCI aproveitam mais o N ofertado, porque apresentaram maiores concentrações de N em folhas, maior diâmetro de caule e produtividade, por causa da maior concentração de nitrato na solução do solo. Porém, o mosto possuía menores valores de SST, AT e maiores valores de ATT. No Estudo 2 as videiras com concentrações de N maiores que 2,75% em folhas no pleno florescimento e 2,25% na mudança de cor das bagas possuíam 99% de probabilidade de atingirem a máxima produção de uva. A aplicação de 35 kg N ha<sup>-1</sup> foi a que possibilitou a máxima eficiência técnica, associada a concentrações adequadas de AT, PT e SST no mosto.

**Palavras-Chave:** Adubação Nitrogenada. Fertirrigação. Produtividade. Composição Química do Mosto. Concentração de N nas Folhas.

## ABSTRACT

### NITROGEN SUPPLY STRATEGIES IN VINES IN PRODUCTION STAGE

AUTHOR: Lincon Oliveira Stefanello da Silva

ADVISER: Gustavo Brunetto

Soils with sandy texture and low organic matter have low nitrogen (N) availability, it is necessary supplemental applications to the vines. N is applied on the soil surface without incorporation, which potentiates losses by volatilization. Thus, it is necessary to use of alternative modes of N supply, such as fertigation or application of N followed by irrigation, which may increase N utilization by vines. However, it is not sufficiently known the impact of N doses supply modes on grapevine growth parameters, nutritional status, production and grape composition. The work aimed to define N doses supply modes more suitable to be applied in vines at the beginning of production. Two studies were conducted in vineyards in Brazil under the cordon training method of 'Alicante Bouschet' cultivar, grafted on Paulsen 1103 rootstock. The studies were located in Santana do Livramento (RS), Campanha Gaúcha region. Study 1 evaluated growth, yield, must composition and N losses by leaching, in a vineyard submitted to N application of recommended doses for the vine with different supply modes. The treatments were without N application (SN), application of 20 kg N ha<sup>-1</sup> + 20 kg N ha<sup>-1</sup> without irrigation (NSI), application of 20 kg N ha<sup>-1</sup> + 20 kg N ha<sup>-1</sup> followed by irrigation (NCI), application of 20 kg N ha<sup>-1</sup> + 20 kg N ha<sup>-1</sup> via fertigation (NF) and application of 20 kg N ha<sup>-1</sup> via fertigation (½ NF). Leaves were collected at flowering and at veraison phenological stages, and determined to N concentration. Plants stem diameter was measured. Grape production and your components (number of clusters per plant, mass of 100 berries and number of berries) were determined. Total soluble solids (SST), pH, total titratable acidity (ATT) and total anthocyanins (AT) were evaluated in the must. Lysimeters with porous capsule were installed at 0.20 m a depth for the collect of soil solution and determination the ammonium and nitrate. Study 2 evaluated growth, yield and must composition in vines submitted to applications of N dose supply modes. The experiment was a two-factorial (dose x mode). N doses (0, 20, 40, 60, 80 and 100 kg N ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>) were applied in three supply modes (application of N without irrigation - NSI, N followed by irrigation - NCI and N via fertigation - NF). The evaluations of this study were the same as those performed in Study 1, besides the cluster length and width, and total polyphenols (PT) in the must. In Study 1, vines submitted to NF and NCI modes were more advantageous to the N provided, because they presented higher N concentrations in leaves, higher stem diameter and yield, due to higher concentration of nitrate in the soil solution. However, the must had lower values of SST, TA and higher values of ATT. In Study 2, vines that had N concentrations greater than 2.75% in leaves at flowering and greater than 2.25% in the veraison presented 99% of probability to reach maximum grape production. The application of 35 kg N ha<sup>-1</sup> was the dose that allowed the maximum technical efficiency, associated with the adequate concentrations of TA, PT and SST in the must.

**Key-words:** Nitrogen Fertilization. Fertigation. Yield. Chemical Composition of Must. N Concentration in Leaves.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

### ARTIGO 1

- Figura 1. Distribuição espacial das médias de temperatura e precipitação acumulada anual entre os anos 1997/98 a 2016/17 (os quatro últimos anos estão destacados) mensurada na estação experimental em Santana do Livramento, Rio Grande do Sul, Brasil. Linhas tracejadas retratam a média dos últimos 20 anos para as variáveis, precipitação acumulada (mm) e temperatura média (°C).....53
- Figura 2. Particionamento da variância para os tratamentos, anos (safras), interações, blocos e residual (erro) da variância total para cada variável na análise, em videiras ‘Alicante Bouschet’ submetidas a modos de fornecimento de N. (NF- Nitrogênio via Fertirrigação; NCI- Nitrogênio Com Irrigação; NSI- Nitrogênio Sem Irrigação; ½ NF- ½ Nitrogênio via Fertirrigação; SN- Sem Nitrogênio; SST – Sólidos Solúveis Totais; ATT – Acidez Total Titulável; AT – Antocianinas Totais).....54
- Figura 3. Concentração de N em folhas no pleno florescimento (a) e na mudança de cor das bagas (b); diâmetro de caule no pleno florescimento (c); e na mudança de cor das bagas (d), em videiras ‘Alicante Bouschet’ submetidas a modos de fornecimento de N. (NF- Nitrogênio via Fertirrigação; NCI- Nitrogênio Com Irrigação; NSI- Nitrogênio Sem Irrigação; ½ NF- ½ Nitrogênio via Fertirrigação; SN- Sem Nitrogênio). Letras iguais entre tratamentos na mesma safra não diferiram estatisticamente pelo teste Skott-Knott ( $\alpha < 0,05$ ).....55
- Figura 4. Número de cachos de uva por planta (a), peso de 100 bagas (b), número de bagas por cacho (c) e produtividade de uva por planta (d), em videiras ‘Alicante Bouschet’ submetidas a modos de fornecimento de N. (NF- Nitrogênio via Fertirrigação; NCI- Nitrogênio Com Irrigação; NSI- Nitrogênio Sem Irrigação; ½ NF- ½ Nitrogênio via Fertirrigação; SN- Sem Nitrogênio). Letras iguais entre tratamentos na mesma safra não diferiram estatisticamente pelo teste Skott-Knott ( $\alpha < 0,05$ ).....56
- Figura 5. Acidez total titulável (ATT) (a); antocianinas totais (TA) (b); pH (c); e sólidos solúveis totais (SST) (d), em videiras ‘Alicante Bouschet’ submetidas a modos de fornecimento de N. (NF- Nitrogênio via Fertirrigação; NCI- Nitrogênio Com Irrigação; NSI- Nitrogênio Sem Irrigação; ½ NF- ½ Nitrogênio via Fertirrigação; SN- Sem Nitrogênio). Letras iguais entre tratamentos na mesma safra não diferiram estatisticamente pelo teste Skott-Knott ( $\alpha < 0,05$ ).....67
- Figura 6. Concentrações de  $\text{NH}_4^+$ (a) e  $\text{NO}_3^-$ (b) na solução do solo cultivado com videiras ‘Alicante Bouschet’ submetidas a modos de fornecimento de N, durante 10 eventos pluviométricos. (NF- Nitrogênio via Fertirrigação; NCI- Nitrogênio Com Irrigação; NSI- Nitrogênio Sem Irrigação; ½ NF- ½ Nitrogênio via Fertirrigação; SN- Sem Nitrogênio). Barras verticais indicam o erro padrão ( $p < 0.001$ ). ( $\text{NH}_4^+$  = (NF)  $y = 60.705986 - 0.946492 * x + 0.003838 * x^2$  platô aos 123.3 dias após a aplicação; (½NF)  $y = 12.3717648 - 0.1984223 * x + 0.0009721 * x^2$  platô aos 102.1 dias após a aplicação; (NCI)  $y = 10.3868 + 0.01132 * x$ ; (NSI)  $y = 0.9248 + 0.0111 * x$ ; (SN)  $y = 0.8065 +$

0.008371\*x); ( $\text{NO}_3^- = (\text{NF}) y = 5.571 + 332.559*x^{-1.072}$ ; ( $\frac{1}{2}\text{NF}$ )  $y = 4.733 + 723.163*x^{-1.361}$ ; ( $\text{NCI}$ )  $y = 6.480 + 6575000*x^{4.342}$ ; ( $\text{NSI}$ )  $y = 4.711 + 14640.121*x^{2.463}$ ; ( $\text{SN}$ )  $y = 13.270419 - 0.439530*x + 0.004933 *x^2$  platô aos 44.5 dias após a aplicação).....58

Figura 7. Relação entre o componente principal 1 (PC1) e o componente principal 2 (PC2) para variáveis de crescimento (concentração de N em folhas coletadas no pleno florescimento e na mudança da cor nas bagas; diâmetro de caule no pleno florescimento e na mudança de cor nas bagas), de produção (número de cachos por planta, produção de uva por planta, peso de 100 bagas e número de bagas por cacho) e químicas do mosto (sólidos solúveis totais - SST, pH, acidez total titulável - ATT e antocianinas totais- AT), em videiras ‘Alicante Bouschet’ submetidas a modos de fornecimento de N. (NF- Nitrogênio via Fertirrigação; NCI- Nitrogênio Com Irrigação; NSI- Nitrogênio Sem Irrigação;  $\frac{1}{2}$  NF-  $\frac{1}{2}$  Nitrogênio via Fertirrigação; SN- Sem Nitrogênio).....59

Figura 8. Correlação entre a produtividade por planta (kg) e a concentração de N nas folhas no pleno florescimento (a), e na mudança de cor nas bagas (b), em videiras ‘Alicante Bouschet’ submetidas a modos de fornecimento de N. (NF- Nitrogênio via Fertirrigação; NCI- Nitrogênio Com Irrigação; NSI- Nitrogênio Sem Irrigação;  $\frac{1}{2}$  NF-  $\frac{1}{2}$  Nitrogênio via Fertirrigação; SN- Sem Nitrogênio).....60

## ARTIGO 2

Figura 1. Distribuição espacial das médias de temperatura e precipitação acumulada anual entre os anos 1997/98 a 2016/17 (os três últimos anos estão destacados) mensurada na estação experimental em Santana do Livramento, Rio Grande do Sul, Brasil. Linhas tracejadas retratam a média dos últimos 20 anos para as variáveis, precipitação acumulada (mm) e temperatura média (°C).....88

Figura 2. Particionamento de variância para modos de fornecimento de N, doses de N, anos (safras), interações e residual (erro) da variância total para cada variável analisada em videiras ‘Alicante Bouschet’, submetidas a modos de fornecimento de doses de N (NF = Nitrogênio via Fertirrigação, NCI = Nitrogênio Com Irrigação, NSI = Nitrogênio Sem Irrigação, SST = Sólidos Solúveis Totais, ATT = Acidez Total Titulável, PT = Polifenóis Totais, AT = Antocianinas Totais).....89

Figura 3. Concentração de N em folhas no pleno florescimento (a) e na mudança de cor das bagas (b); diâmetro de caule no pleno florescimento (c) e na mudança de cor das bagas (d), em videiras ‘Alicante Bouschet’, submetidas a modos de fornecimento de doses de N (NF = Nitrogênio via Fertirrigação, NCI = Nitrogênio Com Irrigação, NSI = Nitrogênio Sem Irrigação).....90

Figura 4. Comprimento de cacho (a), largura de cacho (b), número de bagas por cacho (c), número de cachos (d), peso de 100 bagas (e) e produtividade de uva por planta (f) em videiras ‘Alicante Bouschet’, submetidas a modos de fornecimento de doses de N. (NF = Nitrogênio via Fertirrigação, NCI = Nitrogênio Com Irrigação, NSI = Nitrogênio Sem Irrigação).....91

Figura 5. Acidez total titulável (ATT) (a); pH (b); antocianinas totais (AT) (c); polifenóis totais (PT) (d); e sólidos solúveis totais (SST) (e), em videiras ‘Alicante Bouschet’ submetidas a modos de fornecimento de doses de N (NF = Nitrogênio via Fertirrigação, NCI = Nitrogênio Com Irrigação, NSI = Nitrogênio Sem Irrigação).....92

Figura 6. Relação entre o componente principal 1 (PC1) e o componente principal 2 (PC2) para variáveis (a) concentração de N em folhas no pleno florescimento (Nf), concentração de N em folhas na mudança de cor das bagas (Nm), diâmetro de caule no pleno florescimento (Df), diâmetro de caule na mudança de cor das bagas (Dm), peso de 100 bagas (Peso100b), número de bagas (Nºb), número de cachos por planta (Nºc), comprimento de cacho (Cc), largura de cacho (Lc), produção por planta, sólidos solúveis totais (SST), pH, acidez total titulável (ATT), polifenóis totais (PT) e antocianinas totais (AT), em videiras ‘Alicante Bouschet’ submetidas a modos de fornecimento de doses de N, durante as safras 2014/15, 2015/16 e 2016/17 (b). (NF = Nitrogênio via Fertirrigação, NCI = Nitrogênio Com Irrigação, NSI = Nitrogênio Sem Irrigação). As isolinhas delimitam as doses de N (kg ha<sup>-1</sup>).....93

Figura 7. Análise de fronteira entre a concentração de N em folhas no pleno florescimento (a) e na mudança da cor das bagas (b), e a produtividade de videiras ‘Alicante Bouschet’ submetidas a modos de fornecimento de doses de N.....94

## LISTA DE TABELAS

### ARTIGO 2

- Tabela 1. Valores médios da concentração de N em folhas durante o florescimento, mensuração de diâmetro durante o florescimento e mudança de cor das bagas, produção por planta, e concentração de antocianinas totais em videiras ‘Alicante Bouschet’, submetidas a modos de fornecimento de doses de N sem interação significativa.....86
- Tabela 2. Valores médios de concentração de N em folhas durante a mudança de cor nas bagas (Nmcb), número de bagas por cachos, largura de cacho, acidez total titulável (ATT), sólidos solúveis totais (SST), pH, polifenóis totais (PT) em videiras videiras ‘Alicante Bouschet’, submetidas a modos de fornecimento de doses de N com interação significativa pelo teste Tukey.....86
- Suplemento. Análise de variância da concentração de N em folhas e diâmetro de caule, ambas no pleno florescimento e mudança de cor das bagas, comprimento, largura e número de cachos por planta, número e peso de 100 bagas, produção por planta, acidez total titulável (ATT), sólidos solúveis totais (SST), pH, antocianinas totais (AT) e polifenóis totais (PT).....95

## LISTA DE APÊNDICES

- Apêndice 1 – Vista geral do vinhedo de ‘Alicante Bouschet’ na área experimental em Santana do Livramento, Região da Campanha Gaúcha do Rio Grande do Sul, Sul do Brasil.....105
- Apêndice 2 – Aplicação de nitrogênio (N) em videiras ‘Alicante Bouschet’ sobre a superfície do solo sem incorporação (esquerda), seguida de irrigação (centro), e via fertirrigação (direita).....106
- Apêndice 3 – Desenvolvimento de videiras ‘Alicante Bouschet’ durante as quatro estações do ano, primavera (esquerda superior), verão (direita superior), outono (esquerda inferior) e inverno (direita inferior).....107
- Apêndice 4 – Videiras ‘Alicante Bouschet’ durante o pleno florescimento (esquerda superior), a mudança de cor nas bagas (direita superior), potencial produtivo de uva (esquerda inferior) e excesso de vigor (direita inferior).....108
- Apêndice 5 – Processamento das bagas para análises químicas do mosto de uvas de videiras ‘Alicante Bouschet’ submetidas a modos de fornecimento de doses de N...109
- Apêndice 6 – Determinação de pH (1<sup>a</sup>), (acidez total titulável) ATT (2<sup>a</sup>), SST (sólidos solúveis totais) (3<sup>a</sup>), e antocianinas totais (AT) (4<sup>a</sup>) no mosto de uvas de videiras ‘Alicante Bouschet’ submetidas a aplicação de modos de fornecimento de doses de N.....110

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	<b>17</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>19</b>
2.1 A VITIVINICULTURA NO BRASIL, RIO GRANDE DO SUL E CAMPANHA GAÚCHA .....	19
2.2 CRITÉRIOS DE PREDIÇÃO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA EM VIDEIRAS .....	21
2.3 FORMAS DE N NO SOLO .....	22
2.4 ABSORÇÃO DE N PELA VIDEIRA E O IMPACTO SOBRE O CRESCIMENTO, PRODUÇÃO E COMPOSIÇÃO DA UVA .....	24
2.5 ESTRATÉGIAS PARA AUMENTAR O APROVEITAMENTO DE N APLICADO EM VINHEDOS .....	27
<b>3 HIPÓTESES</b> .....	<b>30</b>
<b>4 OBJETIVOS</b> .....	<b>30</b>
4.1 OBJETIVO GERAL .....	30
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	30
<b>5. ARTIGO 1. PRODUÇÃO E COMPOSIÇÃO DO MOSTO EM VIDEIRAS ‘Alicante Bouschet’ SUBMETIDAS A MODOS DE FORNECIMENTO DE NITROGÊNIO</b> .....	<b>31</b>
5.1 INTRODUÇÃO .....	32
5.2 MATERIAL E MÉTODOS .....	34
5.2.1 Caracterização da área experimental .....	34
5.2.2 Tratamentos .....	35
5.2.3 Coleta de folhas para análise de N e mensuração de diâmetro de caule....	35
5.2.4 Coleta de solução do solo e determinação de $\text{NH}_4^+$ e $\text{NO}_3^-$ .....	36
5.2.5 Produção de uva e seus componentes .....	36
5.2.6 Análises químicas do mosto .....	37
5.2.7 Análises Estatísticas .....	38
5.2 RESULTADOS .....	39
5.3.1 Concentração de N em folhas e diâmetro de caules .....	40
5.3.2 Produção de uva .....	40
5.3.3 Parâmetros químicos do mosto .....	40
5.3.4 Concentração de formas de N na solução do solo .....	41
5.3.5 Análise de Componentes Principais (ACP) .....	41
5.4 DISCUSSÃO .....	42
5.5 CONCLUSÕES .....	48
REFERÊNCIAS .....	48



<b>6. ARTIGO 2. IMPACTO DO MODO DE FORNECIMENTO DE DOSES DE N SOBRE A PRODUÇÃO DE UVA E COMPOSIÇÃO DO MOSTO EM VIDEIRAS ‘Alicante Bouschet’</b> .....	<b>60</b>
6.1 INTRODUÇÃO .....	61
6.2 MATERIAL E MÉTODOS .....	63
6.2.1 Caracterização da área experimental.....	63
6.2.2 Tratamentos .....	64
6.2.3 Coleta de folhas para análise de N e mensuração de diâmetro de caule ....	65
6.2.4 Produtividade e seus componentes .....	66
6.2.5 Análises químicas do mosto .....	67
6.2.6 Análises estatísticas .....	68
6.3 RESULTADOS.....	69
6.3.1 Concentração de N em folhas e diâmetro de caule.....	70
6.3.2 Produção de uva e seus componentes .....	69
6.3.3 Composição do mosto.....	70
6.3.4 Análise de componentes principais .....	71
6.4 DISCUSSÃO .....	73
6.5 CONCLUSÕES .....	78
REFERÊNCIAS .....	79
<b>7 DISCUSSÃO GERAL.....</b>	<b>95</b>
<b>8 ESTUDOS FUTUROS.....</b>	<b>98</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>99</b>
<b>9 APÊNDICES.....</b>	<b>103</b>



## 1 INTRODUÇÃO GERAL

O cultivo da videira no Brasil se concentra nas regiões Sul e Sudeste, com destaque para os Estados do Rio Grande do Sul (RS), Santa Catarina (SC) e São Paulo (SP). A totalidade da produção de uva é destinada à agroindústria de suco, vinho e espumante. No Nordeste do País se destacam os estados de Pernambuco e Bahia, como grandes produtores de uva de mesa, os quais utilizam práticas de manejo avançadas, como a fertirrigação. Mas, o RS é o maior produtor de uvas do Brasil e possui em torno de 50 mil hectares cultivados com videiras. A região da Serra Gaúcha é responsável por 90% da produção, o que corresponde a 800 mil toneladas de uva para elaboração de vinhos e espumantes (MELLO, 2017). A partir da década de 70, devido à expansão das fronteiras agrícolas, campos naturais da região da Campanha Gaúcha do RS foram incorporados ao sistema de produção de uvas. Assim, cultivares tintas como ‘*Cabernet Sauvignon*’, ‘*Tannat*’, ‘*Merlot*’ e ‘*Alicante Bouschet*’, entre outras foram implantadas pelos viticultores porque normalmente produzem grande quantidade de uva por área. Mas, no caso da ‘*Alicante Bouschet*’ a sua uva também pode ser misturada a uvas de outras cultivares, para aumentar a intensidade da coloração do vinho (MELLO, 2010).

Os vinhedos na Campanha Gaúcha do RS normalmente são implantados em solos Argissolos (EMBRAPA, 2013), com textura arenosa, ácidos, com baixa disponibilidade de nutrientes e baixos conteúdos de matéria orgânica, o que lhes confere hipoteticamente, baixa disponibilidade de nitrogênio (N) e, por isso, torna-se necessária à aplicação suplementar do nutriente (BRUNETTO et al., 2014; LORENSINI et al., 2017). Atualmente, a Comissão de Química e Fertilidade do Solo do RS e SC (CQFS-RS/SC, 2016) define a necessidade e a dose de N em videiras com base na concentração de N nas folhas e na expectativa de produtividade. Entretanto, caso não houver sido realizada a análise de tecido anteriormente, recomenda-se a utilização do conteúdo de matéria orgânica do solo para definição da dose de N a ser aplicada. Em solos arenosos, como os que ocorrem em grande parte dos vinhedos da região da Campanha do RS, os conteúdos de matéria orgânica tendem a ser menores que 25 g kg<sup>-1</sup> e, por isso, a dose de N recomendada geralmente é próxima de 40 kg N ha<sup>-1</sup> (CQFS-RS/SC, 2016). A aplicação do N normalmente é realizada na projeção da copa das plantas, sobre a superfície do solo e sem incorporação, para evitar danos mecânicos às raízes. Mas, por causa disso, as perdas de N por volatilização podem ser elevadas (LORENSINI et al., 2012), o que pode explicar em parte o pequeno aproveitamento de N derivado do fertilizante pelas videiras (BRUNETTO et al., 2006; BRUNETTO et al., 2016).

O pequeno aproveitamento de N pelas videiras pode afetar negativamente o crescimento radicular (EISSENSTAT et al., 2006), o estado nutricional (SCHREINER & SCAGEL, 2006), a produtividade (BRUNETTO et al., 2009) e a composição da uva e do seu mosto (CHENG et al., 2014). Por isso, torna-se necessário a realização de experimentos de calibração, preferencialmente de média e longa duração, para definição de doses de N adequadas em diferentes modos de fornecimento, como a fertirrigação ou aplicação de N seguida de irrigação. Isso porque, se espera que a disponibilidade de água no solo aumente a aproximação de formas de N derivadas do fertilizante aplicado à superfície externa das raízes, potencializando a absorção do N pelas videiras. Mas também, que o fluxo descendente de água no perfil do solo possa conduzir as formas de N para regiões com maior presença de raízes das videiras, potencializando a absorção de N e, por consequência, diminuindo as suas perdas, especialmente, por volatilização. Porém, não é suficientemente conhecido qual o real impacto do fornecimento de doses de N por estes modos alternativos de fornecimento de N, como a fertirrigação ou aplicação de N seguida de irrigação, sobre, o estado nutricional das plantas, a produção de uva e seus componentes, como, número de cachos por planta, comprimento e largura de cachos, peso de 100 bagas; e sobre a composição da uva ou do seu mosto, que pode ser mensurada pelos valores de sólidos solúveis totais (SST), acidez total titulável (ATT), valores de pH, antocianinas totais (AT), polifenóis totais (PT) entre outras variáveis enológicas, que são determinantes da qualidade do vinho.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 A VITIVINICULTURA NO BRASIL, RIO GRANDE DO SUL E CAMPANHA GAÚCHA

O cultivo da videira é uma das práticas agrícolas mais antigas do Mundo, datando-se de 4000 a 8000 anos atrás, na Armênia antiga. Entre as regiões mais expressivas, destacam-se as de clima mediterrâneo e temperado, pois, quando a videira é cultivada em condições de temperatura amena e baixa precipitação, a uva e os seus subprodutos, como o suco e o vinho apresentam melhor qualidade (MIELE e RIZZON, 2003). No Brasil, a videira foi introduzida pelos portugueses e teve seu cultivo intensificado devido à colonização italiana. Atualmente, a vitivinicultura brasileira pertence a um seleto grupo, chamado de novo mundo vitícola, no qual se encontram potências agrícolas no ramo da viticultura, como os Estados Unidos, a Argentina, o Chile, a África do Sul e a Austrália, os quais cultivam variedades importadas de tradicionais países produtores de regiões mediterrâneas. Atrelado à globalização, outro fator importante é a intensificação do uso de novas tecnologias no processo produtivo, bem como a adesão de novas áreas com condições edafoclimáticas favoráveis (VIEIRA et al., 2012).

A produção de uva nos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina na região Sul e em São Paulo, região Sudeste do Brasil, na safra 2016 foi considerada atípica. Esse comportamento foi atribuído a diversos fatores, entre eles destacaram-se a ocorrência de inverno ameno, primavera antecipada, geada tardia, excesso de chuvas durante a brotação e até granizo. A queda acentuada da produção gerou aumento nos preços dos produtos. A produção de uvas no Brasil durante a safra 2016 foi de 984.244 toneladas, 34,27% menor que a verificada em 2015, e distribuída em uma área total de 77.786 hectares. A produção de uvas destinadas ao processamento (vinho, suco e derivados) foi de 300,3 milhões de quilogramas, o que representou 30,51% da produção nacional. O restante da produção, 69,48%, foi destinado ao consumo *in natura*. A produção de vinhos finos, elaborados com uvas *Vitis vinifera* L., apresentou queda de 51,36%, sendo que, nos vinhos tintos a diminuição foi de 47,60%, nos brancos de 55,50% e nos rosados de 29,77% (MELLO, 2017).

No quesito importação, os espumantes e uvas de mesa nacionais sofreram diminuição de 14,26% e 17,53% respectivamente, enquanto os vinhos e uvas passas apresentaram acréscimo de 11,81% e 8,55%, ambos comparados à safra 2015 durante o mesmo período. As exportações brasileiras, de janeiro a novembro, comparativamente com o mesmo período de 2015, tiveram desempenho positivo, com exceção das uvas de mesa, que apresentaram diminuição de 12,66%. O aumento na quantidade vendida de espumante, vinho e suco destinada

ao mercado externo foi respectivamente 36,69%, 39,04% e 17,70% (MELLO, 2017). A diferença entre venda e produção foi regulada majoritariamente pelos estoques construídos em anos anteriores.

Considerando os dados de 2016, o RS possui a maior área cultivada com videiras do Brasil, sendo em torno de 50.019 hectares, o que representa 64,30% da área plantada do País (MELLO, 2017). Na safra 2016 foram produzidas 416.631 mil toneladas de uvas, sendo que deste total 89,24% eram uvas americanas e híbridas e 10,76% de uvas viníferas. A produção de vinhos, sucos e derivados em 2016 foi de 244,92 milhões de litros, 57,99% a menos que à verificada em 2015, eventualmente em decorrência da diminuição na produção de uvas (MELLO, 2017). O segmento de suco tem sido uma alternativa para a sustentabilidade da vitivinicultura gaúcha, pois, absorve parte da produção de uvas americanas e híbridas que tradicionalmente eram absorvidas pelos vinhos de mesa.

O RS, o qual é responsável por cerca de 90% da produção nacional de uvas destinadas à confecção de vinhos e espumantes, apresenta diferentes regiões produtoras. Dentre as principais regiões, destaca-se a Serra Gaúcha do RS, com cerca de 40 mil hectares de vinhedos implantados, sendo Bento Gonçalves o município mais representativo em produção. A vitivinicultura nesta região tem caráter familiar, alicerçado sob a filosofia cooperativista, sendo que os vinhedos estão localizados, predominantemente, em áreas de relevo acidentado. O predomínio de cultivo é com uvas americanas (*V. labrusca*, *V. bourquina*) e híbridas, tendo a cultivar 'Isabel' como a mais plantada. A maior parte da uva colhida é destinada à elaboração de vinhos, sucos e outros derivados (MELLO, 2013).

Durante expansão das fronteiras agrícolas na década de 70, áreas de campo natural da região da Campanha Gaúcha do RS foram incorporadas ao sistema de produção de uva (BRUNETTO et al., 2008). Atualmente, esta região é a segunda maior produtora de vinhos do Brasil e estima-se que mais de dois mil hectares sejam cultivados com videiras, sendo destaque da região o município de Santana do Livramento, pioneiro na produção. A área cultivada corresponde a 25% da produção de vinhos finos do Brasil, e a produção estimada é de 12 milhões de litros por ano, com perspectiva de atingir 20 milhões de litros em cinco anos. A região trabalha diretamente com temas atuais que chamam a atenção da sociedade, como a sustentabilidade, aliando belas paisagens naturais à inovação e preservação. A topografia da região apresenta suaves coxilhas, as quais permitem a mecanização da cultura e utilização de técnicas especiais de manejo do solo, que busquem a preservação do Bioma Pampa. A cultura foi instalada predominantemente em solos de textura arenosa, o que favorece a drenagem, e com baixos teores de matéria orgânica (BRUNETTO et al., 2008; BRUNETTO et al., 2009;

SCHMIDTT et al., 2014), o que confere baixa disponibilidade de N mineral as plantas, desejado em alguns casos para evitar o excesso de vigor nas videiras. Entretanto, por outro lado, torna-se necessária a aplicação de fontes de N para suprir a demanda nutricional da planta (BRUNETTO et al., 2008).

## 2.2 CRITÉRIOS DE PREDIÇÃO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA EM VIDEIRAS

A recomendação da adubação nitrogenada para a cultura da videira em regiões produtoras tradicionais do Mundo é baseada, preferencialmente, na análise de solo e/ou órgão vegetal. Normalmente utilizando-se a folha, considerada como órgão diagnóstico, devido sua participação no processo de translocação de foto-assimilados nos períodos de crescimento (TAGLIAVINI & MILLARD, 2005). Entretanto, a frequência para a realização das coletas de solo e a dificuldade em quantificar o N disponível em amostras de solo, impossibilita a recomendação da dose a ser aplicada. Assim, normalmente os sistemas de recomendação de adubação consideram o conteúdo de matéria orgânica do solo, para predição da necessidade e doses de N (CQFS-RS/SC, 2016).

Nos estados do RS e SC antes da instalação dos vinhedos, tem sido utilizado o conteúdo de matéria orgânica do solo como critério base para a definição da necessidade e dose de N a ser aplicada na adubação de pré-plantio e crescimento em videiras (CQFS-RS/SC, 2016). A utilização do conteúdo de matéria orgânica do solo para recomendação da dose é fundamentada pela possibilidade da mineralização do N, presente nos compostos orgânicos, por causa da ação dos microrganismos; e na futura disponibilização de formas de N na solução do solo ( $\text{NO}_3^-$  e  $\text{NH}_4^+$ ), que podem ser absorvidas pelas videiras. Porém, talvez o mais adequado fosse o estabelecimento de uma melhor dose de N, através da realização de experimentos regionais de calibração, onde a dose a ser recomendada fosse correlacionada com parâmetros de crescimento, produção e composição da uva ou também dos subprodutos elaborados, como o mosto e o vinho.

O propósito da utilização da adubação nitrogenada é aumentar o acúmulo de foto-assimilados, e antecipar a formação da estrutura vegetativa da planta (POMMER, 2003). Assim, a Comissão de Química e Fertilidade do Solo do RS e SC (CQFS-RS/SC, 2016) define a necessidade e a dose de N em videiras em produção com base na sua concentração em folhas e na expectativa de produtividade. Entretanto, caso a análise de tecido não esteja disponível, recomenda-se a utilização da análise de solo, baseando-se no conteúdo de matéria orgânica, geralmente inferior a 2,5%, na maioria dos solos agrícolas brasileiros. A aplicação normalmente

é recomendada na área de projeção da copa das videiras, sobre a superfície do solo, sem incorporação, para evitar danos mecânicos às raízes; durante o período da brotação, onde a emissão de raízes novas esta sendo estimulada (BRUNETTO et al., 2009; EMBRAPA, 2016).

A pesquisa tem apresentado bons resultados relacionados ao crescimento inicial de videiras e produção de uvas, quando submetidas a menores doses de N. Porém, não é suficientemente conhecido o efeito da aplicação de doses de N, quando fornecidas em diferentes modos de aplicação, como a fertirrigação ou mesmo a aplicação seguida de irrigação. Esses estudos são necessários para compreender melhor a relação da adubação com o sistema solo-planta, reduzindo perdas de N para o ambiente, maximizando o aproveitamento do N pelas videiras, e monitorando as alterações químicas na uva, mosto e vinho.

### 2.3 FORMAS DE N NO SOLO

A maior parte do N presente no solo está ligado a compostos orgânicos, de peso molecular variável, e que são passíveis de transformação por microrganismos. O N na forma orgânica (N-org) pode ser transformado em N-mineral, a partir do momento que seus compostos forem utilizados como fonte de matéria e energia, aliado a certa quantidade de N excedente, que será aproveitado pelos microrganismos (CAMARGO et al., 2008). Portanto, a fração de N-mineral existente no solo é variável, já que depende de fatores climático-ambientais, os quais interferem na atividade dos microrganismos e na relação C/N dos compostos utilizados (CANTARELLA et al., 2008).

O N-mineral liberado dos materiais orgânicos pelo processo de mineralização está na forma amoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ), sendo imediatamente transformado em nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), por bactérias quimio-autotróficas do gênero *nitrosomonas*, e rapidamente convertido a nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), por bactérias nitrificantes do gênero *nitrobacter* (ROGERI et al., 2015). Assim, a forma mais estável de N e que se acumula no solo é o  $\text{NO}_3^-$ , podendo ser reutilizado por outros microrganismos, absorvido por plantas superiores ou perdido no ambiente (LI et al., 2013). Somado a isso, caso no vinhedo existam plantas que coabitem com a videira, como plantas nativas do Bioma Pampa, e que, no decorrer do período produtivo tenham seus resíduos vegetais disponibilizados através da roçada em superfície, ou mesmo, sejam incorporados ao solo, possibilitarão assim, o desenvolvimento de um número maior de microrganismos, devido o aporte de matéria e energia ao sistema. Entretanto, caso o N do resíduo seja considerado insuficiente pela demanda dos microrganismos, estes utilizarão o N mineral do solo, o que



resultará no processo de imobilização, que irá variar conforme o tempo e a disponibilidade de energia (GIACOMINI et al., 2009; DONEDA et al., 2012).

O N pode ser perdido para o sistema basicamente de três formas, lixiviação, volatilização e desnitrificação. A desnitrificação tem maior importância em áreas alagadas, onde haverá utilização do  $\text{NO}_2^-$  e  $\text{NO}_3^-$  como acceptor final de elétrons na cadeia respiratória (CANTARELLA et al., 2008; ROCHETTE et al., 2008). A aplicação de N no solo, normalmente, ocorre sobre a superfície do solo e sem incorporação, principalmente na forma de ureia. Esta maneira de aplicação deixa o grânulo exposto à radiação, temperaturas elevadas e correntes de ar, o que favorece a perda de  $\text{N-NH}_3$  por volatilização (LORENSINI et al., 2012; VIERO et al., 2014). Após a aplicação da ureia  $[(\text{NH}_2)_2\text{CO}]$  no solo, ocorre a hidrólise por enzimas extracelulares ureases, produzidas por microrganismos do solo, como bactérias, fungos e actinomicetos, resultando na formação de carbonato de amônio  $[\text{CO}(\text{NH}_2)_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow (\text{NH}_4)_2\text{CO}_3]$ , que se decompõe rapidamente, originando amônio ( $\text{NH}_4^+$ ), bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ), e hidroxila ( $\text{OH}^-$ ), o que implica na elevação do pH na região ao redor dos grânulos do fertilizante (ERNANI et al., 2001; BRUNETTO et al., 2016). O  $\text{HCO}_3^-$  é decomposto em  $\text{CO}_2$  e  $\text{OH}^-$ , e caso parte do  $\text{NH}_4^+$  reaja com  $\text{OH}^-$ , ocorrerá a formação de amônia ( $\text{N-NH}_3$ ), e esta poderá ser perdida para a atmosfera, caso a ureia não seja incorporada de alguma forma ao solo.

A lixiviação é um fenômeno natural que ocorre em sistemas abertos, como o solo. Ao longo do processo de intemperismo, os íons são carregados pela água da chuva das camadas mais superficiais até as mais profundas do perfil de solo. Parte do amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) resultante da decomposição da ureia pode ser oxidado biologicamente, passando da forma nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), rapidamente, a nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) (BRUNETTO et al., 2016). Dentre os íons, o ânion nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) é a forma de N mais abundante no solo, principalmente após a aplicação da ureia. O  $\text{NO}_3^-$  faz complexo de esfera externa com os grupos funcionais de superfície de partículas reativas. A sua adsorção é afetada pela força iônica da fase aquosa, sendo rápida e reversível. Este tipo de ligação é geralmente chamado de adsorção física e ocorre na região da dupla camada difusa, caracterizando-se por ser uma atração eletrostática de baixa energia (ESSINGTON, 2003; SPARKS, 2003; SPOSITO 2007). A frequência e intensidade das precipitações, associadas às características morfofisiológicas do solo, influenciam diretamente na infiltração de água e, por consequência, no fluxo descendente de nutrientes, como por exemplo, na lixiviação de  $\text{NO}_3^-$  (LORENSINI et al., 2012). A lixiviação pode também ser potencializada pela frequente aplicação de lâminas de água, a partir da irrigação, sem o devido controle evapotranspiratório da cultura em vigência.

## 2.4 ABSORÇÃO DE N PELA VIDEIRA E O IMPACTO SOBRE O CRESCIMENTO, PRODUÇÃO E COMPOSIÇÃO DA UVA

A absorção de N pelas videiras ocorre, preferencialmente, na forma mineral ( $\text{NO}_3^-$  e  $\text{NH}_4^+$ ), porém, em casos de necessidade extrema, os compostos orgânicos, como aminoácidos são absorvidos, mas em menor quantidade (EPSTEIN; BLOOM, 2006). O movimento da água no solo ocorre por fluxo de massa, governado por um gradiente de pressão, resultante das interfaces entre ar-água curvas, onde a água flui de regiões de maior conteúdo de água no solo, para regiões de menor conteúdo de água (TAIZ; ZEIGER, 2013). A absorção efetiva de água e de nutrientes necessita de um contato íntimo entre a superfície das raízes e o solo, sendo maximizado pelo crescimento das raízes e pelos radiculares. A penetração de água nas raízes ocorre principalmente nos ápices, sendo que, nas regiões mais maduras o tecido subepidérmico contém material hidrofóbico (ZWIENIECKI et al., 2002).

O N pode ser absorvido pela videira nas formas iônicas de  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$ , sendo que, o  $\text{NH}_4^+$  tende a ser absorvido primeiro, devido o maior número de cargas negativas presentes no citoplasma da célula, em função do bombeamento de hidrogênios ( $\text{H}^+$ ) para a parede celular e vacúolo, pelas  $\text{H}^+$ -APTases (MARSCHNER, 2012). Devido o  $\text{NH}_4^+$  já estar na forma reduzida e pronto para ser assimilado, sua absorção é favorecida em relação ao  $\text{NO}_3^-$  (LI et al., 2013). Entretanto, na planta, altas concentrações de  $\text{NH}_4^+$  podem ser tóxicas, em razão da reação com hidroxilas no citoplasma formar água e  $\text{N-NH}_3$ , que então poderão reagir com prótons  $\text{H}^+$  no vacúolo, e produzir novamente  $\text{N-NH}_4^+$ . Essa dinâmica de  $\text{OH}^-$  no citoplasma e  $\text{H}^+$  no vacúolo pode dissipar o gradiente eletroquímico utilizado no transporte de nutrientes (via carregadores, bombas e canais iônicos) entre os compartimentos, na formação de APT e no transporte de elétrons da cadeia respiratória e fotossíntese (PRADO, 2013; TAIZ; ZEIGER, 2013). Porém, os solos em geral apresentam baixas concentrações de  $\text{NH}_4^+$ , o qual predomina em solos muito ácidos, encharcados ou congelados, onde a atividade de bactérias é muito baixa (PRADO, 2013). Já a absorção de  $\text{NO}_3^-$  ocorre por meio de transportadores do tipo simporte ( $\text{H}^+$ - $\text{NO}_3^-$ ) (TAIZ; ZEIGER, 2013). Para assimilação do  $\text{NO}_3^-$ , o mesmo é absorvido, primeiramente, sofre redução à nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), por enzimas nitrato redutase no citosol das raízes, e então o  $\text{NO}_2^-$  é reduzido a  $\text{NH}_4^+$  pelas enzimas nitrito redutase (MARSCHNER, 2012).

O N absorvido poderá ser transportado, via xilema, na corrente transpiratória, tanto na forma de nitrato, quanto já assimilado, como aminoácidos (aspartato ou glutamato), amidas (asparagina ou glutamina) ou ureídes (alantoína ou ácido alantóico) (EPSTEIN; BLOOM,

2006). O composto mais acumulado pela videira é a arginina, tanto nas raízes, como nos caules e ramos durante o período de inverno, além de aminoácidos e proteínas, formando as reservas de N nos órgãos perenes (ORTIZ-LOPEZ et al., 2000). O processo anual e natural de mudança de estação é acompanhado de alterações no comprimento do dia e na temperatura. No período de inverno, a videira forma suas reservas de N em órgãos perenes, a partir da degradação e redistribuição do N de folhas (anuais) para ramos, caule e raízes (perenes). Essa reserva possibilita a manutenção dos processos bioquímicos e fisiológicos da videira durante um período de semi-dormência. A primavera promove o aumento do comprimento do dia e temperatura, estimulando o crescimento vegetativo, e a redistribuição do N mobilizado nos órgãos perenes para os órgãos em maior atividade metabólica, como os ramos do ano, folhas e cachos (MILLARD; GRELET, 2010; ZAMBROSI et al., 2012; BRUNETTO et al., 2006). Os processos de absorção, acúmulo e redistribuição são dinâmicos, e interferem nas reservas internas da planta e na manutenção de N mineral do solo e da solução.

A aplicação de altas doses de fertilizantes nitrogenados em vinhedos, como a ureia, propiciam o incremento de formas de N-mineral no solo, como  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{NH}_4^+$ , os quais podem estimular o crescimento vegetativo demasiado da parte aérea das plantas (BARLOW et al., 2009). Assim, pode ocorrer a diminuição da incidência de radiação solar direta nos frutos da videira, e tal efeito, associado a frequentes precipitações durante o verão, podem favorecer a instalação de doenças fúngicas, reduzindo a fecundação das flores, diminuindo o número de bagas por cacho e também, retardando a senescência natural das folhas (DUCHÊNE et al., 2001; BRUNETTO et al., 2007; 2009). O vigor excessivo resultante das aplicações de N, também influencia na atividade de enzimas que regulam processos de redistribuição de compostos fenólicos, como as antocianinas totais, responsáveis pela coloração avermelhada nas folhas, uvas, mosto e vinho, além do efeito de diluição nos teores de sólidos solúveis totais, causado pelo aumento da baga e do número de bagas (KELLER; HRAZDINA, 1998; KELLER et al., 1999; BUCCHETTI; INTRIERI, 2007; TESIC et al., 2007; BRUNETTO et al., 2009).

A dinâmica de crescimento radicular das videiras também é afetada pela adição de N. Assim, muitos estudos estão sendo realizados para compreender melhor as relações existentes entre os estágios fenológicos de parte aérea, visualmente identificados e determinantes para o manejo dos vinhedos, e o sistema radicular. Como as videiras são plantas perenes, acumulam reservas durante seu período de semi-dormência, de baixa demanda fisiológica, e redistribuem os foto-assimilados e as reservas nutricionais durante a época de crescimento, a brotação (BRUNETTO et al., 2006). As plantas quando submetidas à aplicação de N podem ter o

crescimento radicular estimulado, sendo que a raiz tende a crescer em direção ao elemento, e concentrar sua distribuição espacial nas zonas de maior concentração do mineral no solo (CECCON et al., 2016). Entretanto, a variação espacial também sofre efeito sazonal, devido ao fluxo de água no solo, as fontes utilizadas, formas e doses de N aplicadas no solo, o que aumenta a complexidade de interpretação dos dados.

A influência da aplicação de N na produção de uva e seus componentes de rendimento não tem ampla concordância entre os pesquisadores, principalmente, devido as diferentes condições edafoclimáticas específicas de cada estudo. Solos de textura arenosa e com baixo teor de matéria orgânica são encontrados em regiões produtoras mundialmente reconhecidas, como Califórnia/EUA, Austrália, Espanha e Campanha Gaúcha do RS/Brasil. Nestas áreas, espera-se que a adição de N propicie incremento na produção de uva, devido à baixa capacidade do solo em fornecer N as videiras (BELL; ROBSON, 1999). Entretanto, em estudos realizados sobre solos de textura média à argilosa, as aplicações de N via ureia pouco afetaram a produtividade. Acredita-se que a videira absorva N de outras fontes, que não advindas do fertilizante mineral, utilizando estratégias como a mineralização de uma fração lábil da matéria orgânica do solo, ou aproveitando o N de resíduos de plantas que coabitam os vinhedos, quando em estágio de decomposição e depositados sobre a superfície do solo, ou ainda, da própria videira, resultantes da poda e senescência de folhas (BRUNETTO et al., 2011; 2014).

Atributos de cunho qualitativo na uva, no mosto e no vinho são estudados mundialmente com ênfase em critérios físico-químicos e gustativos. Alguns resultados obtidos relativos à aplicação de N em videiras e qualidade de mosto foram publicados por Spayd et al. (1994) em Washington (EUA), onde doses crescentes de N propiciaram aumento linear de pH, N total e N amoniacal no mosto. Christensen et al., (1994) e Spayd et al., (1995) ainda visualizaram o decréscimo dos teores de SST com adição de doses de N. Já Peacock et al., (1991) não encontraram alterações no SST, pH e N total no mosto de videiras submetidas a 50 kg N ha<sup>-1</sup>. As pesquisas relacionadas à nutrição de videiras no Brasil são encontradas, majoritariamente, nas regiões produtoras da Serra e Campanha Gaúcha, as quais apresentam características edafoclimáticas completamente distintas. Brunetto et al. (2007; 2009) demonstraram em estudos no Rio Grande do Sul que a aplicação de doses superiores a 30 kg N ha<sup>-1</sup> favoreceram a diminuição da concentração de antocianinas totais no mosto. Somado a isso, a adição de N no solo pode influenciar a concentração do mesmo na baga, como demonstrado por Ough et al. (1968), em estudo realizado na Califórnia (EUA), onde as videiras são cultivadas sobre solos arenosos.

Neste contexto, de dinâmica de absorção e necessidade nutricional da planta, o planejamento da adubação também deve considerar a deposição e a ciclagem de nutrientes das plantas que coabitam os vinhedos (COLUGNATI et al., 2003; PATRICK et al., 2004). Pois, as características da videira implicam em diferenças entre o período vegetativo e produtivo, impactando diretamente nas melhores épocas para aplicação do fertilizante nitrogenado mineral, bem como das estratégias capazes de maximizar o aproveitamento de todos os nutrientes disponibilizados, lenta e rapidamente, durante o ano todo e nos períodos de maior demanda. Assim, se espera que a videira absorva mais N e outros elementos, caso eles estejam disponíveis em quantidades suficientes na solução do solo (BARLOW et al., 2009), e/ou acumule mais nutrientes em outros tecidos de reserva, como ramos (ZAPATA et al., 2005) e raízes (COMAS et al., 2005). Caso isso ocorra, a produção pode ser afetada positivamente (DUCHÊNE et al., 2005; BRUNETTO et al., 2009), assim como, o mosto, que deverá manter parâmetros de químicos desejáveis, como antocianinas totais (TARARA et al., 2008) e sólidos solúveis totais (SST) (KELLY et al., 2017) em níveis satisfatórios. Além, da preocupação social e ambiental, a qual visa o monitoramento do N no solo, medindo as probabilidades de transferência para camadas de solo mais profundas, as quais podem atingir águas superficiais e lençóis freáticos. Essa linha de raciocínio demonstra o interesse atual de produção sustentável, fenômeno já bem conhecido em pomares de frutíferas de tradicionais países produtores (VENTURA et al., 2005; LORENSINI et al., 2012; TOSELLI et al., 2012).

## 2.5 ESTRATÉGIAS PARA AUMENTAR O APROVEITAMENTO DE N APLICADO EM VINHEDOS

Em solos com textura arenosa e com baixo teor de matéria orgânica, como alguns solos que ocorrem na região da Campanha Gaúcha do RS, grande parte do N aplicado pode ser perdido por lixiviação de  $\text{NO}_3^-$  ou por volatilização de  $\text{NH}_3$  (LORENSINI et al., 2012). Esta perda acaba reduzindo a probabilidade de utilização do fertilizante pela videira. Por isso, torna-se necessária a adoção de um conjunto de estratégias que visem à redução de perdas de N no sistema solo-atmosfera e propiciem uma maior recuperação do N ofertado pelas videiras. Uma estratégia é a definição da melhor dose de N a ser aplicada em vinhedos em crescimento e/ou início de produção em diferentes condições de solo, como testado por Brunetto et al. (2009), em videiras '*Cabernet Sauvignon*' cultivadas na região da Serra Gaúcha do RS. No referido estudo a maior produção de uva foi obtida com doses entre 15 e 30 kg N ha<sup>-1</sup>, porém, com

diminuição dos teores de antocianinas totais. Estudos de média duração (três safras) conduzidos por Lorensini et al. (2015), em solo arenoso e com baixo conteúdo de matéria orgânica na Campanha Gaúcha, relataram que a produtividade máxima foi obtida com a aplicação de 20 kg N ha<sup>-1</sup>, sem impacto negativo sobre a qualidade do mosto.

Além da dose ideal, a época de fornecimento de N ainda é controversa na literatura, tanto que Brunetto et al. (2008) realizou estudos com doses de N enriquecidas com 3% átomos de N<sup>15</sup> em excesso, para possibilitar o acompanhamento do N aplicado no sistema durante diferentes estágios fenológicos (brotação, floração, crescimento das bagas). O autor concluiu que as videiras recuperaram de maneira distinta o N ofertado, conforme sua condição de solo, ou seja, quando as videiras foram cultivadas na Serra Gaúcha, recuperaram maior porcentagem do N aplicado de maneira parcelada (25% no início da brotação + 25% na brotação + 25% na floração + 25% no crescimento das bagas), e na Campanha Gaúcha o modo de parcelamento da dose de N não afetou a quantidade do nutriente recuperada, concordando com os resultados mais atuais de Brunetto et al. (2014).

A possibilidade de trabalhar com um conjunto de ferramentas de manejo da adubação surge como medida mais cabível em um cenário que vise aumentar a eficiência de uso do N. Assim, a adequação de modos de fornecimento mais eficientes às doses de N, os quais possibilitem maior desenvolvimento radicular e, conseqüentemente, possibilitem a planta maior capacidade para absorver o N. Após isto, pretende-se estabelecer doses menores de N, devido a maior eficiência do modo de fornecimento, com a finalidade de reduzir perdas, e aumentar o sincronismo oferta-demanda, o qual a planta demonstra fisiologicamente. A busca pela definição dos melhores modos de fornecimento de N para videiras em início de produção (aplicação de N sem irrigação, seguido de irrigação ou via fertirrigação), surge como alternativa à recomendação atual. A fertirrigação é um método eficiente de fornecimento de nutrientes para as plantas, especialmente, às frutíferas, pois disponibiliza nutrientes dissolvidos na água de irrigação, que podem ser prontamente absorvidos pelas plantas (NEILSEN et al. 1998). A maior flexibilidade que a fertirrigação permite no período de aplicação e na precisão do fornecimento de nutrientes depende pouco das condições climáticas (NEILSEN & NEILSEN, 2008). Segundo Kipp (1992), a fertirrigação pode ser utilizada como medida para reduzir o período improdutivo nos pomares jovens. Entretanto, pouco se sabe sobre o real efeito desta prática de manejo associada a corretas doses de N, previamente testadas em experimentos de calibração, tampouco, seu efeito sobre a produção e composição da uva, do mosto e do vinho.

Outra prática que pode ser adotada em vinhedos é o fornecimento de lâmina de água após a aplicação das doses de N. Este procedimento facilita as reações químicas de hidrólise da

molécula de ureia, bem como, favorece a ação dos microrganismos no solo, como fungos que produzem enzimas extracelulares ureases. A maior disponibilidade de água também favorece a infiltração das formas de N no solo, por causa do fluxo descendente, aumentando a concentração de N na solução do solo, e mesmo em camadas mais profundas de solo, onde pode ocorrer um predomínio de raízes passíveis de absorção (COMAS et al., 2005). Ademais, a presença de água pode estimular a mineralização da matéria orgânica, especialmente, em solos arenosos, com pouca proteção física da matéria orgânica, e assim a videira poderá aproveitar o N de ambas as fontes, fertilizante e solo. A importância da temperatura e da umidade na eficiência das reações químicas que ocorrem no ciclo do N já são conhecidas (TASCA et al., 2011), porém, ainda são escassos os estudos à campo que contemplem um balanço de crescimento radicular e de parte aérea, estado nutricional, produtividade, qualidade de uva e perdas no sistema.

### 3 HIPÓTESES

- a) Videiras ‘Alicante Bouschet’ submetidas à dose de N recomendada,  $40 \text{ kg N ha}^{-1}$ , fornecida via fertirrigação, ou mesmo, seguida de irrigação, apresentam maior crescimento vegetativo e produtividade, sem depreciar a composição química do mosto;
- b) A utilização de modos de fornecimento de doses de N mais eficientes em videiras ‘Alicante Bouschet’, como a fertirrigação ou aplicação de N seguida de irrigação, possibilitam a utilização de menores doses de N que as recomendadas atualmente, porque promovem menores perdas de N, maior produtividade e permitem a obtenção de composição química do mosto adequada.

### 4 OBJETIVOS

#### 4.1 OBJETIVO GERAL

Estabelecer os modos de fornecimento de doses de N mais adequados em videiras ‘Alicante Bouschet’ em início de produção.

#### 4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Avaliar o diâmetro de caule, concentração de N em folhas, a produtividade de uva e a composição química do mosto de videiras ‘Alicante Bouschet’ em início de produção, submetidas a modos de fornecimento da dose de N recomendada oficialmente para a cultura;
- b) Avaliar o diâmetro de caule, concentração de N em folhas, a produtividade de uva e a composição química do mosto em videiras ‘Alicante Bouschet’ em início de produção, submetidas a modos de fornecimento de doses de N;
- c) Avaliar as concentrações de  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{NH}_4^+$  na solução do solo, cultivado com videiras ‘Alicante Bouschet’ em início de produção, e submetidas a modos de fornecimento de doses de N.



## 5. ARTIGO 1. PRODUÇÃO E COMPOSIÇÃO DO MOSTO EM VIDEIRAS ‘Alicante Bouschet’ SUBMETIDAS A MODOS DE FORNECIMENTO DE NITROGÊNIO

### Resumo

Os solos arenosos e com baixos conteúdos de matéria orgânica possuem baixa disponibilidade de nitrogênio (N) às videiras e, por isso, é necessário o fornecimento de N. Porém, não é suficientemente conhecido em regiões subtropicais qual o modo de fornecimento de N mais adequado, permitindo rápido crescimento das videiras, máxima produtividade de uva, mosto com qualidade desejada e pequenas perdas de N ao ambiente. O estudo objetivou avaliar a produção e composição química do mosto em videiras submetidas a modos de fornecimento de N. O experimento foi instalado em 2013, em um vinhedo implantado em 2011, na região Sul do Brasil. As avaliações foram realizadas durante quatro safras. A cultivar foi ‘Alicante Bouschet’, enxertada sobre porta-enxerto Paulsen 1103. Os tratamentos foram sem aplicação de N (SN), aplicação de 20 kg N ha<sup>-1</sup> + 20 kg N ha<sup>-1</sup> sem irrigação (NSI), aplicação de 20 kg N ha<sup>-1</sup> + 20 kg N ha<sup>-1</sup> com irrigação (NCI), aplicação de 20 kg N ha<sup>-1</sup> + 20 kg N ha<sup>-1</sup> via fertirrigação (NF) e aplicação de 20 kg N ha<sup>-1</sup> via fertirrigação (½NF). Folhas foram coletadas no pleno florescimento e mudança de cor das bagas, preparadas e submetidas à análise da concentração de N. O diâmetro de caule das plantas foi mensurado. A produção de uva e seus componentes (número de cachos por planta, massa de 100 bagas e número de bagas) foram determinados. Os sólidos solúveis totais (SST), pH, acidez total titulável (ATT) e antocianinas totais (AT) foram avaliados no mosto. Lisímetros com cápsula porosa foram instalados na profundidade de 0.20 m para coleta de solução do solo, que foi preparada e submetida à análise das concentrações de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. As videiras submetidas à aplicação de NF e NCI em praticamente todas as safras aproveitaram mais o N ofertado, porque apresentaram maiores concentrações de N em folhas, maior incremento de diâmetro de caule, produziram as maiores quantidades de uva, devido a maior concentração de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> na solução do solo. Porém, o mosto destas uvas apresentaram menores valores de SST, AT e maiores valores de ATT.

**Palavras-chave:** adubação nitrogenada, fertirrigação, concentração de N foliar, composição da uva, *Vitis vinifera* L.

### Abstract

Sandy soils with low organic matter content have low nitrogen (N) availability to the vines, and therefore, N supply it is necessary. However, in subtropical regions, it is not sufficiently known which mode of N supply is the most adequate to promote rapid grapevine growth, maximum grape yield, desired must quality and small N losses. The objective of this study was to evaluate the production and must chemical composition of vines submitted to N. supply modes. The experiment was installed in 2013 on a vineyard implanted in 2011 in the southern Brazil. The evaluations were carried out during four harvests. The treatments were: without N application (SN), application of 20 kg N ha<sup>-1</sup> + 20 kg N ha<sup>-1</sup> without irrigation (NSI), application of 20 kg N ha<sup>-1</sup> + 20 kg N ha<sup>-1</sup> followed by irrigation (NCI), application of 20 kg N ha<sup>-1</sup> + 20 kg N ha<sup>-1</sup> by fertigation (NF) and application of 20 kg N ha<sup>-1</sup> by fertigation (1/2NF). Leaves were collected at flowering and at veraison phenological stages. Leaves were prepared and submitted to N concentration analysis. The plants stem diameter was measured. Grape production and productivity components (number of plant bunches, mass of 100 berries and number of berries) were determined. Total soluble solids (SST), pH, total titratable acidity (ATT) and total anthocyanins (AT) were evaluated on must. Lysimeters with porous capsule were installed at a depth of 0.20 m for soil solution collection, which was prepared and submitted to analysis of NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e NO<sub>3</sub><sup>-</sup> concentrations. Vines that were submitted to NF and NCI application, were more efficient on N use in practically all harvests. They presented higher N concentrations in leaves, highest increase of stem diameter. Besides that, they produced the greater quantities of grape due to the higher concentration of NO<sub>3</sub><sup>-</sup> in the soil solution. However, the must of these grapes presented lower values of SST, AT and higher values of ATT.

**Key-words:** nitrogen fertilization, fertigation, N foliar concentration, grape composition, *Vitis Vinifera* L.

## 5.1 INTRODUÇÃO

Solos arenosos e com baixos teores de matéria orgânica normalmente não suprem a demanda de nitrogênio (N) de videiras em produção, o que pode ser diagnosticado pelas baixas concentrações de N no tecido e diminuição da produtividade de uva. Uma alternativa para sanar essa demanda é a utilização de fontes de N, como a ureia, devido seu menor custo por unidade de N (Queiroz et al., 2011). As doses de N na forma de ureia são aplicadas em vinhedos em produção normalmente sobre a superfície do solo, sem incorporação, para evitar danos físicos ao sistema radicular, o que poderia estimular a incidência de doenças nas raízes, especialmente

em países de clima subtropical, onde as precipitações são frequentes e as temperaturas são mais elevadas (Steenwerth et al., 2010).

A ureia aplicada no solo é rapidamente hidrolisada por enzimas extracelulares ureases, produzindo carbonato de amônio  $(\text{NH}_4^+)_2\text{CO}_3$ . Na presença de água, parte deste composto será decomposto em  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{OH}^-$  e amônio  $(\text{NH}_4^+)$ . O  $\text{HCO}_3^-$  pode se decompor em  $\text{CO}_2$  e  $\text{OH}^-$ , e caso o  $\text{NH}_4^+$  reaja com  $\text{OH}^-$ , ocorrerá à perda de  $\text{N-NH}_3$  para atmosfera, o que pode explicar o pequeno aproveitamento do N pelas videiras, especialmente quando aplicada na superfície do solo (Brunetto et al., 2016), diminuindo a produtividade de uva (Pérez-Álvarez et al., 2013). Por isso, é necessária a aplicação de N por modos alternativos, como a fertirrigação ou a aplicação de N seguido de irrigação, que podem ser capazes de proporcionar um maior aproveitamento do N pelas videiras.

A água da irrigação ou fertirrigação podem acelerar a solubilidade da ureia e a infiltração dos seus produtos de dissolução, como o  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$  no perfil do solo, para regiões com maior presença de raízes, potencializando a absorção das formas minerais de N (Barlow et al., 2009). Com isso, se espera menor migração de  $\text{NO}_3^-$  ao longo do perfil de solos, especialmente, naqueles mais arenosos e com baixos teores de matéria orgânica, o que pode diminuir a contaminação de águas subsuperficiais (Castellanos et al., 2013). O N absorvido pelas raízes das videiras pode ser diagnosticado em folhas no pleno florescimento ou na mudança de cor das bagas (Arrobas et al., 2014). Porém, na mudança de cor das bagas se espera menor concentração de N nas folhas, por causa da diluição e/ou degradação de compostos nitrogenados, seguido da redistribuição do N para os órgãos em crescimento, como ramos do ano e cachos, os quais atuam como dreno de nutrientes (Metay et al., 2015).

O incremento de N no interior das plantas pode aumentar o vigor das videiras jovens, o qual pode ser diagnosticado pela mensuração do diâmetro de caule (Fang et al., 2013). Mas também, pode aumentar o número de cachos por planta e, por consequência, a produtividade de uva. Entretanto, o manejo nitrogenado pode resultar na diluição de sólidos solúveis totais (SST) e antocianinas totais (AT), e ainda, aumentar a acidez total titulável no mosto (Kelly et al., 2017; Tarara et al., 2008). A composição ideal de mosto e vinho são constantemente buscadas por técnicos e enólogos nos tradicionais países produtores de uva do mundo, visando a correta nutrição da videira sem depreciar o produto final, o que aumenta a probabilidade de aceitação pelo mercado consumidor. Assim, a concentração de AT tem forte correlação positiva com o preço do vinho (Webb, 2006), aspecto que é potencializado em videiras da cultivar ‘Alicante Bouschet’ (*Vitis vinifera* L.), onde a sua uva é usada na mistura de uvas de outras

cultivares porque proporciona maior intensidade na tonalidade do vinho. O objetivo do estudo foi avaliar a produção e a composição química do mosto em videiras ‘Alicante Bouschet’ submetidas à aplicação de N sem irrigação, seguida de irrigação e via fertirrigação.

## 5.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 5.2.1 Caracterização da área experimental

O estudo foi conduzido em um vinhedo implantado em 2011 no município de Santana do Livramento (Latitude 30° 48' 31" S; Longitude 55° 22' 33" W), localizado na região da Campanha Gaúcha do estado do Rio Grande do Sul (RS), região Sul do Brasil. O período de condução do experimento foi de setembro de 2013 a março de 2017. A ‘Alicante Bouschet’ foi enxertada sobre o porta-enxerto Paulsen 1103 e implantada no espaçamento de 2,8 m entre linhas e 1,2 m entre as plantas (densidade de 2976 plantas por hectare). O sistema de condução das videiras foi espaldeira. Na poda de inverno das safras 2013/14, 2014/15, 2015/16 e 2016/17 foram mantidas 20 gemas por planta. O relevo da área foi caracterizado como suave ondulado. O clima da região é subtropical úmido, tipo Cfa, segundo a classificação de Köppen, que se caracteriza por temperaturas amenas e chuvas com pouca variação ao longo do ano. A precipitação média anual é de 1600 mm. A temperatura do mês mais quente, janeiro é de 23,8°C e a média no mês mais frio, julho é de 12,4°C. A insolação anual é de aproximadamente 2.500 horas. Os valores de temperatura média e precipitação acumuladas são apresentados na Figura 1. A vegetação nas linhas de plantio anualmente foi dessecada com herbicida não seletivo de ação sistêmica (*i.a. glyphosate*), com 2 a 4 aplicações sequenciais, dependendo do desenvolvimento da vegetação, na dose de 2 litros ha<sup>-1</sup>. Os herbicidas foram aplicados mecanicamente, com a utilização de pulverizadores de jato dirigido. A vegetação das entrelinhas, composta principalmente por *Paspalum notatum*, *Paspalum plicatulum* e *Lolium multiflorum* foi roçada mecanicamente à 10 cm do solo, em torno de 5 vezes ao longo do ciclo das videiras. Os resíduos das culturas de cobertura foram adicionados sobre a superfície do solo, nas entrelinhas de plantio.

O solo foi classificado como Typic Hapludalf (Soil Survey Staff, 2014). Na instalação do experimento o solo possuía na camada de 0,0 a 0,2 m: areia 822 g kg<sup>-1</sup>, silte 115 g kg<sup>-1</sup> e argila 63 g kg<sup>-1</sup> (método da pipeta) (Embrapa, 1997); matéria orgânica 11 g kg<sup>-1</sup> (método Walkley Black), pH em água 5,5 (relação 1:1); P e K disponíveis 25 e 72 mg kg<sup>-1</sup>,

respectivamente (ambos extraídos por Mehlich-1); Al, Ca e Mg trocáveis, 0,0, 1,99 e 0,923  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , respectivamente (ambos extraídos por KCl 1  $\text{mol L}^{-1}$ ) (Tedesco et al., 1995). O vinhedo, antes da instalação do experimento foi submetido à aplicação anual de aproximadamente 45  $\text{kg N ha}^{-1}$ , 45  $\text{kg P ha}^{-1}$  e 45  $\text{kg K ha}^{-1}$ . A fonte de N foi ureia (45% de N), a de P foi superfosfato triplo (41% de P) e de K foi o KCl (60% de K). Depois da instalação do experimento as mesmas quantidades de P e K continuaram sendo aplicadas anualmente. Os fertilizantes eram aplicados sobre a superfície da linha de plantio, sem incorporação.

### 5.2.2 Tratamentos

O delineamento experimental foi blocos ao acaso, com cinco repetições. Cada repetição foi formada por cinco plantas, sendo as três plantas centrais avaliadas. Os tratamentos foram sem aplicação de N (SN), aplicação de 20  $\text{kg N ha}^{-1}$  + 20  $\text{kg N ha}^{-1}$  sem irrigação (NSI), aplicação de 20  $\text{kg N ha}^{-1}$  + 20  $\text{kg N ha}^{-1}$  com irrigação (NCI), aplicação de 20  $\text{kg N ha}^{-1}$  + 20  $\text{kg N ha}^{-1}$  via fertirrigação (NF) e aplicação de 20  $\text{kg N ha}^{-1}$  via fertirrigação ( $\frac{1}{2}$ NF). O N em todos os tratamentos foi aplicado na forma de ureia. Nos tratamentos com e sem irrigação, a ureia foi aplicada na superfície do solo da linha de plantio, na região da projeção da copa das plantas. As doses utilizadas de 20  $\text{kg N ha}^{-1}$  + 20  $\text{kg N ha}^{-1}$  em diferentes modos de fornecimento foram estipuladas com base na recomendação técnica para a cultura da videira proposta pela CQFS-RS/SC (2004), para solos com textura arenosa e com teores de matéria orgânica, menores e iguais a 25  $\text{g kg}^{-1}$ . A irrigação e fertirrigação foram realizadas pelo sistema de gotejamento (Netafim<sup>TM</sup>), modelo Dripnet PC AS 16250, vazão de 1,6 L hora e espaçamento de 0,6 m entre gotejadores. A fertirrigação nos tratamentos NF e  $\frac{1}{2}$  NF foi realizada em quatro parcelas, com intervalo de cinco dias entre as aplicações. No tratamento NCI a irrigação foi realizada imediatamente após a aplicação da ureia.

### 5.2.3 Coleta de folhas para análise de N e mensuração de diâmetro de caule

No pleno florescimento e mudança de cor das bagas (veraison) foram coletadas folhas completas, opostas ao cacho, no terço médio dos ramos do ano. As folhas foram lavadas com água destilada e secas em estufa com circulação forçada de ar a 65°C até atingirem peso constante. As folhas foram moídas em moinho do tipo Willey e passadas em peneira com malha de dois mm. A digestão sulfúrica das folhas foi realizada segundo metodologia proposta por

Tedesco et al. (1995). A destilação de N total foi realizada em destilador micro-kjeldhal (Tecnal, TE-0363, Brasil) (Tedesco et al., 1995). O diâmetro de caule das videiras foi mensurado a 10 cm de altura da superfície do solo, usando paquímetro universal analógico (ZAAS, PAQ6, Brasil), nas mesmas datas em que foram coletadas as folhas.

#### **5.2.4 Coleta de solução do solo e determinação de $\text{NH}_4^+$ e $\text{NO}_3^-$**

Em setembro de 2015 foram instalados lisímetros de cápsula porosa no solo circundando as três plantas centrais de cada parcela, em todos os tratamentos, na profundidade de 0,2 m, na linha de plantio das videiras, onde anualmente o N foi aplicado. Os lisímetros foram instalados distantes, aproximadamente a 0,25 m do caule de cada planta. Após a aplicação dos tratamentos, em cada evento pluviométrico ocorrido foi aplicado vácuo (25 kgf), usando uma bomba manual. A solução do solo foi coletada em 23/09/2015, 02/10/2015, 07/10/2015, 13/10/2015, 03/11/2015, 17/11/2015, 10/12/2015, 04/01/2016, 12/01/2016 e 27/01/2016. A solução contida no interior dos lisímetros foi retirada com o auxílio de uma seringa acoplada a uma mangueira. As amostras de solução do solo foram armazenadas em potes plásticos com capacidade de 80 mL e mantidas em freezer a 4°C. Posteriormente em laboratório, foram determinadas as concentrações de  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$ , seguindo metodologia proposta por Tedesco et al. (1995). Para isso, 20 mL da solução foi adicionada em tubos de destilação com capacidade de 100 mL. Em seguida foi adicionado 0,2 g de MgO e imediatamente o tubo foi conectado no destilador de arraste à vapor semi-micro Kjeldahl (Tecnal, TE 0363, Brasil), para a destilação de  $\text{NH}_4^+$  até recolher 35 mL de destilado, em 5 mL de indicador ácido bórico. Logo depois, esse extrato foi titulado com  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,0125 mol L<sup>-1</sup>. Posteriormente, a amostra foi resfriada e adicionou-se 0,2 g de liga de Devarda (Al, Cu e Zn), então o tubo foi novamente acoplado ao destilador, para destilação e quantificação do  $\text{NO}_3^-$ , como descrito para a determinação de  $\text{NH}_4^+$ .

#### **5.2.5 Produção de uva e seus componentes**

Na colheita das uvas nas safras 2013/14, 2014/15, 2015/16 e 2016/17 foram realizadas a contagem do número de cachos por planta. Todos os cachos foram colhidos e pesados, para determinação da produtividade, em kg por planta, usando balança digital (Walmur, 50 K, Brasil), com precisão de três dígitos. Cinco cachos foram reservados por planta. Posteriormente,

em cada cacho foi contado o número de bagas. As bagas foram pesadas para a determinação da massa de 100. Bagas do terço superior, mediano e inferior dos cachos foram coletadas em todos tratamentos. As bagas foram reservadas para posterior análise química de mosto.

### 5.2.6 Análises químicas do mosto

As bagas reservadas para as análises de sólidos solúveis totais (SST), pH e acidez total titulável (ATT) foram descascadas e maceradas manualmente, utilizando apenas a polpa com semente. O teor de SST, expresso em °Brix, foi determinado em refratômetro digital (Atago, modelo PAL-3, Japão) de acordo com normas da AOAC (2005). O pH foi determinado usando pHmetro digital de bancada à temperatura de 20°C (Digimed, D.M-22, Brasil). Os resultados foram expressos em unidades de pH. Para a ATT, 10 ml da amostra foi transferido para balão volumétrico de 100 mL e o volume completado com água destilada isenta de CO<sub>2</sub>. Esta solução foi titulada com solução padrão de hidróxido de sódio (NaOH) 0,1 mol L<sup>-1</sup> (IAL, 2008).

Para a extração das antocianinas totais (AT) foram utilizadas apenas as cascas das bagas. Para isso, as cascas das bagas foram separadas manualmente das polpas. Cascas com peso conhecido foram misturadas com uma solução etanólica (70:30) acidificada (1% HCl) (Ju & Howard, 2003), na proporção de 1:3 (m/v), e trituradas em liquidificador (Arno, Clic Lav Top, Brasil) durante 40 segundos na velocidade dois, e mais 40 segundos na velocidade cinco. A solução obtida foi acondicionada em béquer com capacidade de 250 ml, mantida em repouso e ao abrigo da luz durante 30 minutos à temperatura ambiente (20 ± 1 °C), e então centrifugada a 3500 RPM por cinco minutos. O sobrenadante foi coletado em frasco de vidro âmbar e armazenado sob refrigeração (4-10 °C). O processo de extração foi efetuado em triplicata. O conteúdo de AT foi determinado pelo método da diferença de pH (Giusti & Wroslad, 2001), o qual as amostras são dissolvidas em dois sistemas-tampão: cloreto de potássio 0,025 mol L<sup>-1</sup> (pH 1,0) e acetato de sódio 0,4 mol L<sup>-1</sup> (pH 4,5). A absorbância foi medida no comprimento de onda máximo de absorção na região visível (515 nm) e em 700 nm utilizando espectrofotômetro UV-Vis (FEMTO, 600 plus, Brasil). A absorbância foi calculada usando a equação 1:

$$A = (A_{\text{máx. vis}} - A_{700\text{nm}})_{\text{pH1,0}} - (A_{\text{máx. vis}} - A_{700\text{nm}})_{\text{pH4,5}} \quad \text{Equação 1}$$

A concentração de pigmentos no extrato foi calculada e representada em cianidina-3-glicosídeo (PM = 449,2 e ε = 26900) (Equação 2).

$$\text{Antocianinas (mg L}^{-1}\text{)} = (A \times MM \times FD \times 1000) / (\epsilon \times l) \quad \text{Equação 2}$$

onde:  $A$  = absorvância;  $MM$  = massa molecular;  $FD$  = fator de diluição, e  $\varepsilon$  = absorvidade molar.

### 5.2.7 Análises Estatísticas

Para toda variável resposta considerada neste estudo, montamos um modelo linear misto considerando métodos de aplicação e anos como as interações entre esses fatores como efeito fixo e os efeitos de blocos aninhados nos anos como efeito aleatório. A normalidade dos resíduos foi testada através do teste de Shapiro-Wilk para checar se qualquer transformação seria necessária. Além disso, o modelo foi ajustado com variações homogêneas e heterogêneas para os diferentes anos. A seleção do modelo para a estrutura de correlação foi feita seguindo os critérios de informação de Akaike (AIC), o critério de informação Bayesiano (BIC) e o Teste de Razão de Probabilidade (LRT). Todos os modelos foram ajustados usando o pacote "nlme" (Pinheiro et al., 2017) de R (equipe principal de R, 2017). Sempre que a hipótese nula (meios iguais) foi rejeitada com alfa igual a 0,05, a comparação de média foi realizada usando o teste de Scott-Knott.

Uma análise de regressão entre produtividade por planta e concentração de N nas folhas no florescimento na mudança de cor das bagas (veraison) foi realizada. Modelos lineares de primeiro e segundo grau e modelos exponenciais foram explorados buscando encontrar o melhor modelo matemático que descrevesse essas relações. A comparação dos modelos foi realizada através do critério de Informação de Akaike (AIC) e critério de informação bayesiana (BIC), os quais os menores valores representam os melhores ajustes.

Adicionalmente, foi realizada uma análise de componentes principais (ACP) combinando todas as variáveis resposta que foram avaliadas durante os quatro anos do experimento, usando os pacotes factextra e FactoMineR do R. ACP, geralmente, é usado para encontrar os pesos de cada variável para maximizar a variância entre os pontos de amostragem (Ortega et al., 1999). Assim, a ACP encontra um conjunto de combinações lineares padronizadas denominadas componentes principais (PC), que são ortogonais e, em conjunto, explicam toda a variância dos dados originais. Este tipo de análise nos permite identificar interações mais complexas entre as variáveis avaliadas e identificar aquelas com maior contribuição para as diferenças entre nossos tratamentos. Em nossa análise, optamos por manter o CP com autovalores superiores a 1.

Como última etapa, um modelo misto foi ajustado para as variáveis relacionadas a perdas de N por lixiviação de amônio e nitrato. Considerando que a lixiviação de amônio e



nitrito foi analisada apenas em um dos quatro anos (2014), o ano fator foi removido do modelo misto. Uma vez que, as amostras foram coletadas em tempos diferentes, assumimos que nosso erro residual, potencialmente, correlacionado sob dois modelos de covariância: uma estrutura de autocorrelação da ordem 1 e estrutura de autocorrelação de ordem 1 com uma covariável de tempo contínuo. Os mesmos critérios estatísticos anteriormente mencionados foram utilizados para comparar os modelos. Quando, alguma vez a hipótese foi negativa (meios iguais), foi rejeitada com alfa igual a 0,05, uma análise de regressão foi realizada nos meios mínimos quadrados (médias ajustadas). Para a lixiviação de amônio, foram comparados três modelos diferentes, modelos lineares, quadráticos e quadráticos com platô, enquanto que para a lixiviação de nitrito, apenas um modelo foi utilizado. A função "nls" de R foi utilizada para montar os modelos não-lineares.

## 5.2 RESULTADOS

A análise de componentes da variância foi realizada para os grupos das variáveis de nutrição e crescimento (concentração de N em folhas e diâmetro de caule, ambos no pleno florescimento e mudança de cor nas bagas), de produção de uva (produção por planta, número de cachos por planta, número de bagas por cacho, peso de 100 bagas) e de química de mosto (pH, SST, ATT e AT), considerando os tratamentos (modos de fornecimento de N), safras (2013/14, 2014/15, 2015/16, 2016/17), interação safra e tratamento, blocos e resíduo como fontes de variação. Desconsiderou-se a variação não explicada pelo modelo (resíduos), sendo observado que o efeito de safra foi percentualmente predominante na explicação da variação dos dados para todas as variáveis consideradas no estudo, exceto, para o teor de AT, onde o efeito do tratamento foi responsável por mais de 50% da variação (Figura 2).

### 5.3.1 Concentração de N em folhas e diâmetro de caules

As videiras submetidas à aplicação de N no solo via fertirrigação (NF) apresentaram maior concentração de N nas folhas no pleno florescimento nas quatro safras (Figura 3a). A aplicação de N em videiras seguida de irrigação (NCI) incrementou a concentração de N nas folhas no pleno florescimento nas safras 2014/15, 2015/16 e 2016/17 (Figura 3a). Na mudança de cor das bagas as videiras que apresentaram maior incremento da concentração de N nas

folhas foram, novamente, as plantas submetidas à NF, nas safras 2013/14, 2014/15 e 2015/16, seguida das videiras com a aplicação de NCI, nas safras 2014/15 e 2016/17 (Figura 3b).

As videiras que receberam a aplicação de NCI foram as que apresentaram maiores valores de diâmetro do caule durante o pleno florescimento e a mudança de cor nas bagas, em todas as safras (Figura 3c). Videiras submetidas à aplicação de N via NF também apresentaram caules com maior diâmetro no pleno florescimento e mudança de cor, porém, apenas nas safras 2014/15, 2015/16 e 2016/17 (Figura 3d).

### 5.3.2 Produção de uva

As videiras cultivadas no solo submetido à aplicação de N via NF, NCI e  $\frac{1}{2}$  NF apresentaram maior produtividade de uva na safra 2013/14 (Figura 4d). Nas safras 2014/15 e 2016/17 as videiras com maior produtividade de uva foram àquelas cultivadas no solo com aplicação de NF e NCI. Na safra 2015/16 as videiras cultivadas no solo com a aplicação de  $\frac{1}{2}$  NF apresentaram a maior produtividade de uva. Salienta-se que, a produtividade de uva oscilou entre os tratamentos e safras avaliadas, sendo que a menor produtividade de uva observada foi  $0,38 \text{ kg planta}^{-1}$  e a maior foi de  $15 \text{ kg planta}^{-1}$ . As videiras submetidas à aplicação de NF apresentaram o maior número de cachos por planta em todas as safras, seguido das videiras cultivadas no solo com aplicação de NCI nas safras 2013/14, 2014/15 e 2016/17 (Figura 4a). As videiras com aplicação de NF e NSI apresentaram os maiores números de bagas por cacho na safra 2015/16 (Figura 4c). O peso de 100 bagas não diferiu estatisticamente entre os tratamentos, em todas as safras (Figura 4b).

### 5.3.3 Parâmetros químicos do mosto

Os maiores valores de acidez total titulável (ATT) foram observados no mosto das videiras submetidas NCI, nas safras 2013/14 e 2014/15 (Figura 5a). Porém, nas safras 2015/16 e 2016/17 os maiores valores de ATT foram verificados no mosto das videiras cultivadas no solo com a aplicação de NF. O mosto das videiras cultivadas no solo SN apresentaram as maiores concentrações de antocianinas totais (AT) em todas as safras (Figura 5b). O mosto das videiras submetidas a NCI e NF apresentaram as menores concentrações de TA, respectivamente, nas safras 2013/14, 2014/15, 2015/16 e 2016/17. Os maiores valores de pH no mosto (Figura 5c) foram observados nas videiras submetidas a SN, nas safras 2013/14,

2014/15 e, NCI nas safras 2015/16 e 2016/17. As videiras cultivadas no solo SN apresentaram os maiores valores de sólidos solúveis totais (SST) no mosto, em todas as safras (Figura 5d). No entanto, o mosto das videiras submetidas a NSI, nas safras 2014/15 e 2015/16, também apresentaram altos valores de SST (Figura 5d).

### 5.3.4 Concentração de formas de N na solução do solo

As concentrações de  $\text{NH}_4^+$  na solução do solo submetido aos modos de fornecimento via fertirrigação, (NCI e  $\frac{1}{2}$  NF), foram explicadas com ajuste matemático de modelo quadrático com platô, enquanto os demais tratamentos foram descritos pelo modelo linear de primeiro grau. Em geral, as soluções coletadas no solo submetido a aplicação de NF e  $\frac{1}{2}$  NF apresentaram as maiores concentrações de  $\text{NH}_4^+$  (Figura 6a). Porém, as concentrações de  $\text{NH}_4^+$  na solução do solo submetido a NF e  $\frac{1}{2}$  NF permaneceram constantes até 123 dias após a data de aplicação (Figura 6a). Nas soluções do solo SN foram observadas as menores concentrações de  $\text{NH}_4^+$  em todo o tempo de avaliação. A relação entre concentração de  $\text{NO}_3^-$  na solução do solo e data de aplicação foi descrita por uma função potência, de maneira que as concentrações de  $\text{NO}_3^-$  na solução apresentaram um rápido decréscimo logo nos primeiros dias após a aplicação dos tratamentos, com uma tendência de estabilização ao longo do tempo. As maiores concentrações de  $\text{NO}_3^-$  foram observadas nas soluções do solo submetido a aplicação de N via NF e  $\frac{1}{2}$  NF (Figura 6b). As menores concentrações de  $\text{NO}_3^-$  nas soluções foram observadas no solo SN, em todos os períodos de coleta (Figuras 6b).

### 5.3.5 Análise de Componentes Principais (ACP)

Para a análise de componentes principais (ACP) apenas as duas primeiras componentes foram extraídas, uma vez que juntas explicaram 65,8% da variabilidade total dos dados (Figura 7). A componente 1 (PC1) explicou 50,8% da variabilidade, com maior influência da ATT, produtividade, concentração de N em folhas no pleno florescimento e números de cachos por planta, os quais foram positivamente correlacionados entre si, e da concentração de TA no mosto, que apresentou uma correlação negativa com as variáveis relatadas anteriormente. A componente principal 2 (PC2) explicou 15% da variabilidade e foi primariamente influenciada pelo peso de 100 bagas, número de bagas por cacho e valores de pH no mosto. Houve uma diferenciação evidente entre as safras na ACP, concordando com a

análise de componentes da variação que demonstrou que esse fator explicou grande parcela da variabilidade original dos dados (Figura 2).

#### 5.4 DISCUSSÃO

A análise de variância demonstrou que os tratamentos apresentaram uma tendência comportamental para todas as safras, oscilando apenas na amplitude dos valores. Isso fez com que a variável safra fosse a mais influente na variação total. Entretanto, as safras foram diferentes entre si, quando consideradas as variáveis climáticas, como temperatura média e precipitação acumulada no período produtivo (Figura 1).

Na maioria das safras, as maiores concentrações de N nas folhas coletadas no pleno florescimento foram observadas nas videiras submetidas à aplicação de N via NF ou NCI (Figura 3a). Isso provavelmente aconteceu porque a água de irrigação e fertirrigação favoreceu a dissolução da ureia, acelerando o processo de hidrólise por enzimas ureases, o que resultou na formação de carbonato de amônio, que rapidamente se decompõem, originando hidroxila, carbonato e amônio, e que posteriormente, poderá ser transformado em nitrito ( $\text{NO}_2$ ) e nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) através da oxidação biológica (Brunetto et al., 2016). Além disso, a água utilizada na fertirrigação ou irrigação, após a aplicação da ureia, pode ter favorecido a migração de formas de N mineral, especialmente,  $\text{NO}_3^-$  no perfil do solo, até regiões que possuem maior concentração de raízes (Barlow et al., 2009); e também pode ter sido movimentada pelo fluxo de massa das formas de N mineral da solução do solo até a superfície externa de raízes (Bravo et al., 2012).

As raízes das videiras podem absorver água, mas também formas de N, inclusive aquelas derivadas do fertilizante aplicado via NF ou NCI. Além disso, convém destacar que maiores concentrações de  $\text{NO}_3^-$ , no solo e na solução, tendem a estimular a emissão de raízes finais em espécies frutíferas, as quais são responsáveis pela absorção de água e nutrientes, porém, com gasto energético de manutenção próximo aos 90% (Ceccon et al., 2016). Parte do N absorvido pode ter sido acumulado na forma de aminoácidos (glutamato, glutamina, aspartato, asparagina) no sistema radicular (Marschner, 2012). O restante do N pode ter sido transportado via xilema para os órgãos da parte aérea, como as folhas, que ao longo do crescimento vegetativo e produtivo da videira apresentam intensa divisão e alongação celular, aumentando a matéria verde e seca (Zapata et al., 2005). Por isso, as folhas se tornaram dreno de nutrientes, entre eles, o N (Brunetto et al., 2014; Schreiner & Scagel, 2006).

As folhas coletadas na mudança de cor das bagas, na maioria das safras, também

apresentaram maior incremento da concentração de N nas videiras submetidas à aplicação de NF e NCI (Figura 3b). Porém, as concentrações de N nas folhas durante a mudança de cor nas bagas foram menores que as verificadas naquelas coletadas no pleno florescimento. Isso aconteceu por causa da maior área foliar das videiras, o que promoveu a diluição da concentração de N nas folhas (Agnelli et al., 2014). Além disso, parte dos compostos nitrogenados nas folhas, por exemplo, proteínas e aminoácidos, ao longo da mudança da cor nas bagas, podem ter sido degradados e o N redistribuído para outros órgãos anuais em crescimento, como os cachos ou ramos do ano (Brunetto et al., 2009; Metay et al., 2015) ou para órgãos perenes de reserva, como ramos de mais de um ano, caule e, especialmente, raízes (Brunetto et al., 2014).

A análise de correlação entre a concentração de N nas folhas coletadas no pleno florescimento e na mudança de cor nas bagas com a produtividade por planta (Figura 8a, b), apresentou comportamento exponencial positivo. Assim, verificou-se maior correlação entre os fatores durante o estágio de mudança de cor nas bagas ( $R^2= 0.45$ ,  $p<0.001$ ), em comparação a correlação realizada no pleno florescimento ( $R^2= 0.40$ ,  $p<0.001$ ). A maior correlação da produtividade com a concentração de N na mudança de cor nas bagas pode ser devido à evolução do ciclo da videira, já que este estágio fenológico se aproxima mais da maturação fisiológica, e a redistribuição do N possivelmente já está em andamento. Entretanto, o avanço do ciclo da cultura dificulta uma possível intervenção para o manejo da adubação nitrogenada, e também, pode impactar negativamente na composição da uva, diminuindo a concentração de TA por efeito de diluição na baga (Tarara et al., 2008). Também foi possível verificar com a correlação a distribuição dos tratamentos, onde o NF e o NCI, na maioria das safras, apresentaram as maiores concentrações de N na folha e, conseqüentemente, maior incremento de produtividade (Figura 8a, b).

Os maiores valores de diâmetro de caule das videiras, no pleno florescimento e mudança da cor das bagas, submetidas a aplicação de N via, principalmente, NCI e NF (Figura 3c, d), aconteceram por causa da maior absorção do N derivado do fertilizante (Lorenzini et al., 2017). Esta suposição é adequada e está alicerçada na observação do incremento da concentração de N em folhas coletadas no pleno florescimento e mudança da cor das bagas (Figura 3a, b), o que reforça a hipótese que parte do N aplicado no solo foi absorvido pelas videiras, durante o mesmo ciclo. O crescimento da videira, ou seja, o aumento do número de células, com a duplicação do material celular, o qual pode ser mensurado pelo diâmetro de caule, necessita de carbono (C) e N. Esta demanda ocorre simultaneamente quando a planta

realiza a fotossíntese para a produção de glicose, celulose e proteínas (Marschner, 2012). Também, quando a oferta de N no solo é suficiente, ou mesmo, quando há aplicação do fertilizante nitrogenado, as fontes de matéria e energia são disponibilizadas no sistema e a planta pode apresentar incremento na fotossíntese líquida (Kizildenizet al., 2015). Parte do N absorvido pelas raízes está na forma de  $\text{NO}_3^-$  e essa absorção ocorre por meio de transportadores do tipo simporte, com gasto de energia. O  $\text{NO}_3^-$  deverá ser reduzido a  $\text{NO}_2^-$  por enzimas nitrato redutase e, posteriormente, reduzido a  $\text{NH}_4^+$  pela nitrito redutase, para então ser assimilado. A concentração de N na planta será responsável por direcionar o fluxo do C para produção de proteínas ou carboidratos. Assim, videiras submetidas aplicação NF e NCI, e que apresentaram maiores concentrações de N nas folhas, também demandaram mais energia para síntese proteica (Ceccon et al., 2016). Por outro lado, as videiras submetidas NSI e SN, e que apresentaram folhas com menores concentrações de N se dedicaram a produção de carboidratos em detrimento as proteínas, demonstrando a correlação entre concentração de N e o incremento em biomassa vegetal (Lawlor, 2002).

A produtividade e o número de cachos por planta, em todos os tratamentos, oscilaram ao longo das safras. Isso ocorreu, possivelmente porque as plantas do vinhedo eram jovens e naturalmente cresceram ao longo dos anos. Esse comportamento foi diagnosticado pelo incremento do diâmetro de caule, bem como pelo crescimento visual das plantas (Figura 3c, d). O aumento do dossel vegetativo e da capacidade produtiva da videira ao longo das safras são processos fisiológicos naturais e acelerados pela aplicação N no solo. A elevada produção de uvas em uma determinada safra pode reduzir a indução floral após a ruptura do broto, crescimento inicial da inflorescência e diferenciação floral e, por consequência, diminuir a produção de uva na safra posterior (Guilpart et al., 2014). Porém, em todas as safras, as videiras submetidas a aplicação de N via NCI, NF e  $\frac{1}{2}$  NF apresentaram as maiores produtividades e número de cachos por planta em relação as videiras submetidas à NSI e SN (Figura 4a, d). As videiras cultivadas no solo SN, ao longo das safras, produziram menos uva, muito provavelmente porque a quantidade de N mineralizada da matéria orgânica, dos resíduos (raízes e parte aérea) senescentes de espécies de plantas de cobertura, e mesmo das videiras (folhas e ramos podados) foram insuficientes para suprir a demanda anual da planta (Muscas et al., 2017). As videiras submetidas à NSI muito provavelmente produziram menos uva porque parte do N do fertilizante aplicado sobre a superfície do solo pode ter sido perdido por volatilização na forma de  $\text{NH}_3\text{-N}$  (Lorensini et al., 2012). Por outro lado, as aplicações de NCI, NF e  $\frac{1}{2}$  NF incrementaram a concentração de formas de N mineral no solo e solução (Figura 6a, b) potencializando a absorção de formas de N pelas videiras. Destaca-se que as videiras

submetidas à aplicação via fertirrigação da metade da dose recomendada de N ( $\frac{1}{2}$  NF) para o solo arenoso em estudo,  $20 \text{ kg N ha}^{-1}$ , foi suficiente para promover produtividade de uva similar às aquelas verificadas em videiras submetidos a dose de N recomendada, aplicada via NF e NCI nas safras 2013/14 e 2015/1. Isso provavelmente aconteceu porque o N derivado do fertilizante aplicado via fertirrigação foi perdido em menores quantidades por volatilização, por lixiviação e desnitrificação, o que aumenta o aproveitamento do N pelas videiras (Brunetto et al., 2016). Esse resultado reforça as observações de Brunetto et al. (2009), os quais relataram que a produtividade máxima em videiras cultivadas em solos arenosos com baixo teor de matéria orgânica foi alcançada com doses próximas a  $20 \text{ kg N ha}^{-1}$ .

Os valores de ATT no mosto oscilaram em similaridade à produção de uva ao longo das safras, em todos os tratamentos (Figura 5a). Nas safras onde foram observados os maiores valores de ATT no mosto foram verificados os menores valores de pH (Figura 5c). Estequiometricamente, não há relação entre o pH do mosto e a ATT, já que a acidez trata da concentração e do tipo de ácido do meio, e no mosto de videiras, normalmente, estão presentes os ácidos tartárico, málico e cítrico. O ácido tartárico está presente em grande quantidade na videira e por ser um ácido forte é resistente a respiração oxidativa, favorecendo a persistência da acidez no vinho, além da interferência direta no pH (Brunetto et al., 2009). Já o ácido málico na baga é um produto da oxidação da glicose na respiração (Ribéreau-Gayon, 1968). Somado a isso, o pH é dependente somente da capacidade de ionização e caso predomine o ácido tartárico ao málico no mosto, o pH será mais baixo, e vice-versa. Os maiores valores de ATT foram observados no mosto das uvas obtidas das videiras submetidas a NCI e NF (Figura 5a). Isso provavelmente aconteceu porque as videiras absorveram maiores quantidades de formas de N mineral do solo, que normalmente estimulam o crescimento da parte aérea, observado pelo aumento de diâmetro de caule (Figuras 3c, d) e incremento da concentração de N nas folhas (Figuras 3a, b), o que resultou na menor incidência de raios solares no interior das videiras. O maior sombreamento dos cachos de uva no interior da videira dificulta a aeração no dossel para regulação da temperatura, o que pode favorecer a incidência de doenças fúngicas, ocasionando a redução da concentração de açúcar e aumento da acidez nas bagas e no mosto (Smart & Robinson, 1991). A variação de temperatura também influencia na composição da uva, devido a degradação fotoquímica dos ácidos, já que, mostos de uvas colhidas em safras com temperatura mais alta, caso da safra 2014/15, provavelmente terão ATT menor, quando comparadas à safras com temperaturas mais amenas, caso da safra 2013/14 (Sadras & Moran, 2012).

Os maiores valores de SST no mosto, que normalmente são compostos por 95% de açúcares (Smart & Robinson, 1991) foram observados nas videiras SN em todas as safras, e também nas videiras submetidas à NSI, nas safras 2014/15 e 2015/16 (Figura 5d). Isso aconteceu por causa do menor número de cachos por planta, os quais a campo eram visivelmente menores em comprimento e largura, o que refletiu em menor produtividade (Figura 4a, d). Com isso, os SST tendem a se concentrar mais nas bagas de cachos menores (Guilpart et al., 2014). Por outro lado, as videiras submetidas à NCI e NF alcançaram as maiores produtividades (Figura 4d), e isso pode ter estimulado a diluição de fotoassimilados, como os açúcares na formação das bagas (Antolín et al., 2003).

Os maiores valores de AT foram observados no mosto das uvas das videiras cultivadas no solo SN (Figura 5b). Isso aconteceu porque, as videiras apresentaram menores produtividades (Figura 4d), o que aumenta a concentração de AT nas bagas das uvas e, por consequência, no seu mosto (Castellarin et al., 2007). Além disso, as videiras sem aplicação de N apresentaram menor crescimento da parte aérea, verificado no diâmetro de caule (Figura 3c, d), o que diminui a redistribuição das AT das bagas para órgãos em crescimento, como ramos e folhas (Cheng et al., 2014). Também, em videiras com menor vigor da parte aérea, se espera maior incidência de raios solares nas bagas, o que pode aumentar a atividade de enzimas responsáveis pela produção de AT (Tarara et al., 2008). Por outro lado, os mostos das uvas das videiras submetidas à aplicação de N via ½ NF, NF, NCI e NSI apresentaram menores valores de AT. Isso aconteceu, especialmente, por causa da diluição das AT nas bagas e, por consequência, no mosto, já que nestas videiras foram observadas as maiores produtividades (Kizildeniz et al., 2015); e pela redistribuição de AT das bagas para os órgãos anuais em crescimento (Cheng et al., 2014). A diminuição da concentração de AT, especialmente na cultivar ‘Alicante Bouschet’ pode ser indesejada, já que a sua uva frequentemente é utilizada devido a coloração vermelho intensa, em vinhos elaborados com misturas de uvas de várias cultivares (Webb, 2006).

As maiores concentrações de  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$  na solução do solo, foram observadas nos tratamentos NF e ½ NF (Figura 6a, b). Isso ocorreu porque o N ofertado via fertirrigação incrementa rapidamente as formas de N no solo, especialmente, o  $\text{NO}_3^-$ , pela sua aplicação na forma de solução. Os tratamentos onde o N foi aplicado na forma sólida, NCI e NSI, necessitaram de um período maior para hidrólise e formação de seus subprodutos. As concentrações de  $\text{NO}_3^-$  nas soluções coletadas foram diminuindo com o avanço das coletas, de forma mais acentuada no NF e ½ NF, mas também nas soluções com NCI e NSI. Isso ocorreu, provavelmente, pois parte das formas de N foram absorvidas pelas raízes das videiras, emitidas



em grande número, em estágios fenológicos como o florescimento (Schreiner & Scagel, 2006), o qual coincidiu com as primeiras quatro coletas de solução do solo. Além disso, neste estágio fenológico as videiras também possuem intensa divisão e alongação celular em órgãos anuais da parte aérea, o que pode aumentar a transpiração e, por consequência, favorecer a aproximação das formas de N mineral até a zona externa das raízes, por gradiente de pressão e concentração, e também pelo fluxo interno de N (Taiz & Zaiger, 2013). A diminuição da concentração especialmente de  $\text{NO}_3^-$  nas soluções também pode ser atribuída, em parte, a sua movimentação no perfil do solo arenoso, para camadas inferiores às aquelas com menor concentração de raízes (Ceccon et al., 2016), o que pode potencializar a contaminação de águas subsuperficiais, caso o fluxo de água ocorra por longo período de tempo (Castellanos et al., 2013).

A ACP separou claramente as safras em quatro grupos. Dentro destas separações, pode-se observar o comportamento único do tratamento SN, posicionado sempre a esquerda dos demais, bem como o agrupamento de NCI e NF, sempre a direita do restante (Figura 7). A principal correlação negativa observada foi entre TA e produtividade. Assim, à medida que aconteceu o aumento da produção de uva foi observado mosto de uvas com coloração vermelha menos intensa, o que reforça especialmente as hipóteses de diluição da TA nas bagas (Cheng et al., 2014) e a sua migração para órgãos em crescimento da parte aérea, especialmente, folhas e ramos do ano (Tarara et al., 2008).

## 5.5 CONCLUSÕES

As videiras submetidas à aplicação de N via fertirrigação e seguido de irrigação em praticamente todas as safras aproveitaram mais o N ofertado, porque apresentaram maiores concentrações de N em folhas coletadas no pleno florescimento e mudança da cor das bagas, e maior incremento do diâmetro de caule.

As folhas coletadas durante a mudança de cor nas bagas apresentaram maior correlação com a produtividade, mas, este período é considerado tardio para a aplicação de N, caso ocorra algum distúrbio nutricional.

As videiras submetidas à aplicação de N via fertirrigação, seguido de irrigação e metade da dose recomendada via fertirrigação, produziram as maiores quantidades de uva, devido as maiores concentrações de  $\text{NO}_3^-$  na solução do solo e concentração de N nas folhas.

Porém, o mosto destas uvas apresentaram menores valores de sólidos solúveis totais, antocianinas totais e maiores valores de acidez total titulável.

A concentração de antocianinas totais no mosto foi o parâmetro que teve sua variação original mais explicada pelos tratamentos. As demais variáveis de mosto, pH, acidez total titulável e sólidos solúveis totais tiveram maior influência da variação anual das safras.

## REFERÊNCIAS

- Agnelli, A., Bol, R., Trumbore, S.E., Dixon, L., Cocco, S., Corti, G., 2014. Carbon and nitrogen in soil and vine roots in harrowed and grass-covered vineyards. *Agric. Ecosyst. Environ.* 193, 70–82.
- Antolín, M.C., Baigorri, H., De Luis, I., Aguirrezabal, F., Geny, L., Broquedis, M., Sánchez-Díaz, M., 2003. ABA during reproductive development in non-irrigated grapevines (*Vitis vinifera* L. cv. Tempranillo). *Aust. J. Grape Wine Res.* 9, 169–176.
- AOAC. Association of Official Analytical Chemists., 2005. Official methods of analysis of AOAC International. 18<sup>th</sup> ed. Maryland: AOAC International. 1750 p.
- Arrobas, M., Ferreira, I.Q., Freitas, S., Verdial, J., Rodrigues, A., 2014. Guidelines for fertilizer use in vineyards based on nutrient content of grapevine parts. *Sci. Hortic.* 172, 191–198.
- Barlow, K., Bond, W., Holzapfel, B., Smith, J., Hutton, R., 2009. Nitrogen concentrations in soil solution and surface run-off on irrigated vineyards in Austrália. *Aust. J. Grape Wine Res.* 15, 31–143.
- Bravo, K., Toselli, M., Baldi, E., Marcolini, G., Sorrenti, G., Quartieri, M., Marangoni, B., 2012. Effect of organic fertilization on carbon assimilation and partitioning in bearing nectarine trees. *Sci. Hortic.* 137, 100-106.
- Brunetto, G., Ceretta, C.A., Kaminski, J., Melo, G.W.B., Giroto, E., Trentin, E.E., Lourenzi, C.R.; Vieira, R.C.B., Gatiboni, L.C., 2009. Produção e composição química da uva de videiras Cabernet Sauvignon submetidas à adubação nitrogenada. *Ciência Rural.* 39, 2035-2041.
- Brunetto, G., Ceretta, C.A., Melo, G.W.B., Kaminski, J., Trentin, G., Giroto, E., Ferreira, P.A.A., Miotto, A., Trivelin, P.C.O., 2014. Contribution of nitrogen from agricultural residues of rye to ‘Niagara Rosada’ grape nutrition. *Sci. Hortic.* 169, 66–70.
- Brunetto, G., Ceretta, C.A., Melo, G.W.B., Giroto, E., Ferreira, P.A.A., Lourenzi, C.R., Couto R.R., Tassinari, A., Knevitz R. H., Stefanello, L.O.S. Lazzaretti, B.P., Kulmann, M.S.S.,

- Carranca, C., 2016. Contribution of nitrogen from urea applied at different rates and times on grapevine nutrition. *Sci. Hortic.* 207, 1–6.
- Castellanos, M. T., Cartagena, M. C., Ribas, F., Cabello, M. J., Arce, A., Tarquis, A. M., 2013. Impact of nitrogen uptake on field water balance in fertirrigated melon. *Agric. Water Manage.* 120, 56–63.
- Castellarin, S.D., Pfeiffer, A., Sivilotti, P., Degan, M., Peterlunger, E., Di Gaspero, G., 2007. Transcriptional regulation of anthocyanins biosynthesis in ripening fruits of grapevine under seasonal water deficit. *Plant Cell Environ.* 30, 1381–1399.
- Ceccon, C., Tagliavini, M., Schmitt, A.O., Eissenstat, D.M., 2016. Untangling the effects of root age and tissue nitrogen on root respiration in *Populus tremuloides* at different nitrogen supply. *Tree Physiol.* 36, 618-627. doi:10.1093/treephys/PTw022
- Cheng, G., He, N., Yue, X., Wang, J., and Zhang, W., 2014. Effects of climatic conditions and soil properties on cabernet sauvignon berry growth and anthocyanin profiles. *Molecules.* 19, 13683-13703.
- CQFS-RS/SC. Comissão de Química e fertilidade do solo - RS/SC., 2004. Manual de calagem e adubação para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. SBSC-Núcleo Regional Sul/UFRGS, Porto Alegre.
- Embrapa, Empresa brasileira de pesquisa agropecuária., 1997. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro: 212p.
- Fang, Y. L., Sun, W., Wan, L., 2013. Effects of regulated deficit irrigation (RDI) on wine grape growth and fruit quality. *Sci. Agric. Sinica*, 46 (13), 2730–2738.
- Giusti, M.M., Wrolstad, R.E., 2001. Characterization and measurement of anthocyanins by UV-visible spectroscopy, in: WROLSTAD, R.E. (Eds.), *Current protocols in food analytical chemistry*. New York: John Wiley, Sons.
- Guilpart, N., Metay, A., Gary, C., 2014. Grapevine bud fertility and number of berries per bunch are determined by water and nitrogen stress around flowering in the previous year. *Eur. J. Agron.* 54, 9–20.
- IAL. Instituto Adolfo Lutz., 2008. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. 1. ed. digital. São Paulo: IAL,1020 p.
- Ju, Z.Y., Howard, L.R., 2003. Effects of solvent and temperature on pressurized liquid extraction of anthocyanins and total phenolics from dried red grape skin. *J. Agric. Food Chem.* 51 (18), 5207-5213.

- Kelly, M., Giese, W.G., Velasco-Cruz, C., Lawson, L., Ma, S., Zoecklein, B., 2017. Effect of foliar nitrogen and sulfur on petit manseng (*Vitis vinifera* L.) grape composition. *J. Wine Res.* 0, 1–16.
- Kizildeniz, T., Mekni, I., Santesteban, H., Pascual, I., Morales, F., Irigoyen, J.J., 2015. Effects of climate change including elevated CO<sub>2</sub> concentration, temperature and water deficit on growth, water status, and yield quality of grapevine (*Vitis vinifera* L.) cultivars. *Agric. Water Manage.* 159, 155–164.
- Lawlor, D.W., 2002. Carbon and nitrogen assimilation in relation to yield: mechanisms are the key to understanding production systems. *J. Exp. Botany.* 53 (370), 773-787.
- Lorensini, F., Ceretta, C.A., Giroto, E., Cerini, J.B., Lourenzi, C.R., De Conti, L., Trindade, M.M., Melo, G.W.B., Brunetto, G., 2012. Lixiviação e volatilização de nitrogênio em um Argissolo cultivado com videira submetida à adubação nitrogenada. *Ciência Rural.* 42, 1173–1179.
- Lorensini, F., Ceretta, C.A., De Conti, L., Ferreira, P.A.A., Dantas, M.K.L., Brunetto, G., 2017. Adubação nitrogenada na fase de crescimento de videiras “Chardonnay” e “Pinot Noir” e formas de nitrogênio em solo arenoso do Bioma Pampa. *Rev. Ceres.* 64, 433–440.
- Marschner, P., 2012. *Marschner’s Mineral Nutrition of Higher Plants.* Amsterdam.
- Metay, A., Magnier, J., Guilpart, N., Angélique, C., 2015. Nitrogen supply controls vegetative growth, biomass and nitrogen allocation for grapevine (cv. Shiraz) groSN in pots. *Func. Plant Biol.*, 42,105–114.
- Muscas, E., Cocco, A., Mercenaro, L., Cabras, M., Lentini, A., Porqueddu, C., Nieddu, G., 2017. Effects of vineyard floor cover crops on grapevine vigor, yield, and fruit quality, and the development of the vine mealybug under a Mediterranean climate. *Agric. Ecosyst. Environ.* 237, 203–212.
- Ortega, R.A., Wastfall, D.G., Ganfloff, W.J., Peterson, G.A., 1999. Multivariate approach to N and P recommendations in variable rate fertilizer applications. J.V. Stafford (Ed). *Proceedings of the second European Conference on Precision Agriculture*, Odense, Denmark, 387-396.
- Pérez-Álvarez, E.P., Martínez-Vidaurre, J.M., Martín, I., García-Escudero, E., Peregrina, F., 2013. Relationships among soil nitrate nitrogen and nitrogen nutritional status yield components, and must quality in semi-arid vineyards from Rioja AOC, Spain. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 44, 232–242.

- Pinheiro, J., Bates, D., DebRoy, S., Sarkar, D. and R Core Team, 2016. *\_nlme: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models\_*. R package version 3, 1-128, <URL: <http://CRAN.R-project.org/package=nlme>>.
- Queiroz, A.M.D.E., Souza, C.H.E., Machado, V.J., Lana, R.M.Q., Korndorfer, G.H., Silva, A.A., 2011. Avaliação de diferentes fontes e doses de nitrogênio na adubação da cultura do milho. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*. 10, 257–266.
- R CORE TEAM., 2017. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>
- Ribéreau-Gayon, G., 1968. Étude des mécanismes de synthèse et de transformation de l'acide malique, de l'acide tartrique et de l'acide citrique chez *Vitis vinifera*. *Phytochemistry*, Elmsford., 7 (9), 1471-1482.
- Sadras, V.O., Moran, M.A., 2012. Elevated temperature decouples anthocyanins and sugars in berries of Shiraz and Cabernet Franc. *Aust. J. Grape Wine Res.* 18, 115–122.
- Schreiner, R.P., Scagel, C.F., 2006. Nutrient uptake and distribution in a mature 'pinot noir' vineyard. *Hortscience*. 41, 336–345.
- Smart, R., Robinson, M., 1991. *Sunlight into wine: A handbook for winegrape canopy management*. Adelaide: Winetitles.
- Soil Survey Staff., 2014. *Keys to Soil Taxonomy*. 12ed. USDA-NRCS, Washington, DC, USA.
- Steenwerth, K. L., Belina, K. M., 2010. Vineyard weed management practices influence nitrate leaching and nitrous oxide emissions. *Agric. Ecosyst. Environ.* 138, 127–131.
- Taiz, L.; Zeiger, E., 2013. *Fisiologia Vegetal*. Porto Alegre: Artmed, 820p.
- Tarara, J.M., Lee, J., Spayd, S.E., Scagel, C.F., 2008. Berry Temperature and Solar Radiation Alter Acylation, Proportion, and Concentration of Anthocyanin in Merlot Grapes. *Am. J. Enol. Viticult.* 3, 235–247.
- Tedesco, M.J., Gianello, C., Bissani, C.A., Bohnen, H., Volkweiss, S.J., 1995. *Análise do solo, planta e outros materiais*. UFRGS, Porto Alegre.
- Webb, L.B., Whetton, P.H., Barlow, E.W.R.S., 2006. Potential impacts of projected greenhouse gas-induced climate change on Australian viticulture. *Wine Indust. J.* 21 (4), 16–20.
- Zapata, C., Dele, E., Chaillou, S., Magne, C., 2004. Partitioning and mobilization of starch and N reserves in grapevine (*Vitis vinifera* L.). *J. Plant Physiol.* 161,1031–1040.

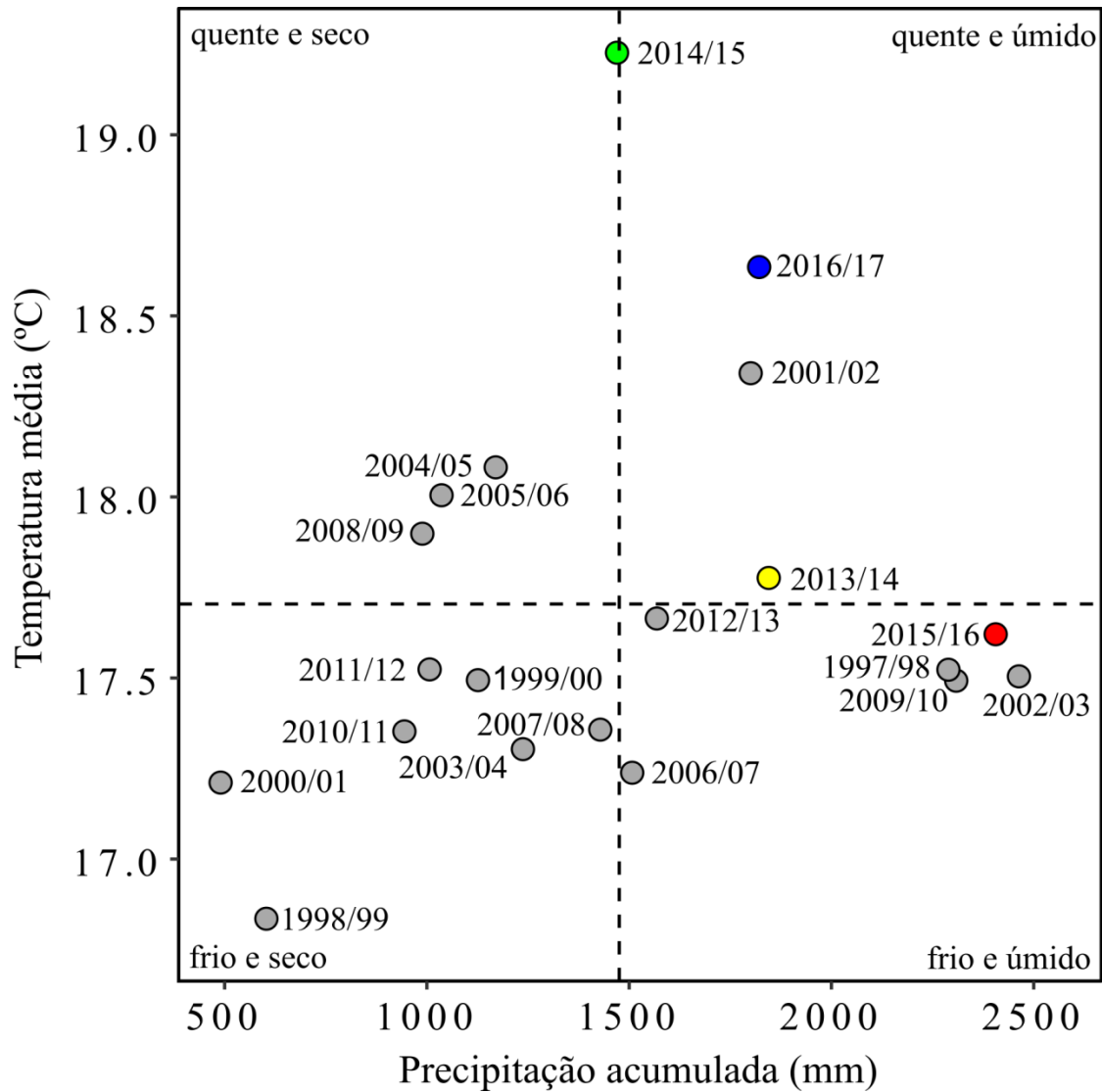


Figura 1. Distribuição espacial das médias de temperatura e precipitação acumulada anual entre os anos 1997/98 a 2016/17 (os quatro últimos anos estão destacados) mensurada na estação experimental em Santana do Livramento, Rio Grande do Sul, Brasil. Linhas tracejadas retratam a média dos últimos 20 anos para as variáveis, precipitação acumulada (mm) e temperatura média (°C).

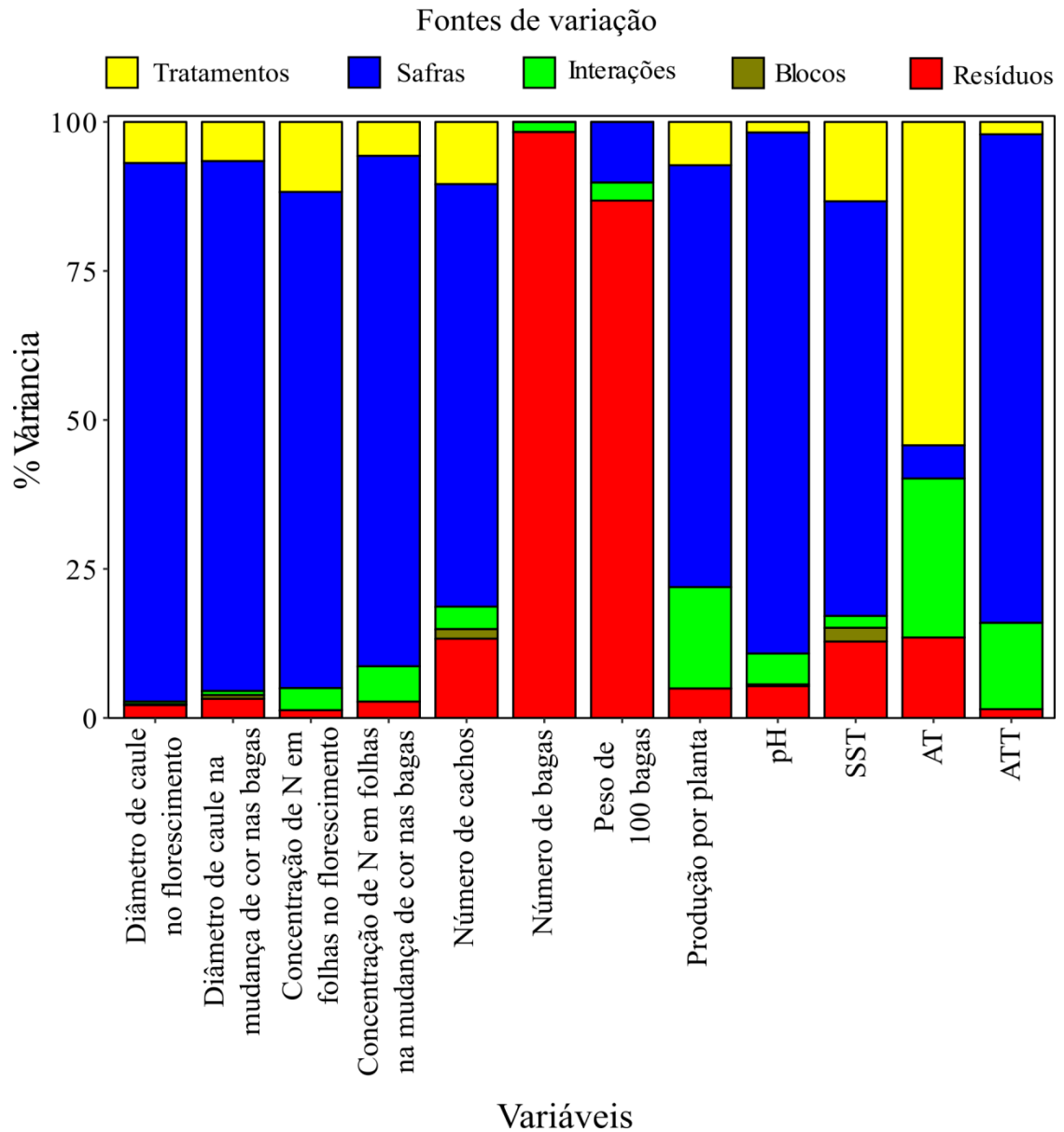


Figura 2. Particionamento da variância para os tratamentos, anos (safras), interações, blocos e residual (erro) da variância total para cada variável na análise, em videiras ‘Alicante Bouschet’ submetidas a modos de fornecimento de N. (NF- Nitrogênio via Fertirrigação; NCI- Nitrogênio Com Irrigação; NSI- Nitrogênio Sem Irrigação; ½ NF- ½ Nitrogênio via Fertirrigação; SN- Sem Nitrogênio; SST – Sólidos Solúveis Totais; ATT – Acidez Total Titulável; AT – Antocianinas Totais).

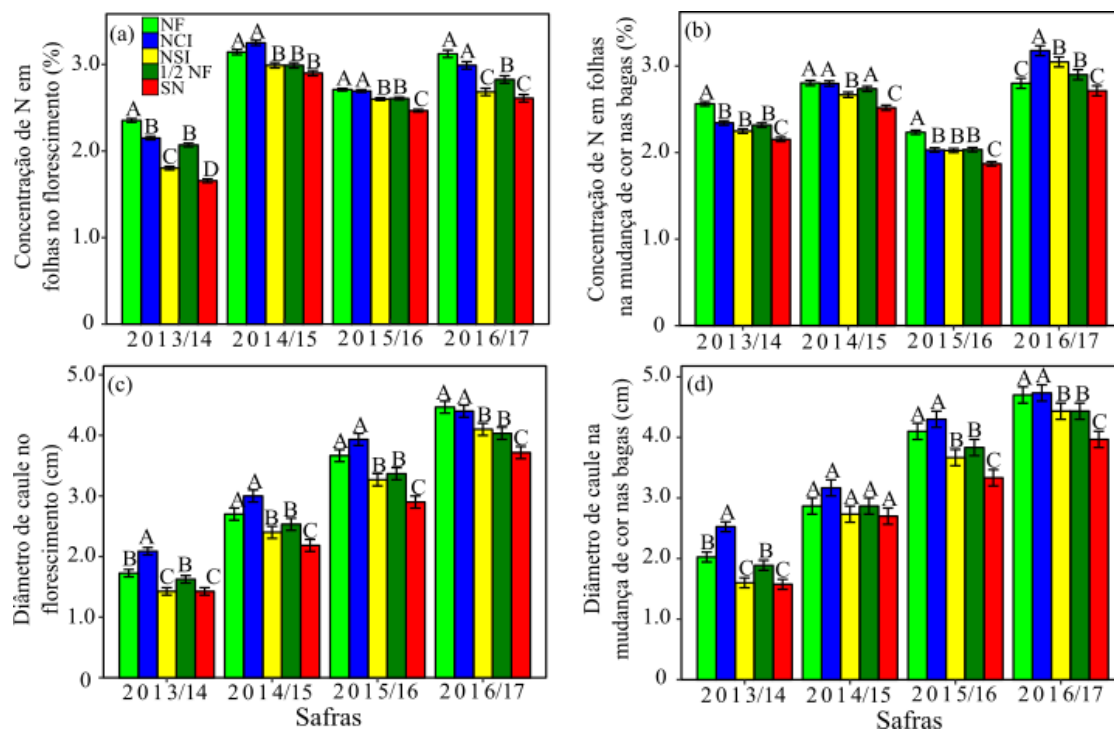


Figura 3. Concentração de N em folhas no pleno florescimento (a) e na mudança de cor das bagas (b); diâmetro de caule no pleno florescimento (c); e na mudança de cor das bagas (d), em videiras ‘Alicante Bouschet’ submetidas a modos de fornecimento de N. (NF- Nitrogênio via Fertirrigação; NCI- Nitrogênio Com Irrigação; NSI- Nitrogênio Sem Irrigação; 1/2 NF- 1/2 Nitrogênio via Fertirrigação; SN- Sem Nitrogênio). Letras iguais entre tratamentos na mesma safra não diferiram estatisticamente pelo teste Skott-Knott ( $\alpha < 0,05$ ).



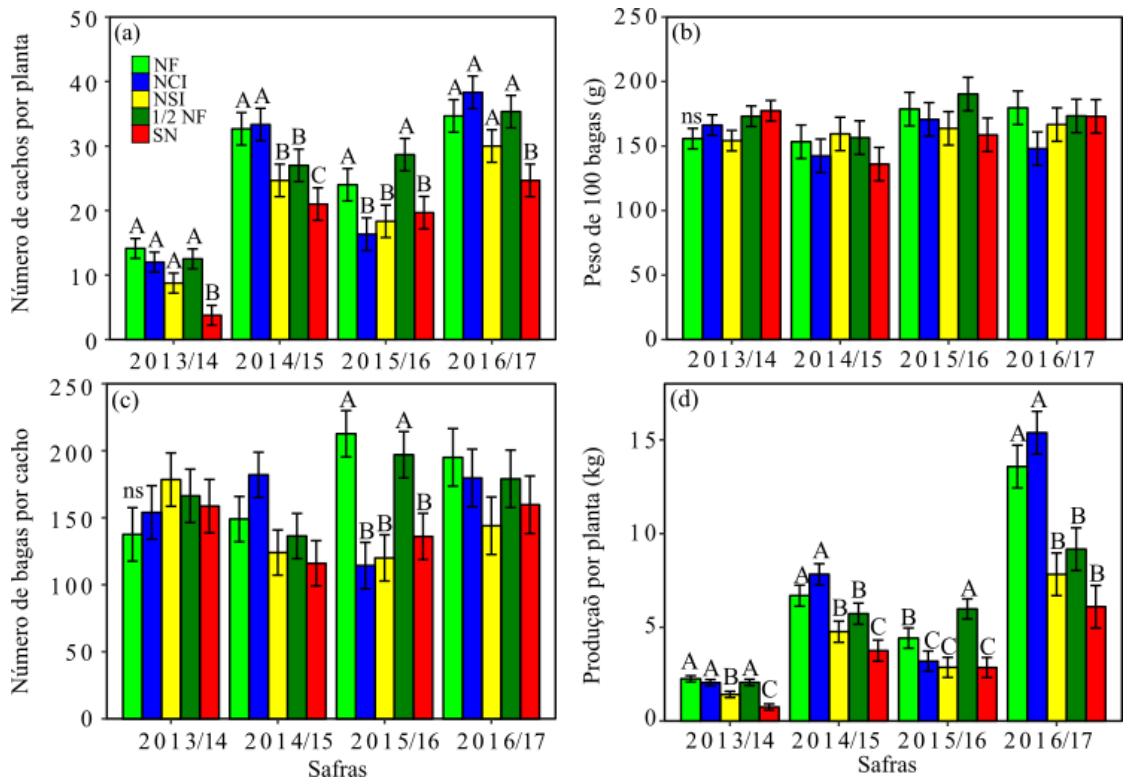


Figura 4. Número de cachos de uva por planta (a), peso de 100 bagas (b), número de bagas por cacho (c) e produtividade de uva por planta (d), em videiras ‘Alicante Bouschet’ submetidas a modos de fornecimento de N. (NF- Nitrogênio via Fertirrigação; NCI- Nitrogênio Com Irrigação; NSI- Nitrogênio Sem Irrigação; 1/2 NF- 1/2 Nitrogênio via Fertirrigação; SN- Sem Nitrogênio). Letras iguais entre tratamentos na mesma safra não diferiram estatisticamente pelo teste Skott-Knott ( $\alpha < 0,05$ ).

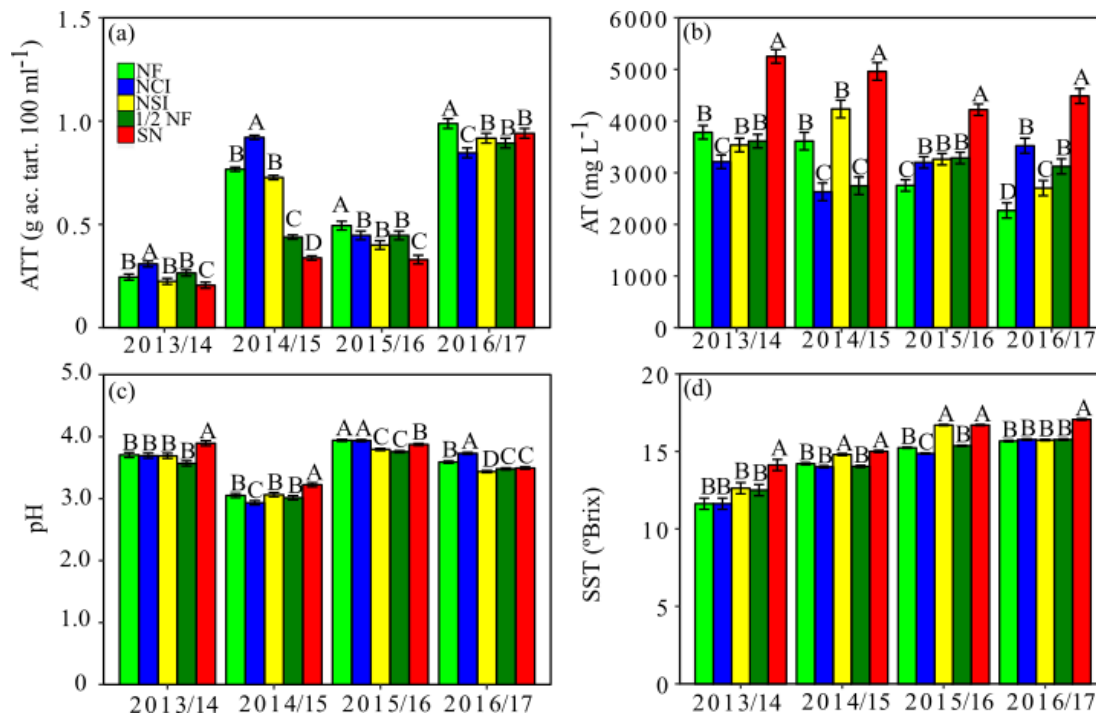


Figura 5. Acidez total titulável (ATT) (a); antocianinas totais (TA) (b); pH (c); e sólidos solúveis totais (SST) (d), em videiras ‘Alicante Bouschet’ submetidas a modos de fornecimento de N. (NF- Nitrogênio via Fertirrigação; NCI- Nitrogênio Com Irrigação; NSI- Nitrogênio Sem Irrigação; 1/2 NF- 1/2 Nitrogênio via Fertirrigação; SN- Sem Nitrogênio). Letras iguais entre tratamentos na mesma safra não diferiram estatisticamente pelo teste Skott-Knott ( $\alpha < 0,05$ ).

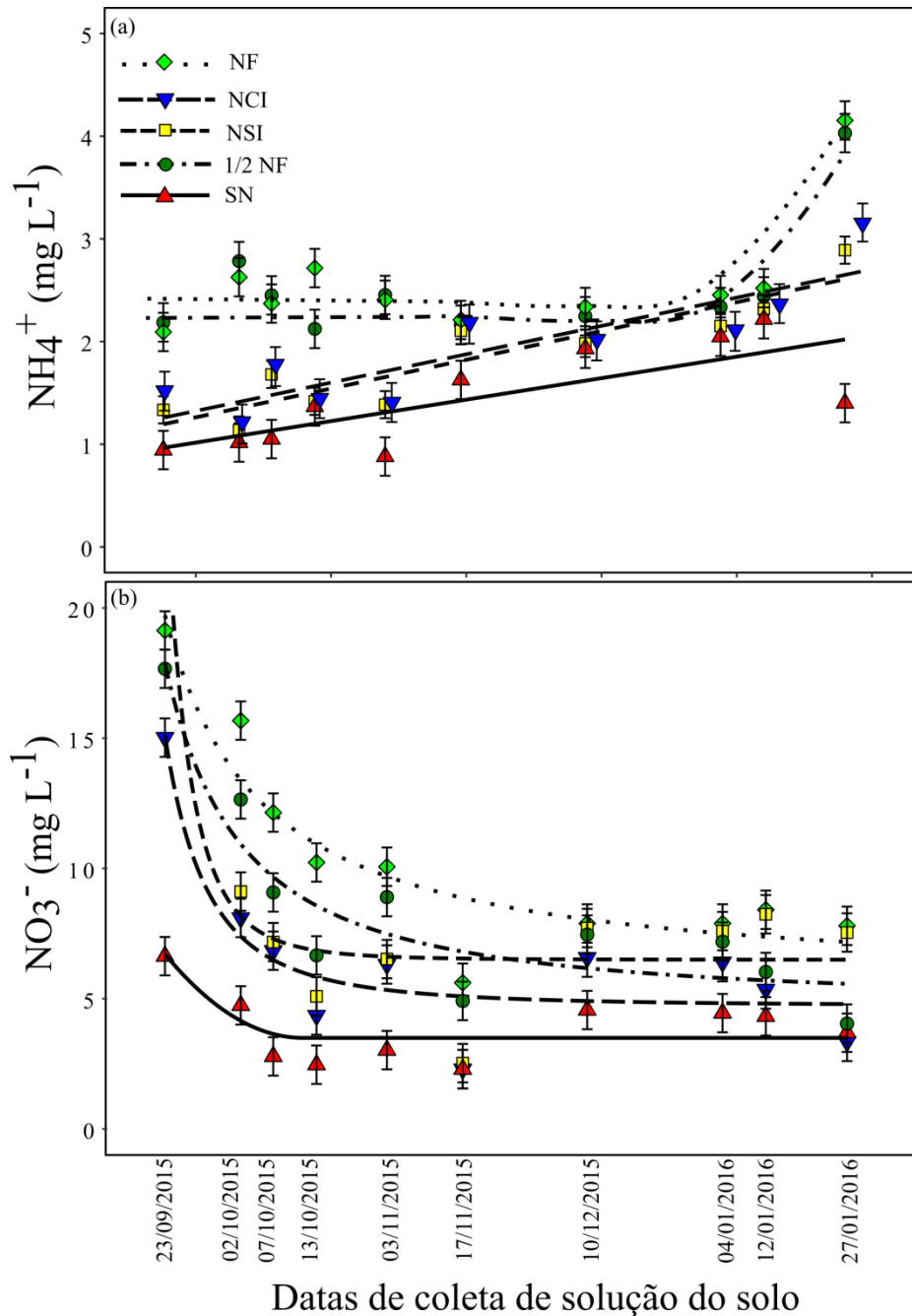


Figura 6. Concentrações de  $\text{NH}_4^+$ (a) e  $\text{NO}_3^-$ (b) na solução do solo cultivado com videiras ‘Alicante Bouschet’ submetidas a modos de fornecimento de N, durante 10 eventos pluviométricos. (NF- Nitrogênio via Fertirrigação; NCI- Nitrogênio Com Irrigação; NSI- Nitrogênio Sem Irrigação; 1/2 NF- 1/2 Nitrogênio via Fertirrigação; SN- Sem Nitrogênio). Barras verticais indicam o erro padrão ( $p < 0.001$ ). ( $\text{NH}_4^+ = (\text{NF}) y = 60.705986 - 0.946492 * x + 0.003838 * x^2$  platô aos 123.3 dias após a aplicação; (1/2NF)  $y = 12.3717648 - 0.1984223 * x + 0.0009721 * x^2$  platô aos 102.1 dias após a aplicação; (NCI)  $y = 10.3868 + 0.01132 * x$ ; (NSI)  $y = 0.9248 + 0.0111 * x$ ; (SN)  $y = 0.8065 + 0.008371 * x$ ); ( $\text{NO}_3^- = (\text{NF}) y = 5.571 + 332.559 * x^{-1.072}$ ; (1/2NF)  $y = 4.733 + 723.163 * x^{-1.361}$ ; (NCI)  $y = 6.480 + 6575000 * x^{4.342}$ ; (NSI)  $y = 4.711 + 14640.121 * x^{-2.463}$ ; (SN)  $y = 13.270419 - 0.439530 * x + 0.004933 * x^2$  platô aos 44.5 dias após a aplicação).

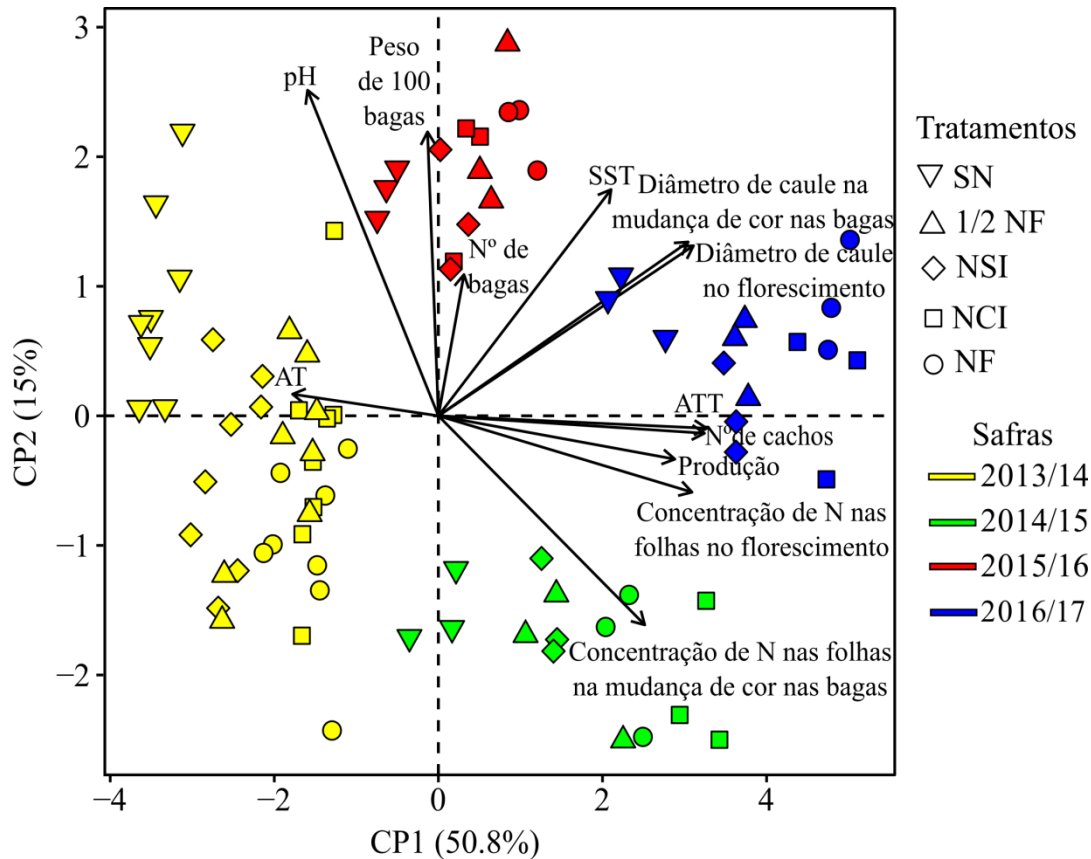


Figura 7. Relação entre o componente principal 1 (PC1) e o componente principal 2 (PC2) para variáveis de crescimento (concentração de N em folhas coletadas no pleno florescimento e na mudança da cor nas bagas; diâmetro de caule no pleno florescimento e na mudança de cor nas bagas), de produção (número de cachos por planta, produção de uva por planta, peso de 100 bagas e número de bagas por cacho) e químicas do mosto (sólidos solúveis totais - SST, pH, acidez total titulável - ATT e antocianinas totais- AT), em videiras ‘Alicante Bouschet’ submetidas a modos de fornecimento de N. (NF- Nitrogênio via Fertirrigação; NCI- Nitrogênio Com Irrigação; NSI- Nitrogênio Sem Irrigação; 1/2 NF- 1/2 Nitrogênio via Fertirrigação; SN- Sem Nitrogênio).

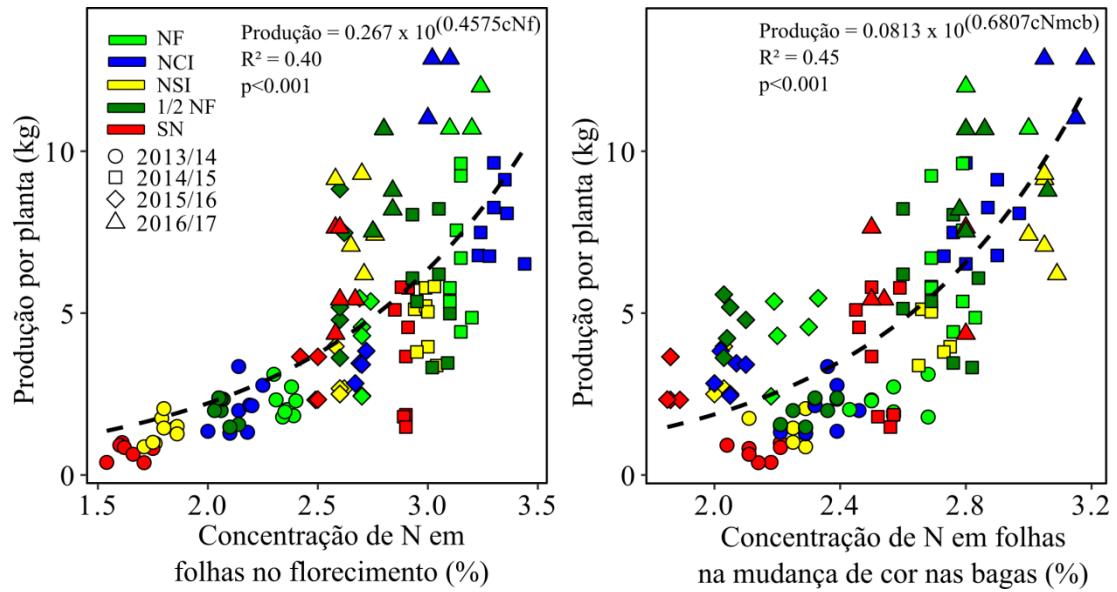


Figura 8. Correlação entre a produtividade por planta (kg) e a concentração de N nas folhas no pleno florescimento (a), e na mudança de cor nas bagas (b), em videiras 'Alicante Bouschet' submetidas a modos de fornecimento de N. (NF- Nitrogênio via Fertirrigação; NCI- Nitrogênio Com Irrigação; NSI- Nitrogênio Sem Irrigação; 1/2 NF- 1/2 Nitrogênio via Fertirrigação; SN- Sem Nitrogênio).

## **6. ARTIGO 2. IMPACTO DO MODO DE FORNECIMENTO DE DOSES DE N SOBRE A PRODUÇÃO DE UVA E COMPOSIÇÃO DO MOSTO EM VIDEIRAS ‘Alicante Bouschet’**

### **Resumo**

As videiras aproveitam pequena quantidade do nitrogênio (N) derivado do fertilizante, quando aplicado na superfície do solo. Por isso, surge a necessidade do fornecimento de doses adequadas de N por modos alternativos, como a aplicação de N seguida de irrigação ou a fertirrigação, para potencializar o aproveitamento do N pelas videiras. O estudo objetivou avaliar o impacto do modo de fornecimento de doses de N sobre a produção de uva e composição do mosto em videiras ‘Alicante Bouschet’. O experimento foi instalado em 2014 em um vinhedo de ‘Alicante Bouschet’, implantado em 2011, na região Sul do Brasil. O experimento foi um bifatorial (dose x modo). As doses de N foram 0, 20, 40, 60, 80 e 100 kg N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, aplicadas em três modos de fornecimento, aplicação de N sem irrigação (NSI), aplicação de N seguido de irrigação (NCI) e aplicação de N via fertirrigação (NF). Nas safras 2014/15, 2015/16 e 2016/17 folhas foram coletadas no pleno florescimento e mudança de cor das bagas, preparadas e submetidas à análise da concentração de N. O diâmetro de caule das plantas foi mensurado. A produção de uva e seus componentes foram determinados. Os sólidos solúveis totais (SST), pH, acidez total titulável (ATT), antocianinas totais (AT) e polifenóis totais (PT) foram avaliados no mosto. Videiras que apresentaram concentrações de N maiores que 2,75% em folhas no pleno florescimento e maiores que 2,25% na mudança da cor das bagas possuem 99% de probabilidade de atingirem a máxima produção de uva. A aplicação de 35 kg N ha<sup>-1</sup> foi a que possibilitou a dose de máxima eficiência técnica, associada a adequadas concentrações de TA, PT e SST no mosto.

**Palavras-chave:** fertirrigação, produtividade, irrigação, antocianinas totais, teor de N foliar.

### **Abstract**

Vines can take up a small amount of the nitrogen (N) from fertilizers that are applied to the soil surface. Therefore, there is a need to provide adequate doses of N through alternative modes,

such as N application followed by irrigation or fertigation, to potentiate the vines N use. The objective of this study was to evaluate the impact of N doses supply modes on grape production and composition of grape must in 'Alicante Bouschet' vines. The experiment was installed in 2014 in an 'Alicante Bouschet' vineyard that had been implanted in 2011, in the South region of Brazil. The experiment was a two-factorial (dose x mode). N doses were 0, 20, 40, 60, 80 and 100 kg N ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>. The N rates were applied through three supply modes, which were: N without irrigation (NSI), N followed by irrigation (NCI) and N application via fertigation (NF). In the 2014/15, 2015/16 and 2016/17 harvests, leaves were collected at flowering and at veraison phenological stages. Leaves were prepared and submitted to N concentration analysis. The plants stem diameter was measured. Grape production and productivity components were determined. Total soluble solids (SST), pH, total titratable acidity (ATT), total anthocyanins (AT) and total polyphenols (PT) were evaluated on must. Vines that had in leaves N concentrations greater than 2.75% at flowering and greater than 2.25% at veraison, have 99% of probability of reaching maximum grape production. The application of 35 kg N ha<sup>-1</sup> allowed maximum technical efficiency, associated with adequate concentrations of TA, PT and SST on must.

**Key-words:** fertigation, productivity, irrigation, total anthocyanins, leaf N content.

## 6.1 INTRODUÇÃO

Solos arenosos de vinhedos possuem baixos conteúdos de matéria orgânica, o que lhes confere, hipoteticamente, baixa capacidade natural de fornecimento de formas de N mineral às videiras. Por isso, é necessária a aplicação de fontes de N, como a ureia, que possui entre os fertilizantes nitrogenados, o menor custo por unidade de N (Queiroz et al., 2011). A ureia, normalmente, é aplicada na projeção da copa das videiras, durante o período vegetativo e produtivo, sobre o solo e sem incorporação, para evitar danos físicos ao sistema radicular, especialmente, em regiões subtropicais, que possuem elevadas temperaturas e frequentes precipitações ao longo dos meses do ano, o que pode estimular a incidência de doenças fúngicas radiculares (Pertot et al., 2008). Porém, parte do N aplicado na superfície do solo de vinhedos pode ser perdido por volatilização, especialmente, em regiões com maiores temperaturas (Mattos et al., 2003; Fernández-Escobar et al., 2012), justificando o pequeno aproveitamento de N derivado do fertilizante aplicado pelas videiras (Brunetto et al., 2016). Por causa disso, surge a necessidade do fornecimento de doses adequadas de N por modos alternativos, como a

aplicação de N seguida de irrigação ou a fertirrigação, para potencializar o aproveitamento do N derivado do fertilizante pelas videiras.

Os grânulos da ureia aplicados em solos de vinhedos quando seguido de irrigação ou fornecidos pela fertirrigação tendem a ser solubilizados rapidamente. Os produtos de dissolução da ureia como  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{OH}^-$  e amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) migram horizontalmente e verticalmente no solo, especialmente, naqueles mais drenados, como os arenosos, até regiões com maior presença de raízes (Comas et al., 2005; Radville et al., 2016). Além disso, a maior presença de água no solo contribui para a aproximação de formas de N derivadas do fertilizante, como  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{NH}_4^+$  até a superfície externa de raízes (Souza et al., 2012). Mas também, a maior disponibilidade de água no solo pode contribuir com o aumento da atividade da população microbiana do solo, aumentando a mineralização da matéria orgânica e, conseqüentemente, a concentração de formas de N derivadas do solo na solução próxima as raízes das videiras (Calleja-Cervantes et al., 2015).

Espera-se que parte das formas de N derivadas do fertilizante e da matéria orgânica do solo possam ser absorvidas pelas raízes das videiras, incrementado a concentração de N no interior da planta, que pode ser diagnosticada pela análise de folhas, coletadas no pleno florescimento ou mudança da cor das bagas (Arrobas et al., 2014; Brunetto et al., 2014). Porém, se espera que a concentração de N nas folhas no pleno florescimento seja maior, por causa da maior emissão de raízes jovens, que são mais finas, ativas e responsáveis pela absorção de água e nutrientes, como o N (Comas et al., 2010). Mas também, por causa da menor área foliar, o que aumenta a concentração de N no tecido (Tagliavini & Millard, 2005) e menor redistribuição de formas de N para outros órgãos em crescimento (Yu et al., 2012). Porém, caso sejam elevadas as doses de N fornecidas ao solo, independentemente do modo de fornecimento, ou especialmente, naqueles onde a água é usada como meio de distribuição do N, como a fertirrigação ou quando a aplicação de N é seguida da irrigação, parte do N pode ser perdido por lixiviação, especialmente, em solos arenosos e com baixos teores de matéria orgânica (Steenwerth et al., 2010; Toselli et al., 2011; Brunetto et al., 2016).

Videiras cultivadas em solos submetidos a doses insuficientes de N ou com adição de N por modos onde as perdas são potencializadas tendem a possuir menos N no seu interior, afetando negativamente a síntese de ácidos nucléicos, proteínas, co-enzimas, fitohormônios e metabólitos secundários (Marschner, 2012). Além disso, pode acontecer a diminuição de processos fundamentais na célula, como a fotossíntese, por causa da menor produção de rubisco, enzima responsável pela carboxilação, além da menor concentração de clorofila, constituinte da molécula (Kizildeniz et al., 2015). Por isso, a produção de uva pode ser menor,



o que aumenta na baga a concentração de sólidos solúveis totais (SST), polifenóis totais (PT) e antocianinas totais (AT), o que é desejado para elaboração de vinhos de qualidade (Sofó et al., 2012). Por outro lado, em vinhedos cultivados em solos submetidos a excessivas doses de N, especialmente, por modos de fornecimento que favoreçam a absorção de N, como aqueles onde a água é fornecida juntamente ou após a aplicação dos fertilizantes nitrogenados, as videiras possuem maior concentração de N no seu interior, o que pode estimular o vigor da parte aérea e a produção de uva (Guilpart et al., 2014). Cachos e bagas maiores promovem a diluição de SST, PT e AT nas bagas (Sofó et al., 2012), depreciando a qualidade do mosto e muito provavelmente do vinho (Terrier et al., 2009). Além disso, o vigor excessivo diminui a incidência de raios solares nos cachos, o que retarda a degradação de ácidos nas bagas, aumentando os valores de acidez total titulável (ATT) (Brunetto et al., 2009). Aliado a isso, parte dos PT e AT podem migrar das bagas para os órgãos em crescimento, como folhas e ramos (Yu et al., 2012), diminuindo a intensidade da cor do mosto, o que não é desejável para a elaboração de vinhos tintos de qualidade (Roby et al., 2004; Costa et al., 2015).

Por isso, torna-se necessário a realização de experimentos de calibração, com avaliação em repetidas safras, onde doses de N são aplicadas em diferentes modos de fornecimento e as variáveis respostas obtidas, como de crescimento, produção de uva e seus componentes, e a composição do mosto são relacionados com a quantidade de N aplicada. A partir destas avaliações, também será possível prever quais concentrações mínimas de N em folhas em estágios fenológicos podem estimar a máxima produção de uva, que poderá ser relacionada a composição do mosto, determinante da qualidade de vinhos. O estudo objetivou avaliar o impacto do modo de fornecimento de doses de N sobre a produção de uva e composição do mosto, em videiras ‘Alicante Bouschet’.

## 6.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 6.2.1 Caracterização da área experimental

O estudo foi conduzido em um vinhedo implantado em 2011 no município de Santana do Livramento (Latitude 30° 48' 31" S; Longitude 55° 22' 33" W), localizado na região da Campanha Gaúcha do estado do Rio Grande do Sul (RS), região Sul do Brasil. A cultivar foi Alicante Bouschet, enxertada sobre o porta-enxerto Paulsen 1103. O período de condução do experimento foi de setembro de 2014 a março de 2017. O espaçamento das plantas entre as

linhas foi de 2,8 m e entre as plantas foi de 1,2 m (densidade de 2976 plantas por hectare). O sistema de condução das videiras foi espaldeira. Na poda de inverno das safras 2014/15, 2015/16 e 2016/17 foram mantidas 20 gemas por planta. O relevo da área do vinhedo foi suave ondulado. O clima da região é subtropical úmido, tipo Cfa, segundo a classificação de Köppen, que se caracteriza por temperaturas amenas e chuvas com pouca variação ao longo do ano. A precipitação média anual é de 1,600 mm. A temperatura do mês mais quente, janeiro é de 23,8 °C e a média no mês mais frio, julho é de 12,4 °C. A insolação anual é de aproximadamente 2500 horas. Os valores de temperatura média e precipitação acumuladas são apresentados na Figura 1. A vegetação nas linhas de plantio anualmente foi dessecada com herbicida não seletivo de ação sistêmica (*i.a. glyphosate*), com 2 a 4 aplicações sequenciais, dependendo do desenvolvimento da vegetação, na dose de 2 litros por ha<sup>-1</sup>. Os herbicidas foram aplicados mecanicamente, com a utilização de pulverizadores de jato dirigido. A vegetação das entrelinhas, composta por *Paspalum notatum*, *Paspalum plicatulum* e *Lolium multiflorum* foram roçadas mecanicamente aproximadamente cinco vezes ao longo de cada ciclo das videiras a, aproximadamente, 0,1m de altura. Os resíduos foram adicionados sobre a superfície do solo das entrelinhas.

O solo foi classificado como Argissolo Vermelho (Embrapa, 2013), Typic Hapludalf (Soil Survey Staff, 2014). Na instalação do experimento o solo possui na camada de 0,0 a 0,2 m: areia 830 g kg<sup>-1</sup>, silte 107 g kg<sup>-1</sup> e argila 63 g kg<sup>-1</sup> (método da pipeta) (Embrapa, 1997); matéria orgânica 10 g kg<sup>-1</sup> (método Walkley Black), pH em água 5,5 (relação 1:1); P e K disponíveis 20 e 65 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente (ambos extraídos por Mehlich-1); Al, Ca e Mg trocáveis, 0,0, 1,69 e 0,82 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, respectivamente, (ambos extraídos por KCl 1 mol L<sup>-1</sup>) (Tedesco et al., 1995). O vinhedo, antes da instalação do experimento foi submetido à aplicação anual de aproximadamente 45 kg N ha<sup>-1</sup>, 45 kg P ha<sup>-1</sup> e 45 kg K ha<sup>-1</sup>. A fonte de N foi uréia (45% N), a de P foi superfosfato triplo (41% P) e de K foi o KCl (60% K). Depois da instalação do experimento as mesmas quantidades de P e K continuaram sendo aplicadas anualmente. Os fertilizantes foram aplicados sobre a superfície da linha de plantio, sem incorporação.

## 6.2.2 Tratamentos

O experimento foi um bifatorial (dose x modo). As doses de N foram 0, 20, 40, 60, 80 e 100 kg N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, aplicadas em três modos de fornecimento, aplicação de N sem irrigação (NSI), aplicação de N seguido de irrigação (NCI) e aplicação de N via fertirrigação (NF). O total de tratamentos foi 18. A fonte de N utilizada foi a uréia (45% N). Nos modos de

fornecimento das doses de N com e sem irrigação, a ureia foi aplicada na superfície do solo da linha de plantio, na região da projeção da copa das plantas. A irrigação e a fertirrigação foram realizadas através de sistema de gotejamento (Netafim<sup>TM</sup>), modelo Dripnet PC AS 16250, vazão de 1,6 L hora e espaçamento de 0,6 m entre gotejadores. A fertirrigação nos tratamentos fertirrigados foi realizada em quatro parcelas, com intervalo de 5 dias entre cada aplicação. No tratamento NCI a irrigação foi realizada imediatamente após a aplicação da ureia. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, com cinco repetições. Cada repetição foi formada por cinco plantas, sendo as três plantas centrais avaliadas.

### **6.2.3 Coleta de folhas para análise de N e mensuração de diâmetro de caule**

No pleno florescimento e mudança de cor das bagas foram coletadas folhas completas, opostas ao cacho, no terço médio dos ramos do ano. As folhas foram lavadas com água destilada e secas em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C até peso constante. As folhas foram moídas em moinho do tipo Willey e passadas em peneira com malha de 2 mm. A digestão sulfúrica das folhas foi realizada segundo metodologia proposta por Tedesco et al. (1995). A destilação de N total foi realizada em destilador micro-kjeldhal (Tecnal, TE-0363, Brasil) (Tedesco et al., 1995). O diâmetro de caule das videiras foi mensurado a 10 cm de altura da superfície do solo, usando paquímetro analógico universal (150 mm, Strong, China), nas mesmas datas em que foram coletadas as folhas.

### **6.2.4 Produtividade e seus componentes**

Na colheita das uvas nas safras 2014/15, 2015/16 e 2016/17 foi realizada a contagem do número de cachos por planta. Todos os cachos foram colhidos e pesados, usando balança digital (Walmur, 50 K, Brasil), com precisão de três dígitos. Cinco cachos foram reservados por planta. Posteriormente, em cada cacho foi contado o número de bagas. As bagas foram pesadas em balança (Bel Engineering, Balança de precisão L, Brasil) para a determinação da massa de 100 bagas. Bagas foram coletadas no terço superior, mediano e inferior de cinco cachos por tratamento. As bagas foram reservadas para posterior análise química.

### **6.2.5 Análises químicas do mosto**

As bagas reservadas foram submetidas às análises de sólidos solúveis totais (SST), pH e acidez total titulável (ATT). Para isso, as bagas foram descascadas e maceradas manualmente, utilizando apenas a polpa com semente. O teor de SST, expresso em °Brix foi determinado em refratômetro digital (Atago, modelo PAL-3, Japão) de acordo com as normas da AOAC (2005). O pH foi determinado usando pHmetro digital de bancada à temperatura de 20°C (Digimed, D.M-22, Brasil). Os resultados foram expressos em unidades de pH. Para a ATT, 10 ml de amostra foram transferidos para balão volumétrico de 100 mL e o volume completado com água destilada isenta de CO<sub>2</sub>. Esta solução foi titulada com solução padrão de hidróxido de sódio (NaOH) 0,1 mol L<sup>-1</sup> (IAL, 2008).

Para a extração das antocianinas totais (AT) e polifenóis totais (PT) foram utilizadas apenas as cascas das bagas. Para isso, as cascas foram separadas da polpa manualmente. Cascas com peso conhecido foram misturadas com uma solução etanólica (70:30) acidificada (1% HCl) (Ju & Howard, 2003), na proporção de 1:3 (m/v), e trituradas em liquidificador (Arno, Clic Lav Top, Brasil), durante 40 segundos na velocidade dois do liquidificador, e mais 40 segundos na velocidade cinco. A solução obtida foi acondicionada em Becker com capacidade de 250 ml e, em seguida, foi mantida em repouso, ao abrigo da luz durante 30 minutos à temperatura ambiente (20 ± 1 °C). Logo depois, o extrato foi centrifugado a 3500 RPM por cinco minutos. O sobrenadante foi coletado em frasco de vidro âmbar e armazenado sob refrigeração (4-10 °C). O processo de extração foi efetuado em triplicata.

O conteúdo de AT foi determinado pelo método da diferença de pH (Giusti & Wroslstad, 2001), onde as amostras são dissolvidas em dois sistemas-tampão: cloreto de potássio 0,025 mol L<sup>-1</sup> (pH 1,0) e acetato de sódio 0,4 mol L<sup>-1</sup> (pH 4,5). A absorbância foi medida no comprimento de onda máximo de absorção na região visível (515 nm) e em 700 nm utilizando espectrofotômetro UV-Vis (Femto, 600 plus, Brasil). A absorbância foi calculada pela equação 1:

$$A = (A_{\text{máx. vis}} - A_{700\text{nm}})_{\text{pH}1,0} - (A_{\text{máx. vis}} - A_{700\text{nm}})_{\text{pH}4,5} \quad \text{Equação 1}$$

1

A concentração de pigmentos monoméricos no extrato foi calculada e representada em cianidina-3-glicosídeo (PM = 449,2 e ε = 26900) (Equação 2).

$$\text{Antocianinas (mg L}^{-1}\text{)} = (A \times MM \times FD \times 1000) / (\varepsilon \times l) \quad \text{Equação 2}$$

2

onde: A = absorbância; MM = massa molecular; FD = fator de diluição, e ε = absorvidade molar.

O conteúdo de PT foi determinado pelo método espectrofotométrico desenvolvido por Folin-Ciocalteu (Singleton & Rossi, 1965), usando espectrofotômetro (Femto, 600 plus, Brasil). Uma curva com concentrações de ácido gálico foi preparada e os resultados foram calculados e representados graficamente, utilizando o gradiente de concentração em função da absorvância. Os resultados foram expressos em  $\text{mg L}^{-1}$  de ácido gálico.

### 6.2.6 Análises estatísticas

Todas as variáveis respostas consideradas neste estudo foram submetidas a uma análise de componentes da variância, com objetivo de quantificar a contribuição de cada fonte de variação conhecida (doses de N, modos de aplicação e interações), na variância total dos dados. Esse procedimento estatístico foi realizado usando o pacote “varComp” (Long, 2015) do ambiente estatístico R (R Core Team, 2017). Para testar a significância dos tratamentos testados nesse estudo um modelo misto (efeitos fixos e randômicos) foi ajustado considerando, doses de N, modos de aplicação e a interação entre eles como efeito fixo, e blocos e anos/safras como efeito randômico. Pela possibilidade de ocorrência de heterocedasticidade pela inclusão do efeito anos/safras no modelo, um modelo alternativo foi ajustado considerando variâncias não homogêneas através dos anos. Os modelos foram comparados através do Critério de Informação de Akaike (AIC) e Critério de Informação Bayesiano (BIC). Todos os modelos foram ajustados usando o pacote “nlme” (Pinheiro et al., 2017), do software R (R core team, 2017). Modelos apresentando menores valores de AIC e BIC foram usadas na análise de variância. Sempre que a hipótese nula (médias que não diferem) foi rejeitada com alfa igual a 0,05, a comparação de médias foi realizada usando o teste de Tukey.

A fim de explorar a relação entre a máxima produtividade em diferentes concentrações de N nas folhas coletadas no pleno florescimento e na mudança da cor das bagas, uma análise de fronteira foi realizada. A regressão quartílica a 99% é um exemplo de análise de fronteira amplamente usada na literatura (Ciampitti and Vyn, 2012; Long et al., 2017). Um ajuste linear com platô foi ajustado a 99% percentil usando o pacote “quantreg” (Koenker, 2017), permitindo explorar a existência de concentrações de N nas folhas acima das quais ocorre uma estabilização na produtividade potencial.

Por último, para explorar de maneira mais dinâmica a correlação existente entre as variáveis consideradas nesse estudo, uma análise de componentes principais (ACP) foi realizada usando os pacotes “factoextra” (Kassambara; Mundt, 2017) e “FactoMineR” (Le;

Josse; Husson, 2008). A ACP estabelece um conjunto de combinações lineares padronizadas denominadas componentes principais (CP), que são ortogonais e, em conjunto, explicam toda a variância dos dados originais. Este tipo de análise permite identificar interações mais complexas entre as variáveis avaliadas e identificar aquelas com maior contribuição para as diferenças entre os tratamentos. De maneira complementar a ACP uma análise de correlação de Pearson foi realizada permitindo a construção de uma matriz de correlação linear.

### 6.3 RESULTADOS

A análise de componentes da variância foi realizada para os grupos das variáveis de nutrição mineral e crescimento (concentração de N em folhas e diâmetro de caule, ambos durante o pleno florescimento e a mudança de cor das bagas), de produção de uva (produção de uva por planta, número de cachos por planta, largura e comprimento de cacho, número de bagas por cacho e peso de 100 bagas) e de mosto (pH, SST, ATT, AT e PT), considerando os tratamentos (modos de fornecimento e doses de N), safras (2014/15, 2015/16 e 2016/17), interações (dose e modo; dose e safra; modo e safra; dose, modo e safra) e resíduos como fontes de variação. Nós desconsideramos a variação não explicada pelo modelo (resíduos) e observou-se que o efeito de safra foi percentualmente predominante na explicação da variação dos dados, principalmente para as variáveis diâmetro de caule (florescimento e mudança de cor das bagas), produção de uva por planta, número de cachos, pH, ATT e PT. O efeito do modo de aplicação de N foi pouco explicativo para a variação dos dados, entretanto, apresentou alguma importância para as variáveis, concentração de N nas folhas no pleno florescimento e na mudança de cor das bagas, com respectivamente 10 e 15%. O efeito da aplicação de doses de N na variação dos dados também foi significativo, para as variáveis de concentração de N em folhas, SST e, principalmente TA, onde foi responsável por aproximadamente 75% da variação (Figura 2).

#### 6.3.1 Concentração de N em folhas e diâmetro de caule

A concentração de N em folhas coletadas no pleno florescimento não apresentou interação significativa entre modos de fornecimento de doses de N (Suplemento). Mas, a concentração de N em folhas coletadas no pleno florescimento de videiras aumentou de forma quadrática com o aumento da dose de N em cada modo de fornecimento de N (Figura 3a). As

videiras submetidas à aplicação de N via fertirrigação (NF) e de N seguido de irrigação (NCI) possuíam folhas com maior concentração de N quando coletadas em no pleno florescimento, comparativamente a concentração de N de folhas de videiras submetidas a aplicação N sem irrigação (NSI) (Tabela 1).

A concentração de N em folhas coletadas na mudança de cor das bagas demonstrou efeito de interação significativa entre modos de fornecimento de doses de N (Suplemento). Porém, a concentração de N em folhas aumentou de forma quadrática com o aumento da dose de N aplicada em todos os modos de fornecimento (Figura 3b). Mas, as maiores concentrações de N em folhas foram observadas nas videiras submetidas a todas as doses de N nos modos de fornecimento NF e NCI, exceto na dose 60 kg N ha<sup>-1</sup>, onde a concentração de N na folha não diferiu entre a aplicação de NSI ou NF, e de NF ou NCI (Tabela 2).

Os valores de diâmetro de caule de videiras não apresentaram interação significativa entre os modos de fornecimento de doses de N (Suplemento). Os valores de diâmetro de caule de videiras aumentaram de forma quadrática no pleno florescimento e a mudança de cor das bagas com o aumento das doses de N (Figura 3c, d). As videiras submetidas à NCI apresentaram os maiores valores de diâmetro de caule em todas as doses de N aplicadas, seguidas pelas videiras com aplicação de NF e, finalmente, aquelas que receberam N via NSI (Tabela 1).

### 6.3.2 Produção de uva e seus componentes

Os valores de comprimento de cacho não apresentaram interação significativa para os modos de fornecimento de doses de N (Suplemento). O comprimento de cachos aumentou de forma quadrática com o aumento das doses de N aplicadas, sem influência do modo de fornecimento (Figura 4a). Os valores de largura de cachos apresentaram interação significativa entre os modos de fornecimento de doses de N (Suplemento). Os valores de largura de cachos aumentaram quadraticamente com o aumento das doses de N no modo de fornecimento NCI (Figura 4b). Não foi possível ajustar modelos matemáticos para o comportamento da largura de cachos nos modos NF e NSI. Os valores de largura de caule não diferiram entre os modos de fornecimento de N para todas as doses de N, exceto para as doses de 60 e 80 kg N ha<sup>-1</sup>. Na dose de 60 kg N ha<sup>-1</sup> via NF e NCI os cachos foram mais largos, em comparação aos cachos das videiras submetidas à NSI (Tabela 2). Já para a dose de 80 kg N ha<sup>-1</sup> os cachos de maior largura foram obtidos via NCI, seguidos dos submetidos à NSI, que não diferiram dos colhidos nas videiras com de NF (Tabela 2).

Os valores de número de bagas por cacho apresentaram interação significativa para os modos de fornecimento de doses de N (Suplemento). O número de bagas por cacho aumentou de forma linear com o aumento da dose de N no modo de fornecimento NCI (Figura 4c). Não foi possível ajustar modelos matemáticos para o comportamento da largura de cachos nos modos NF e NSI. Os valores de número de bagas não diferiram entre os modos de fornecimento para a aplicação das doses 20, 40, 60 e 100 kg N ha<sup>-1</sup> (Tabela 2). O número de cachos por planta não apresentou interação significativa para os modos de fornecimento de doses de N (Suplemento). O número de cachos por planta aumentou de forma linear com o aumento das doses de N em todos os modos de fornecimento (Figura 4d).

Os valores de peso de 100 bagas não apresentaram interação significativa para os modos de fornecimento de doses de N (Suplemento). O peso de 100 bagas aumentou de forma quadrática com o aumento da dose de N em todos os modos de fornecimento de N, porém, doses maiores que 21,5 kg N ha<sup>-1</sup> não promoveram aumento do peso de 100 bagas (Figura 4e). A produção de uva por planta não apresentou interação significativa entre modos de fornecimento de doses de N (Suplemento). Assim, a produção de uva por planta aumentou de forma quadrática com o aumento das doses de N aplicadas no solo. A máxima eficiência técnica de N foi obtida na dose de 35,6 kg N ha<sup>-1</sup>, independente do modo de fornecimento de N (Figura 4f). As maiores produções de uva foram observadas nas videiras submetidas à aplicação de doses de N no modo de fornecimento NCI. Por outro lado, as menores produções de uva foram verificadas nas videiras submetidas a aplicação de doses de N no modo de fornecimento NSI (Tabela 1).

### 6.3.3 Composição do mosto

Os valores de ATT no mosto de uvas apresentaram interação significativa entre modos de fornecimento e doses de N (Suplemento). Porém, os valores de ATT no mosto em função das doses de N aplicadas não foram descritos adequadamente pelos modelos de regressão de primeiro e segundo grau (Figura 5a). Os valores de ATT não diferiram entre os modos de fornecimento para as doses 0, 20 e 100 kg N ha<sup>-1</sup>. Nas doses 60 e 80 kg N ha<sup>-1</sup>, os valores de ATT foram maiores no mosto das videiras submetidas a NF. Na dose de 40 kg N ha<sup>-1</sup> os maiores valores de ATT foram observadas no mosto das uvas submetidas à NSI (Tabela 2).

Os valores de pH no mosto apresentaram interação significativa entre os modos de fornecimento das doses de N (Suplemento). Porém, o comportamento dos valores de pH no mosto em função das doses de N aplicadas no solo não foi adequadamente descrito por modelos



de regressão lineares e quadráticos (Figura 5b). Os valores de pH no mosto não diferiram entre os modos de fornecimento de N para uma mesma dose, com exceção da dose de 40 kg N ha<sup>-1</sup>, onde foram observados maiores valores de pH no mosto das uvas derivadas das videiras submetidas a aplicação do modo de fornecimento NF, seguido do NCI. Os menores valores de pH foram observados no mosto das uvas das videiras submetidas a aplicação de N via NSI (Tabela 2).

Os valores de AT não apresentaram interação significativa entre modos de fornecimento de doses de N (Suplemento). Os valores de AT no mosto diminuíram de forma linear com o aumento da dose de N aplicada nas videiras (Figura 5c). As maiores concentrações de AT foram observadas no mosto das uvas das videiras submetidas à aplicação de doses de N via NCI e NSI (Tabela 1). Em contrapartida, as menores concentrações de AT no mosto das uvas foram observadas nas videiras submetidas às doses de N no modo NF.

Os valores de PT apresentaram interação significativa entre os modos de fornecimento de doses de N (Suplemento). Os valores de PT no mosto das uvas diminuíram linearmente com o aumento das doses de N no modo de fornecimento NCI (Figura 5d). Mas, nos modos de fornecimento NF e NSI não foi possível realizar ajuste matemático dos valores de PT usando modelos de primeiro e segundo grau (Figura 5d). Os valores de PT não diferiram entre os modos de fornecimento de N, em uma mesma dose de N, com exceção da dose de 20 kg N ha<sup>-1</sup>, onde os maiores valores de PT no mosto foram observados nas videiras submetidas ao modo de fornecimento NCI. Os menores valores de PT nesta mesma dose de N foram verificados no mosto das videiras submetidas ao modo de fornecimento NF (Tabela 2).

Os valores de SST no mosto apresentaram interação entre modos de fornecimento de doses de N (Suplemento). Os valores de SST no mosto diminuíram de forma quadrática com o aumento das doses de N aplicadas, especialmente, no modo de fornecimento NF (Figura 5e). Os valores de SST no mosto não diferiram entre os modos de fornecimento de N nas doses de 0, 40 e 60 kg N ha<sup>-1</sup>. Por outro lado, para as doses 20 e 80 kg N ha<sup>-1</sup>, os menores valores de SST foram observados no mosto das videiras submetidas à aplicação de NF (Tabela 2). Nas doses 80 e 100 kg N ha<sup>-1</sup>, os maiores valores de SST foram observados no mosto das videiras submetidas às aplicações de NCI (Tabela 2).

#### 6.3.4 Análise de componentes principais

A análise de componentes principais (ACP) foi realizada extraindo apenas os dois primeiros componentes, sendo que o somatório das mesmas explicou 51,5% da variabilidade total dos dados (Figura 6a, b). A componente 1 (PC1) explicou 34% da variabilidade com maior influência da ATT, produção de uva por planta, número de cachos por planta e concentração de N em folhas na mudança da cor das bagas. Estas variáveis foram correlacionadas positivamente entre si e os valores de pH do mosto foram correlacionados negativamente com os valores de ATT no mosto. A componente principal 2 (PC2) explicou 17,5% da variabilidade e foi primariamente influenciada pelo peso de 100 bagas, número de bagas por cacho e AT. A separação dos pontos entre safras foi evidente na ACP, demonstrando o comportamento similar das safras 2015/16 e 2016/17, em comparação a safra 2014/15 (Figura 6b). Essa tendência comportamental reforça os resultados da análise de componentes da variância, nos quais a fonte de variação safra foi grande responsável por percentagem da variação total dos dados para a maioria das variáveis (Figura 2). Somado a isso, nessa safra grande parte dos pontos foram concentrados em doses menores que  $20 \text{ kg N ha}^{-1}$ , fato que não se repetiu nas outras duas safras, o que pode ser corroborado pela equilibrada distribuição dos pontos em todas as doses de N aplicadas. Além disso, a ACP combinada de isolinhas permite identificar que parâmetros da composição do mosto, como ATT, AT, PT e SST foram majoritariamente mais influentes em menores doses de N, como  $20 \text{ kg N ha}^{-1}$  ou nos tratamentos controle. A produção de uva e número de cachos por planta foram altamente correlacionados entre si e foram alocados próximos a dose de  $40 \text{ kg N ha}^{-1}$ , corroborando com a dose de máxima eficiência técnica (Figura 4f), e a concentração de N em folhas coletadas na mudança de cor das bagas (Figura 7b).

## 6.4 DISCUSSÃO

A análise dos componentes da variância demonstrou a influência de cada fonte de variação (tratamentos, safras, interações) sobre as variáveis-resposta (Figura 2). Nós observamos o efeito majoritário das safras sobre a variação original dos dados, fato esperado em experimentos a campo, com repetidas avaliações em diferentes safras. Com o avanço do aquecimento global, a variação climática tem sido verificada com mais intensidade pela população em geral, neste caso, por técnicos e viticultores, devido a grande amplitude de oscilação na precipitação e temperatura ao longo do ciclo produtivo anual da videira o que, por exemplo, pode refletir na antecipação da brotação ou no atraso da maturação da uva. Os dados de precipitação acumulada e temperatura média do ar dos últimos 20 anos mostram que as últimas safras, 2014/15, 2015/16 e 2016/17 foram diferentes em relação ao comportamento das linhas tracejadas, as quais representam as normais climatológicas (Figura 1). Nas safras 2015/16 e 2016/17 as precipitações acumuladas foram maiores e nas safras 2014/15 e 2016/17 as temperaturas médias do ar foram maiores, em relação as normais climatológicas (Figura 1).

Precipitações elevadas e frequentes durante o período produtivo da videira podem estimular o movimento da solução no solo, aumentando a aproximação de formas de N à superfície de raízes, potencializando a absorção (Souza et al., 2012). Mas também, as perdas de formas de N, especialmente o  $\text{NO}_3^-$ , derivadas do fertilizante aplicado ou de outras fontes por lixiviação, diminuindo o aproveitamento do N pelas videiras (Steenwerth et al., 2010). Temperaturas mais elevadas do ar e, por consequência, do solo podem estimular a atividade da população microbiana do solo, aumentando a mineralização da matéria orgânica e disponibilidade de formas de N (Calleja-Cervantes et al., 2015), o que pode diminuir o aproveitamento do N derivado do fertilizante pelas videiras (Brunetto et al., 2016).

O aumento das concentrações de N em folhas coletadas no pleno florescimento de videiras submetidas a aplicações de doses de N, em todos os modos de fornecimento, aconteceu por causa do aumento da concentração de formas de N, como  $\text{NH}_4^+$ , mas especialmente,  $\text{NO}_3^-$  no solo e solução (Souza et al., 2012). Parte destas formas de N na solução do solo podem se aproximar por fluxo de massa da superfície externa das raízes (Comas et al., 2005). As formas de N podem ser absorvidas por transportadores pelas raízes das videiras. A absorção de  $\text{NO}_3^-$ , independente do transportador é um processo com gasto energético e pode ser realizada por duas famílias de transportadores, a NRT1 e NRT2, as quais são geralmente relacionadas respectivamente, a transporte de baixa e alta afinidade, com excessão do NRT1.1, a qual realiza

o transporte em ambas as condições de concentração no meio. A absorção de  $\text{NH}_4^+$  é desempenhada por membros da família AMT, onde o AMT1 representa a principal forma de entrada de  $\text{NH}_4^+$  nas raízes (Marschner, 2012). Parte do N absorvido pode ser incorporado em esqueletos de carbono reduzido formando aminoácidos, como glutamato, glutamina, aspartato e aspargina, que podem ser transportados via xilema até os órgãos da parte aérea das videiras, como as folhas, sendo diagnosticado pela análise foliar no pleno florescimento ou mudança da cor das bagas (Grechi et al., 2007). O aumento da concentração de formas de N no solo e na solução pode estimular a emissão de raízes, como aquelas mais finas e jovens (Comas et al., 2005), especialmente em estágios fenológico, como no florescimento, onde é intensa a divisão e alongação do tecido radicular (Radville et al., 2016). Com isso, o sistema radicular explorará um maior volume de solo, potencializando a aproximação e absorção de formas de N pelas videiras (Comas et al., 2010), que poderão ser transportadas para a parte aérea, incrementando a concentração de N em folhas (Brunetto et al., 2014), especialmente, se o aumento das doses de N não estimular o aumento da área foliar, o que pode promover a diluição de N no tecido (Arrobas et al., 2014). As maiores concentrações de N em folhas no pleno florescimento e na mudança da cor das bagas nas videiras submetidas à aplicação de doses de N pelos modos de fornecimento NF e NCI muito provavelmente aconteceram por causa da rápida dissolução dos grânulos de uréia e dissociação da sua molécula por enzimas ureases (Radville et al., 2016).

Os produtos finais da dissociação da uréia, como  $\text{NH}_4^+$  e o  $\text{NO}_3^-$  podem ser mais rapidamente movimentados na solução do solo até a superfície externa de raízes das videiras, potencializando a absorção, transporte e incremento de formas de N no interior das videiras, inclusive nas folhas (Brunetto et al., 2014). Mas também, a maior presença de água no solo pode estimular a movimentação de formas de N verticalmente e horizontalmente no solo, até regiões com maior concentração de raízes, também estimulando a absorção de N (Comas et al., 2010). Além disso, a maior presença de água no solo pode estimular a atividade da população microbiana, aumentando a mineralização da matéria orgânica que em solos arenosos, como do presente estudo, possui pequena proteção física e, por isso, é facilmente mineralizada, incrementando as formas de N do solo (Calleja-Cervantes et al., 2015). Por outro lado, as menores concentrações de N em folhas coletadas no pleno florescimento e mudança da cor das bagas em videiras submetidas à aplicação de N pelo modo NSI pode ser atribuído, especialmente, a perda de parte do N aplicado por volatilização na forma de  $\text{N-NH}_3$  (Mattos et al., 2003; Fernández-Escobar et al., 2012), o que diminui a concentração de formas de N na solução que potencialmente poderiam ser absorvidas.

Porém, em todas as doses de N e modos de fornecimento de N as maiores concentrações de N foram observadas nas folhas coletadas no pleno florescimento. Isso aconteceu porque neste estágio fenológico é intensa a emissão de raízes jovens, que são ativas, potencializando o aumento da absorção de formas de N (Radville et al., 2016). Mas também, no florescimento a área foliar das videiras é menor, o que aumenta a concentração de N no tecido (Brunetto et al., 2014). Por outro lado, a menor concentração de N em folhas coletada na mudança da cor das bagas acontece porque a maior quantidade de raízes já foi emitida pelas videiras em estágios enológicos anteriores. Assim, as raízes na mudança da cor das bagas são velhas, grossas e suberizadas, diminuindo a probabilidade de absorção de N (Comas et al., 2005). Além disso, na mudança da cor das bagas normalmente a área foliar da videira é maior (Tagliavini & Millard, 2005), promovendo a diluição de N no tecido (Arrobas et al., 2014). Também a menor concentração de N nas folhas pode ser atribuído a degradação de compostos nitrogenados nas folhas, como as proteínas, seguido de redistribuição de N pelo floema até órgãos anuais que possuem intensa divisão e alongação celular, como os cachos ou ramos do ano (Brunetto et al., 2009; Yu et al., 2012).

O aumento dos valores de diâmetro de caule das videiras no pleno florescimento e na mudança da cor das bagas com o incremento da dose de N aplicada, especialmente no modo de fornecimento de NCI aconteceu por causa do incremento da concentração de N no interior das videiras, diagnosticada pela análise de folhas. Esse acréscimo do diâmetro de caule é proporcionado pelo aumento de número de células que ocorre no crescimento secundário. Para a divisão celular, a célula necessita sintetizar compostos nitrogenados como proteínas, ácidos nucleicos, enzimas, aminoácidos, e dessa forma, o N pode ter agido diretamente no aumento do diâmetro de caule das plantas (Grechi et al., 2007). A maior disponibilidade de N às plantas também pode ter contribuído de forma indireta para o aumento do diâmetro de caule, visto que o N é constituinte de enzimas necessárias ao processo fotossintético, como a rubisco, e é constituinte da molécula de clorofila, um pigmento responsável pela captação da luz utilizada na fotossíntese (Marschner, 2012). Dessa forma, o N pode ter contribuído para uma maior taxa fotossintética e, portanto, maior concentração de carbono reduzido, que será utilizado para o crescimento celular (Lawlor, 2002).

A dose de máxima eficiência técnica para a produção de uva foi  $35,6 \text{ kg N ha}^{-1}$  (Figura 4f), independente do modo de fornecimento e teve comportamento linear para a o número de cachos por planta (Figura 4d). Somado a estes resultados, o peso de 100 bagas atingiu seu maior valor quando as videiras foram submetidas a  $21,5 \text{ kg N ha}^{-1}$ , independente do modo de

fornecimento de N (Figura 4e). A determinação da dose de máxima eficiência técnica para a produção de uva e mesmo do peso de 100 bagas, concorda com os dados obtidos por Brunetto et al. (2009) e Lorensini et al. (2015), em vinhedos da cultivar ‘Cabernet Sauvignon’, cultivadas na mesma região e tipo de solo do presente estudo. Os autores relatam que as respectivas doses de máxima eficiência técnicas foram próximas de 20 kg N ha<sup>-1</sup>. As maiores produtividade foram observadas nas videiras submetidas à NCI (Tabela 1) e isso pode ser atribuído à aplicação da ureia sobre a superfície do solo, seguida da irrigação imediata, que favorece a sua dissolução e penetração dos seus produtos de dissolução no interior do solo, reduzindo as perdas de N-NH<sub>3</sub> para a atmosfera (Fentabil et al., 2016).

As baixas doses de N de máxima eficiência técnica para obtenção de produção de uva ou número de cacho por planta mostram que parte do N aplicado nas maiores doses pode ter sido perdido por lixiviação, especialmente, na forma de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, porque o solo é arenoso e possui baixo teor de matéria orgânica (Steenwerth et al., 2010). Mas também, parte do N aplicado por ter sido perdido por volatilização, porque o N foi aplicado sobre o solo sem incorporação, especialmente, nas doses de N sem fornecimento de água, o que diminui a infiltração dos produtos de dissolução da uréia no perfil do solo (Fernández-Escobar et al., 2012). Além disso, parte do N pode ter sido perdido por desnitrificação na forma de N-N<sub>2</sub>O, especialmente, nas camadas de solo mais superficiais que possuíam maior umidade, como nos modos de fornecimento NF e NCI (Fentabil et al., 2016). Mas também, as baixas doses de N de máxima eficiência técnica mostram que parte do N absorvido pelas videiras e que incrementaram a concentração de N nas folhas coletadas no pleno florescimento e mudança da cor das bagas ou mesmo que contribuiu para o aumento do diâmetro do caule das videiras, pode ter sido derivado da mineralização da matéria orgânica do solo ou de resíduos de plantas de cobertura, que aumentam a disponibilidade de formas de N derivadas de outras fontes, como do solo, na solução, diminuindo o aproveitamento do N derivado da uréia aplicada (Brunetto et al., 2016). Isso especialmente nas doses de N aplicadas nos modos com fornecimento de água, como NCI e NF. A maior disponibilidade de água no solo pode potencializar a atividade da população microbiana do solo, incrementando a mineralização da matéria orgânica ou mesmo dos resíduos de plantas de cobertura depositados sobre a superfície do solo (Calleja-Cervantes et al., 2015).

A relação entre os resultados de produção de uva por planta e concentrações de N em folhas coletadas no pleno florescimento e mudança da cor das bagas mostrou uma grande dispersão de pontos (Figuras 7a, b). Por isso, nós usamos a análise de fronteira, que é muito rebuscada e usada para relacionar variáveis em grandes bancos de dados (Ciampitti and Vyn, 2012). Com isso, nós observamos que as máximas produções de uva foram obtidas em videiras

que possuem concentração mínima de N de 2,75%, quando coletadas no pleno florescimento e de 2,25%, quando coletadas na mudança da cor das bagas. A concentração de 2,75% de N nas folhas coletadas no pleno florescimento já foi obtida em videiras cultivadas em solo com a aplicação a partir de aproximadamente 30 kg N ha<sup>-1</sup> (Figura 3a). A concentração mínima de 2,25% de N em folhas coletadas na mudança da cor das bagas foi verificada em videiras com a aplicação de 10 kg N ha<sup>-1</sup> quando fornecido via NF e NCI, ou próximas a 40 kg N ha<sup>-1</sup> quando submetidas via NSI (Figura 3b). Estas correlações entre concentrações de N nas folhas e produção reforçam os estudos que demonstram que as videiras apresentam maior incremento em produtividade quando submetidas à aplicação de menores doses de N no solo.

A diminuição dos valores de AT e PT no mosto, especialmente, nas videiras submetidas a aplicações das maiores doses de N, como no modo de fornecimento NF, aconteceram por causa do aumento do comprimento e largura dos cachos, número de bagas por cacho, peso de 100 bagas e número de cachos por planta, variáveis de rendimento que refletiram no incremento de produtividade (Figuras 4a, b, c, d, e, f). Por exemplo, bagas mais pesadas, que aumentam o peso dos cachos de uva e a produção por planta, normalmente, possuem mais polpa e cascas mais finas, o que diminui os valores de AT e PT no mosto, que são presentes em maiores concentrações na casca (Sofó et al., 2012). Isso aconteceu possivelmente nos tratamentos com oferta de N e água, onde as videiras possivelmente transpiraram mais, utilizando mais água para formação dos cachos, e assim, a casca e o tecido interno de mesocarpo tiveram crescimento diferenciado na baga, o que desfavoreceu a biosíntese de antocianinas (Roby et al., 2004). Além disso, a aplicação de N no solo pode ter estimulado o crescimento de órgãos anuais, como as folhas e ramos do ano, que podem ser drenos de AT derivadas da redistribuição das bagas dos cachos (Brunetto et al., 2009). Assim, as uvas derivadas de videiras submetidas, especialmente, a doses maiores que 35,6 kg N ha<sup>-1</sup>, especialmente, quando fornecidas pelo modo NF, possuem mosto com baixa intensidade de cor, tonalidade e características gustativas, que podem afetar negativamente a qualidade do vinho e a sua estabilidade a longo prazo (Terrier et al., 2009). Além disso, nós verificamos que com a aplicação da dose de máxima eficiência, o mosto das uvas das videiras possuía concentração de AT acima de 3500 mg L<sup>-1</sup>, sendo considerado como adequado por vários autores para elaboração de vinhos de qualidade, (Roby et al., 2004; Terrier et al., 2009; Sofó et al., 2012) e esta acima do valor médio global (Costa et al., 2015).

A diminuição dos valores de SST no mosto em videiras submetidas à aplicação de doses de N, especialmente, no modo de fornecimento NF aconteceu por causa do aumento do

peso de 100 bagas, que contribuíram para o incremento do peso de cachos e produção de uva por planta (Figura 5e). Com isso, acontece a diluição dos açúcares nas bagas (Guilpart et al., 2014), já que em uvas e mostos aproximadamente 95% dos SST são açúcares (Antolín et al., 2003). A diluição dos SST no mosto tende a ser maior em videiras cultivadas em solos com maior disponibilidade de água, que pode ser absorvida, transportada no interior da planta e acumulada em bagas, que também contribui para a diluição dos açúcares, diminuindo a proporção de água em relação a sólidos no interior das bagas e cachos (Hannam et al., 2014). Assim, verificamos que com a aplicação de  $35,6 \text{ kg N ha}^{-1}$ , atingimos a máxima produtividade aliada a adequada concentração de SST, onde o mosto estava com valores maiores que  $14^\circ\text{Brix}$ , considerados ideais para futura vinificação (Chiarotti et al., 2011). Porém, convém destacar que a aplicação das doses de N quando fornecidas via NCI e NSI, diminuíram de maneira menos acentuada a concentração de SST, quando comparada as concentrações de SST do mosto de videiras submetidas à NF.

Os valores de ATT e pH no mosto de uvas apresentaram interação significativa entre modos de fornecimento e doses de N (Suplemento). Entretanto, para ambas as variáveis não foi possível realizar ajuste de modelos matemáticos. Sabe-se que estequiometricamente não existe relação entre pH e ATT, porém, a PCA demonstrou a correlação negativa existente entre as duas variáveis, onde a acidez retrata principalmente, os ácidos tartárico, málico e cítrico. Desses, o ácido tartárico é verificado em maior quantidade nas uvas, sendo resistente a respiração oxidativa, o que favorece sua persistência no vinho, com recorrente interferência nos valores de pH (Brunetto et al., 2009). A variação de temperatura apresentada entre as safras, principalmente entre a safras 2014/15, onde observou-se temperatura média anual superior à  $19^\circ\text{C}$ , e a safra 2015/16 com temperaturas próximas a  $17,5^\circ\text{C}$ , também influenciaram na composição da uva, já que a incidência direta de luz sobre as bagas degrada mais rapidamente os ácidos, acelerando a formação dos açúcares, o que futuramente impactara na relação SST/ATT do mosto e vinho (Sadras & Moran, 2012).

## 6.5 CONCLUSÕES

As videiras que apresentaram concentrações de N maiores que 2,75% em folhas no pleno florescimento e maiores que 2,25% na mudança da cor das bagas possuem 99% de probabilidade de atingirem a máxima produção de uva, independente se o N é fornecido por fertirrigação, seguido de irrigação ou sem irrigação.



Videiras submetidas à aplicação de menores doses de N, especialmente, com presença de água, como nos modos fertirrigado e seguido de irrigação, onde a eficiência de absorção é potencializada, incrementaram mais a concentração de N nas folhas, principalmente no pleno florescimento.

A aplicação de 35 kg N ha<sup>-1</sup> foi a dose de máxima eficiência técnica, associada ao adequado comportamento produtivo de componentes de produção, como peso de 100 bagas, comprimento e largura de cacho, independente se o N foi fornecido por fertirrigação, seguido de irrigação ou sem irrigação. Entretanto, para todas as doses, as maiores produtividades foram obtidas com a aplicação da ureia seguida de irrigação.

As concentrações de antocianinas totais, polifenóis totais e sólidos solúveis totais no mosto diminuíram com a aplicação de doses de N, especialmente, nas maiores doses de N, como 60, 80 e 100 kg N ha<sup>-1</sup>. Mas, quando doses menores de N foram adicionadas, como 20 e 40 kg N ha<sup>-1</sup>, como a de máxima eficiência técnica (35 kg N ha<sup>-1</sup>), as concentrações dos parâmetros químicos de mosto avaliados foram consideradas adequadas para elaboração de vinhos de qualidade.

## REFERÊNCIAS

- Antolín, M.C., Baigorri, H., De Luis, I., Aguirrezabal, F., Geny, L., Broquedis, M., Sánchez-Díaz, M., 2003. ABA during reproductive development in non-irrigated grapevines (*Vitis vinifera* L. cv. Tempranillo). *Aust. J. Grape Wine Res.* 9, 169–176.
- AOAC. Association of Official Analytical Chemists, 2005. Official methods of analysis of AOAC International. 18<sup>th</sup> ed. Maryland: AOAC International. 1750 p.
- Arrobas, M., Ferreira, I.Q., Freitas, S., Verdial, J., Rodrigues, A., 2014. Guidelines for fertilizer use in vineyards based on nutrient content of grapevine parts. *Sci. Hortic.* 172, 191–198.
- Brunetto, G., Ceretta, C.A., Kaminski, J., Melo, G.W.B., Girotto, E., Trentin, E.E., Lourenzi, C.R.; Vieira, R.C.B., Gatiboni, L.C., 2009. Produção e composição química da uva de videiras Cabernet Sauvignon submetidas à adubação nitrogenada. *Ciência Rural.* 39, 2035-2041.
- Brunetto, G., Ceretta, C.A., Melo, G.W.B., Girotto, E., Ferreira, P.A.A., Lourenzi, C.R., Couto R.R., Tassinari, A., Knevez R. H., Stefanello, L.O.S. Lazzaretti, B.P., Kulmann, M.S.S.,

- Carranca, C., 2016. Contribution of nitrogen from urea applied at different rates and times on grapevine nutrition. *Sci. Hortic.* 207, 1–6.
- Brunetto, G., Ceretta, C. A., Melo, G.W.B., Kaminski, J., Trentin, G., Girotto, E., Ferreira, P.A.A., Miotto, A., Trivelin, P.C.O., 2014. Contribution of nitrogen from agricultural residues of rye to ‘Niagara Rosada’ grape nutrition. *Sci. Hortic.* 169, 66–70.
- Calleja-Cervantes, M.E., Fernández-González, A.J., Irigoyen, I., Fernandez-López, M., Aparicio-Tejo, P.M., Menendez, S., 2015. Thirteen years of continued application of composted organic wastes in a vineyard modify soil quality characteristics. *Soil Biol. Biochem.* 90, 241 – 254.
- Chiarotti, F., Guerios, I.T., Cuquel, F.L., Biasi, L.A., 2011. Melhoria da qualidade de uva ‘bordô’ para produção de vinho e suco de uva. *Rev. Bras. Frutic., Jaboticabal - SP, Volume Especial*, 618-624.
- Ciampitti, I.A., Vyn., T.J., 2012. Physiological perspectives of changes over time in maize yield dependency on nitrogen uptake and associated nitrogen efficiencies: A review. *F. Crop. Res.* 133, 48–67.
- Comas, L. H., Anderson, L.J., Dunst, R.M., Lakso, A.N., Eissenstat, D.M., 2005. Canopy and environmental control of root dynamics in a long-term study of Concord grape, *New Phytologist*, 167, 829–840.
- Comas, L.H., Bauerle T.L., Eissenstat, D.M., 2010. Biological and environmental factors controlling root dynamics and function: effects of root ageing and soil moisture. *Aust. J. Grape Wine Res.* 16, 131–137.
- Costa, E., Silva, J. F., Cosme, F., Jordão, A. M., 2015. Adaptability of some French red grape varieties cultivated at two different Portuguese terroirs: Comparative analysis with two Portuguese red grape varieties using physicochemical and phenolic parameters. *Food Res. Int.* 78, 302-312.
- Embrapa, Empresa brasileira de pesquisa agropecuária., 1997. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro: 212p.
- Embrapa, Empresa brasileira de pesquisa agropecuária, 2013. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3 ed. Rio de Janeiro: 353p.
- Fentabil, M.M., 2016. Irrigation practices, nutrient applications , and mulches affect soil nutrient dynamics in a young Merlot (*Vitis vinifera* L.) vineyard. *Can J Soil Sci*, 36, 23–36.
- Fernández-Escobar, R., García-Novelo, J.M., Molina-Soria, C., Parra, M. A., 2012. An approach to nitrogen balance in olive orchards. *Sci Hortic.*, 135, 219–226.

- Giusti, M.M., Wrolstad, R.E., 2001. Characterization and measurement of anthocyanins by UV-visible spectroscopy, in: WROLSTAD, R.E. (Eds.), Current protocols in food analytical chemistry. New York: John Wiley, Sons.
- Grechi, I.; Vivin, P.H.; Hilbert, G.; Milin, S.; Robert, T.; Gaudillère, J. P., 2007. Effect of light and nitrogen supply on internal C:N balance and control of root-to-shoot biomass allocation in grapevine. *Environ Exp Botany*, Elmsford, 59, 139-149.
- Guilpart, N., Metay, A., Gary, C., 2014. Grapevine bud fertility and number of berries per bunch are determined by water and nitrogen stress around flowering in the previous year. *Eur. J. Agron.* 54, 9–20.
- Hannam, K.D., Neilsen, G.H., Neilsen, D., Rabie, W.S., Midwood, A.J., Millard, P., 2014. Late-Season Foliar Urea Applications Can Increase Berry Yeast-Assimilable Nitrogen in Winegrapes (*Vitis vinifera* L.). *Am. J. Enology Vit.*, 1, 89–95.
- IAL. Instituto Adolfo Lutz, 2008. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. 1. ed. digital. São Paulo: IAL, 1020 p.
- Ju, Z.Y., Howard, L.R., 2003. Effects of solvent and temperature on pressurized liquid extraction of anthocyanins and total phenolics from dried red grape skin. *J. Agric. Food Chem.* 51, 5207-5213.
- Kassambara, A., Mundt, F., 2017. factoextra: Extract and Visualize the Results of Multivariate Data Analyses. R package version 1.0.4. [htPTs://CRAN.R-project.org/package=factoextra](https://CRAN.R-project.org/package=factoextra)
- King, A.P., Berry, A.M., 2005. Vineyard d15N, nitrogen and water status in perennial clover and bunch grass cover crop systems of California's central valley. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 109, 262–272.
- Koenker, R., 2017. quantreg: Quantile Regression. Available at [htPTs://cran.r-project.org/package=quantreg](https://cran.r-project.org/package=quantreg).
- Lawlor, D. W., 2002. Carbon and nitrogen assimilation in relation to yield: mechanisms are the key to understanding production systems. *Journal of Experimental Botany*, 53, 773-787.
- Le, S., Josse, J., Husson, F., 2008. FactoMineR: An R Package for Multivariate Analysis. *Journal of Statistical Software*, 25, 1-18. 10.18637/jss.v025.i01
- Long, N.V., Assefa, Y., Schwalbert, R., Ciampitti, I.A., 2017. Maize Yield and Planting Date Relationship: A Synthesis-Analysis for US High-Yielding Contest-Winner and Field Research Data. *Front. Plant Sci.* 8(December): 1–9 Available at [htPT://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fpls.2017.02106/full](https://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fpls.2017.02106/full).

- Long, Q., 2015. varComp: Variance component models. R package version 0.1-396.  
<https://CRAN.R-project.org/package=varComp>
- Lorensini, F., Ceretta, C.A., Lourenzi, C.R., De Conti, L., Tiecher, T.L., Trentin, G., Brunetto, G., 2015. Nitrogen fertilization of Cabernet Sauvignon grapevines : yield , total nitrogen content in the leaves and must composition. *Acta Scientiarum*, 37 (3), 321–329.
- Marschner, P., 2012. Marschner’s Mineral Nutrition of Higher Plants. Amsterdam.
- Mattos, D., Alva, A.K., Paramasivam, S., Gratez, D.A., 2003. Nitrogen volatilization and mineralization in a sandy soil of Florida under citrus. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 34, 1803–1824.
- Pertot, I., Gobbin, D., De Luca, F., Prodorutti, D. 2008. Methods of assessing the incidence of *Armillaria* root rot across viticultural areas and the pathogen’s genetic diversity and spatial–temporal pattern in northern Italy. *Crop Protection*, 27,1061–1070.
- Pinheiro, J., Bates, D., DebRoy, S., Sarkar, D., and R Core Team. 2017. nlme: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models.
- Queiroz, A.M.D.E., Souza, C.H.E., Machado, V.J., Lana, R.M.Q., Korndorfer, G.H., Silva, A.A. 2011. Avaliação de diferentes fontes e doses de nitrogênio na adubação da cultura do milho. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*. 10, 257–266.
- Radville, L., Bauerle, T. L., Comas, L.H., Marchetto, K.A., Lakso, A.N., Smart, D.R., Dunst, R.M., Eissenstat, D.M., 2016. Limited linkages of aboveground and belowground phenology: A study in grape. *Am. J. Botany*, 103, 1897 – 1911.
- R Core Team. 2017. R: A Language and Environment for Statistical Computing. Available at <https://www.r-project.org/>. Radville et al., 2016
- Roby, G., Harbertson, J.F., Adams, D.A., Matthews, M.A. 2004. Berry size and vine water deficits as factors in winegrape composition: anthocyanins and tannins. *Aust. J. Grape Wine Res.* 10, 100–7.
- Sadras, V.O., Moran, M.A., 2012. Elevated temperature decouples anthocyanins and sugars in berries of Shiraz and Cabernet Franc. *Aust. J. Grape Wine Res.* 18, 115–122.
- Singleton, V.L.; Rossi Junior, A., 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagent. *Am. J. Enol. Vitic.*, 16, 144-158, 1965.
- Sofo, A., Nuzzo, V., Tataranni, G., Manfra, M., Nisco, M.de., Scop, A., 2012. Berry morphology and composition in irrigated and non-irrigated grapevine (*Vitis vinifera* L.). *J. Plant Physiol.* 169,1023– 1031.
- Soil Survey Staff., 2014. Keys to Soil Taxonomy. 12ed. USDA-NRCS, Washington, DC, USA.

- Souza, T.R.de., Bôas, R.L.V., Quaggio, J.A., Salomão, L.C., Foratto, L.C. 2012. Dinâmica de nutrientes na solução do solo em pomar fertirrigado de citros. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, 47, 846-854.
- Steenwerth, K. L., Belina, K. M., 2010. Vineyard weed management practices influence nitrate leaching and nitrous oxide emissions. *Agric. Ecosyst. Environ.* 138, 127–131.
- Tagliavini, M., Millard, P., 2005. Fluxes of nitrogen within deciduous fruit trees. *Acta Scientiarum Polonorum – Hortorum Cultus*, 4, 21-30.
- Tedesco, M.J., Gianello, C., Bissani, C.A., Bohnen, H., Volkweiss, S.J., 1995. Análise do solo, planta e outros materiais. UFRGS, Porto Alegre.
- Terrier, N., Poncet-Legrand, C., Cheynier, V., 2009. Flavanols, flavonols and dihydroflavonols. In: Moreno-Arribas, M.V., Polo, C., editors. *Wine Chem. Biochem.*, 463–507.
- Toselli, M., Perry, R.L., Flore, J.A., 2011. Evaluation of Nitrate-Nitrogen Leaching From Lysimeter-GroSN Bearing Apple Trees. *Soil Sci.* 176, 280–287.
- Yu, X., Wang, B., Zhang, C., Xu, W., He, J., Zhu, L., Wang, S., 2012. Effect of root restriction on nitrogen levels and glutamine synthetase activity in ‘kyoho’ grapevines. *Sci Hortic.*, 137, 156-163.

Tabela 1. Valores médios da concentração de N em folhas durante o florescimento, mensuração de diâmetro durante o florescimento e mudança de cor das bagas, produção por planta, e concentração de antocianinas totais em videiras 'Alicante Bouschet', submetidas a modos de fornecimento de doses de N sem interação significativa.

Variáveis	Modos de fornecimento de N		
	NF	NCI	NSI
Concentração de N em folhas no florescimento (%)	2.75 ± 0.04 a	2.73 ± 0.04 a	2.64 ± 0.04 b
Diâmetro de caule no florescimento (cm)	3.49 ± 0.40 b	3.65 ± 0.40 a	3.39 ± 0.40 c
Diâmetro de caule na mudança de cor das bagas (cm)	3.82 ± 0.41 b	3.98 ± 0.41 a	3.73 ± 0.41 c
Produção por planta (kg)	5.61 ± 1.25 ab	5.74 ± 1.25 a	5.23 ± 1.25 b
Antocianinas totais (mg L <sup>-1</sup> )	3060.69 ± 169.94 b	3192.71 ± 169.94 a	3160.10 ± 169.94 a

NF- Nitrogênio via Fertirrigação; NCI- Nitrogênio Com Irrigação; NSI- Nitrogênio Sem Irrigação; Valores indicam médias ± desvio padrão. Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste Tukey (p < 0,05%).

Tabela 2. Valores médios de concentração de N em folhas durante a mudança de cor nas bagas (Nmcb), número de bagas por cachos, largura de cacho, acidez total titulável (ATT), sólidos solúveis totais (SST), pH, polifenóis totais (PT) em videiras videiras ‘Alicante Bouschet’, submetidas a modos de fornecimento de doses de N com interação significativa pelo teste Tukey.

Modos de fornecimento de N	Dose (kg N ha <sup>-1</sup> )	Variáveis						
		Nmcb (%)	Número de bagas por cacho	Largura de cacho (cm)	ATT (g ac. Tart. 100 ml)	SST (°Brix)	pH	PT (mg L <sup>-1</sup> )
NF	0	2.11 ± 0.07 a	141.86 ± 12.24 ab	10.10 ± 0.85 a	0.86 ± 0.19 a	15.72 ± 0.36 a	3.56 ± 0.24 a	4066.28 ± 178.6 a
NCI	0	2.09 ± 0.07 a	131.96 ± 12.24 b	10.14 ± 0.85 a	0.79 ± 0.19 a	15.72 ± 0.36 a	3.58 ± 0.24 a	4245.68 ± 178.6 a
NSI	0	1.87 ± 0.07 b	170.26 ± 12.24 a	10.76 ± 0.85 a	0.87 ± 0.19 a	15.85 ± 0.36 a	3.58 ± 0.24 a	4167.32 ± 178.6 a
NF	20	2.35 ± 0.07 a	139.93 ± 12.24 a	11.47 ± 0.85 a	0.86 ± 0.19 a	14.18 ± 0.36 b	3.54 ± 0.24 a	3333.79 ± 178.6 b
NCI	20	2.42 ± 0.07 a	143.33 ± 12.24 a	11.08 ± 0.85 a	0.80 ± 0.19 a	14.76 ± 0.36 ab	3.50 ± 0.24 a	3547.90 ± 178.6 a
NSI	20	2.16 ± 0.07 b	171.13 ± 12.24 a	11.22 ± 0.85 a	0.86 ± 0.19 a	15.23 ± 0.36 a	3.52 ± 0.24 a	3473.32 ± 178.6 ab
NF	40	2.44 ± 0.07 a	158.66 ± 12.24 a	11.76 ± 0.85 a	0.77 ± 0.19 b	14.04 ± 0.36 a	3.65 ± 0.24 a	3129.75 ± 178.6 a
NCI	40	2.41 ± 0.07 a	139.53 ± 12.24 a	11.72 ± 0.85 a	0.85 ± 0.19 ab	14.48 ± 0.36 a	3.52 ± 0.24 b	3181.61 ± 178.6 a
NSI	40	2.29 ± 0.07 b	146.20 ± 12.24 a	10.49 ± 0.85 a	0.88 ± 0.19 a	14.22 ± 0.36 a	3.42 ± 0.24 c	3221.52 ± 178.6 a
NF	60	2.35 ± 0.07 ab	168.46 ± 12.24 a	11.93 ± 0.85 a	0.91 ± 0.19 a	14.15 ± 0.36 a	3.52 ± 0.24 a	2996.14 ± 178.6 a

<b>NCI</b>	<b>60</b>	2.36 ± 0.07 a	157.80 ± 12.24 a	11.84 ± 0.85 a	0.89 ± 0.19 a	13.96 ± 0.36 a	3.47 ± 0.24 a	3073.37 ± 178.6 a
<b>NSI</b>	<b>60</b>	2.27 ± 0.07 b	141.26 ± 12.24 a	9.94 ± 0.85 b	0.75 ± 0.19 b	14.38 ± 0.36 a	3.51 ± 0.24 a	2973.08 ± 178.6 a
<b>NF</b>	<b>80</b>	2.29 ± 0.07 a	133.53 ± 12.24 b	10.16 ± 0.85 b	0.93 ± 0.19 a	13.06 ± 0.36 b	3.52 ± 0.24 a	2627.13 ± 178.6 a
<b>NCI</b>	<b>80</b>	2.27 ± 0.07 a	154.80 ± 12.24 ab	12.36 ± 0.85 a	0.81 ± 0.19 b	14.11 ± 0.36 a	3.55 ± 0.24 a	2721.97 ± 178.6 a
<b>NSI</b>	<b>80</b>	2.17 ± 0.07 b	177.20 ± 12.24 a	11.96 ± 0.85 ab	0.74 ± 0.19 b	13.61 ± 0.36 ab	3.55 ± 0.24 a	2773.12 ± 178.6 a
<b>NF</b>	<b>100</b>	2.26 ± 0.07 a	176.93 ± 12.24 a	12.39 ± 0.85 a	0.93 ± 0.19 a	13.29 ± 0.36 b	3.50 ± 0.24 a	2211.06 ± 178.6 a
<b>NCI</b>	<b>100</b>	2.21 ± 0.07 a	174.93 ± 12.24 a	12.26 ± 0.85 a	0.92 ± 0.19 a	13.96 ± 0.36 a	3.49 ± 0.24 a	2385.70 ± 178.6 a
<b>NSI</b>	<b>100</b>	2.09 ± 0.07 b	181.73 ± 12.24 a	11.65 ± 0.85 a	0.92 ± 0.19 a	13.69 ± 0.36 ab	3.46 ± 0.24 a	2352.27 ± 178.6 a

NF- Nitrogênio via Fertirrigação; NCI- Nitrogênio Com Irrigação; NSI- Nitrogênio Sem Irrigação; Valores indicam médias ± desvio padrão;



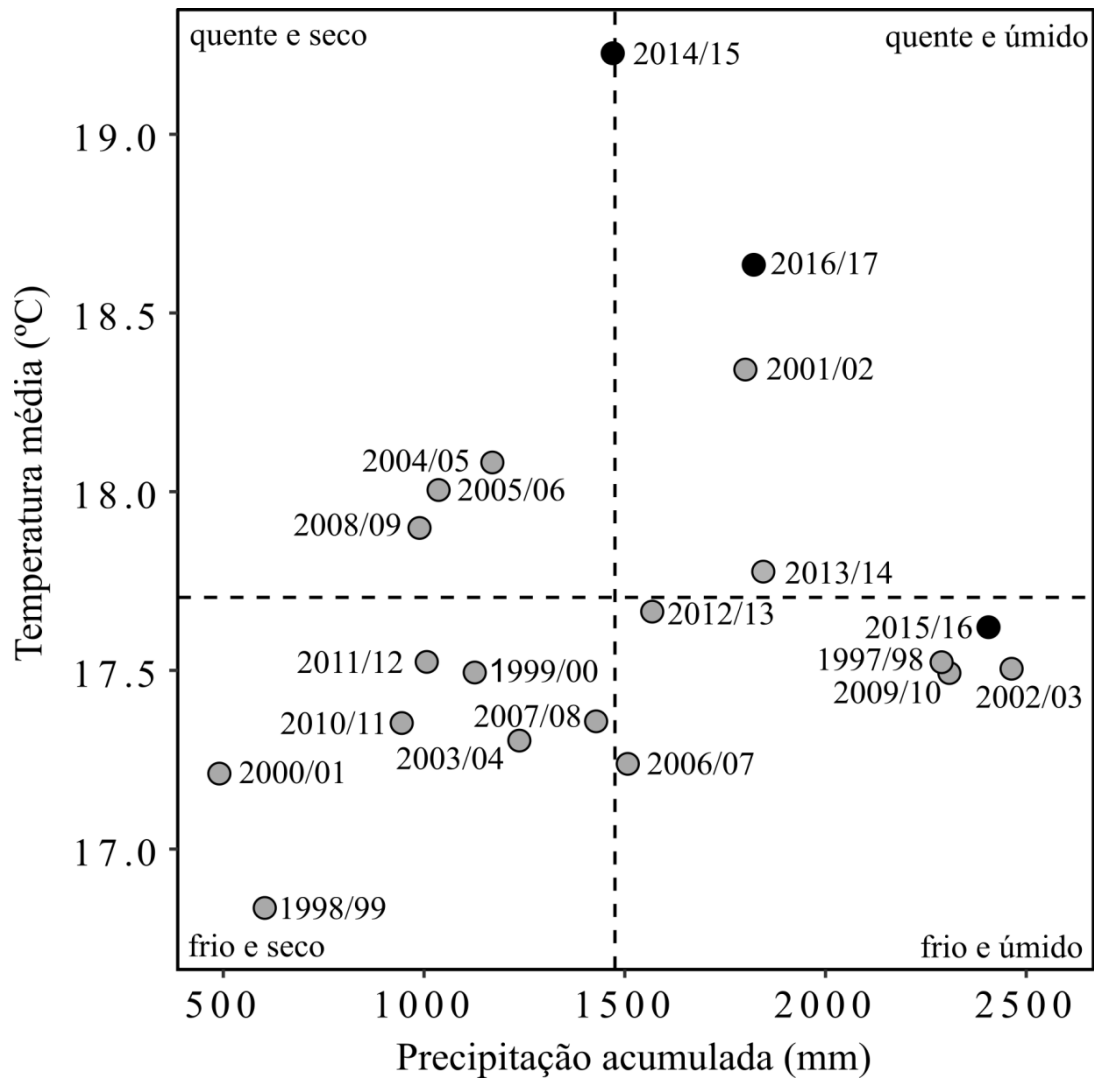


Figura 1. Distribuição espacial das médias de temperatura e precipitação acumulada anual entre os anos 1997/98 a 2016/17 (os três últimos anos estão destacados) mensurada na estação experimental em Santana do Livramento, Rio Grande do Sul, Brasil. Linhas tracejadas retratam a média dos últimos 20 anos para as variáveis, precipitação acumulada (mm) e temperatura média (°C).

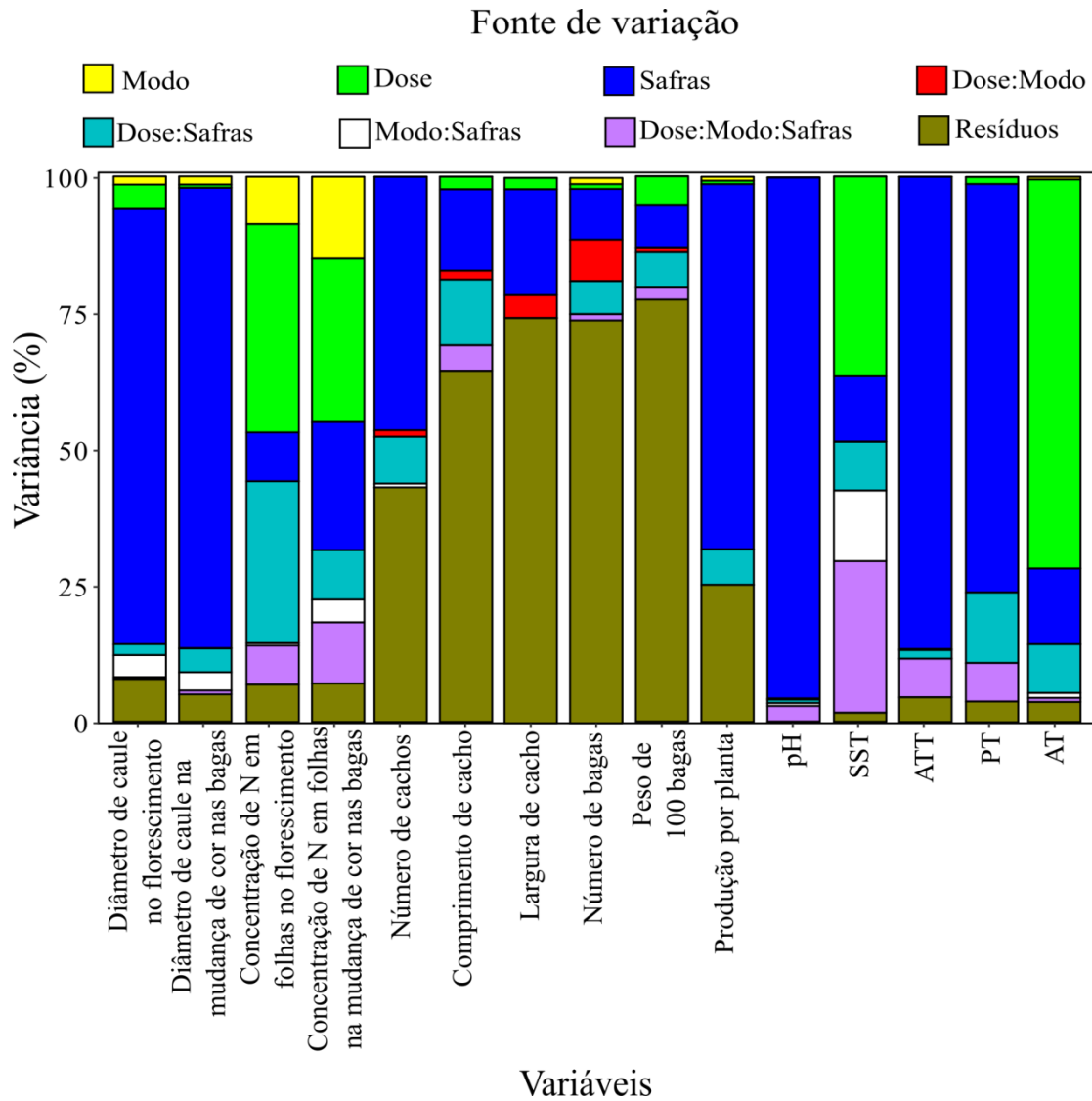


Figura 2. Particionamento de variância para modos de fornecimento de N, doses de N, anos (safras), interações e residual (erro) da variância total para cada variável analisada em videiras ‘Alicante Bouschet’, submetidas a modos de fornecimento de doses de N (NF = Nitrogênio via Fertirrigação, NCI = Nitrogênio Com Irrigação, NSI = Nitrogênio Sem Irrigação, SST = Sólidos Solúveis Totais, ATT = Acidez Total Titulável, PT = Polifenóis Totais, AT = Antocianinas Totais).

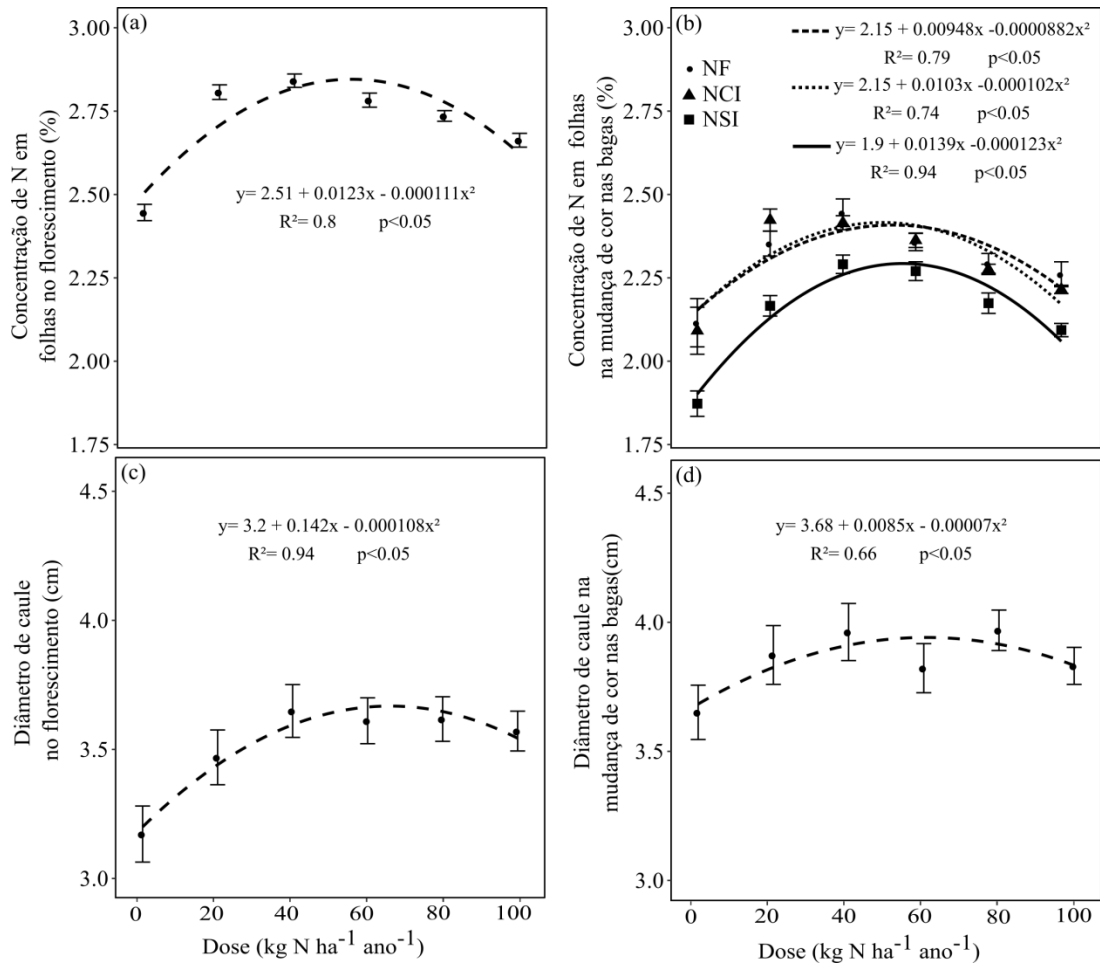


Figura 3. Concentração de N em folhas no pleno florescimento (a) e na mudança de cor das bagas (b); diâmetro de caule no pleno florescimento (c) e na mudança de cor das bagas (d), em videiras 'Alicante Bouschet', submetidas a modos de fornecimento de doses de N (NF = Nitrogênio via Fertirrigação, NCI = Nitrogênio Com Irrigação, NSI = Nitrogênio Sem Irrigação).

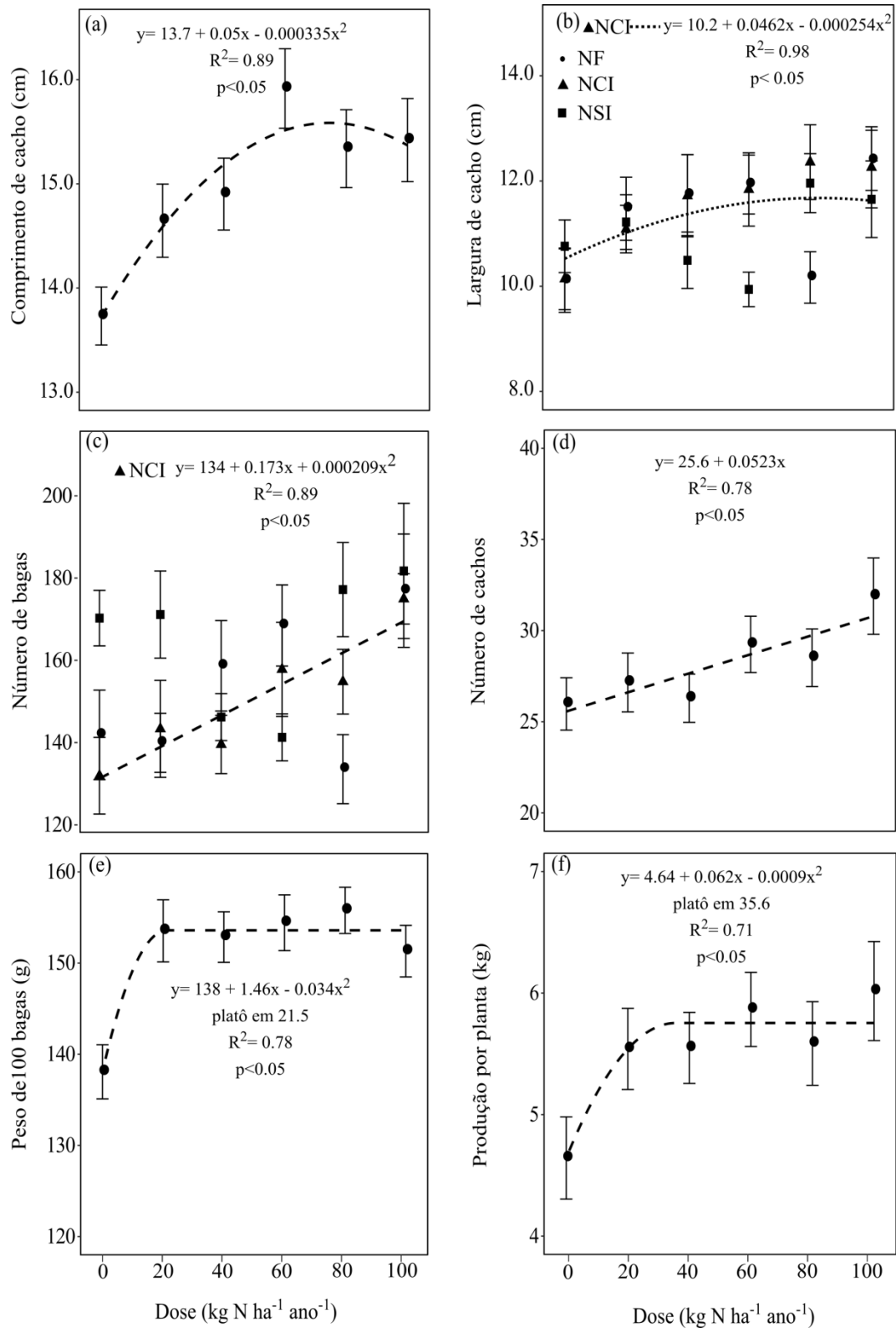


Figura 4. Comprimento de cacho (a), largura de cacho (b), número de bagas por cacho (c), número de cachos (d), peso de 100 bagas (e) e produtividade de uva por planta (f) em videiras ‘Alicante Bouschet’, submetidas a modos de fornecimento de doses de N. (NF = Nitrogênio via Fertirrigação, NCI = Nitrogênio Com Irrigação, NSI = Nitrogênio Sem Irrigação).

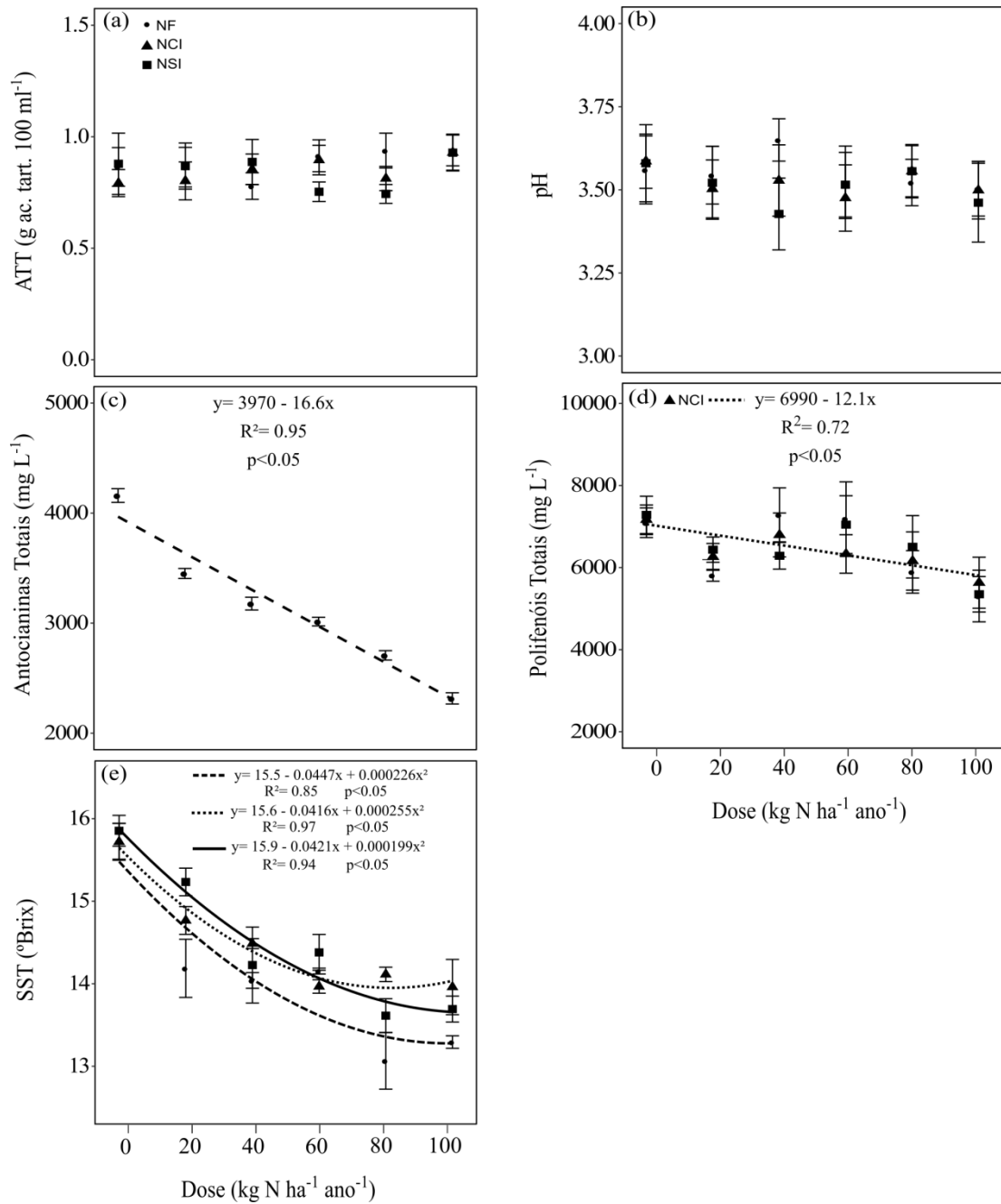


Figura 5. Acidez total titulável (ATT) (a); pH (b); antocianinas totais (AT) (c); polifenóis totais (PT) (d); e sólidos solúveis totais (SST) (e), em videiras ‘Alicante Bouschet’ submetidas a modos de fornecimento de doses de N (NF = Nitrogênio via Fertirrigação, NCI = Nitrogênio Com Irrigação, NSI = Nitrogênio Sem Irrigação).

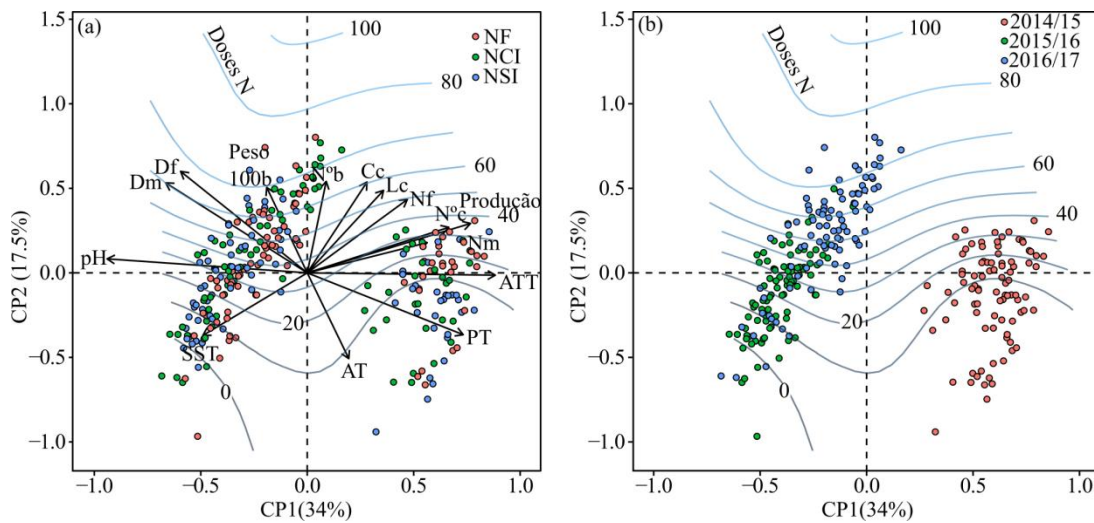


Figura 6. Relação entre o componente principal 1 (PC1) e o componente principal 2 (PC2) para variáveis (a) concentração de N em folhas no pleno florescimento (Nf), concentração de N em folhas na mudança de cor das bagas (Nm), diâmetro de caule no pleno florescimento (Df), diâmetro de caule na mudança de cor das bagas (Dm), peso de 100 bagas (Peso100b), número de bagas (N<sup>o</sup>b), número de cachos por planta (N<sup>o</sup>c), comprimento de cacho (Cc), largura de cacho (Lc), produção por planta, sólidos solúveis totais (SST), pH, acidez total titulável (ATT), polifenóis totais (PT) e antocianinas totais (AT), em videiras 'Alicante Bouschet' submetidas a modos de fornecimento de doses de N, durante as safras 2014/15, 2015/16 e 2016/17 (b). (NF = Nitrogênio via Fertirrigação, NCI = Nitrogênio Com Irrigação, NSI = Nitrogênio Sem Irrigação). As isolinhas delimitam as doses de N (kg ha<sup>-1</sup>).

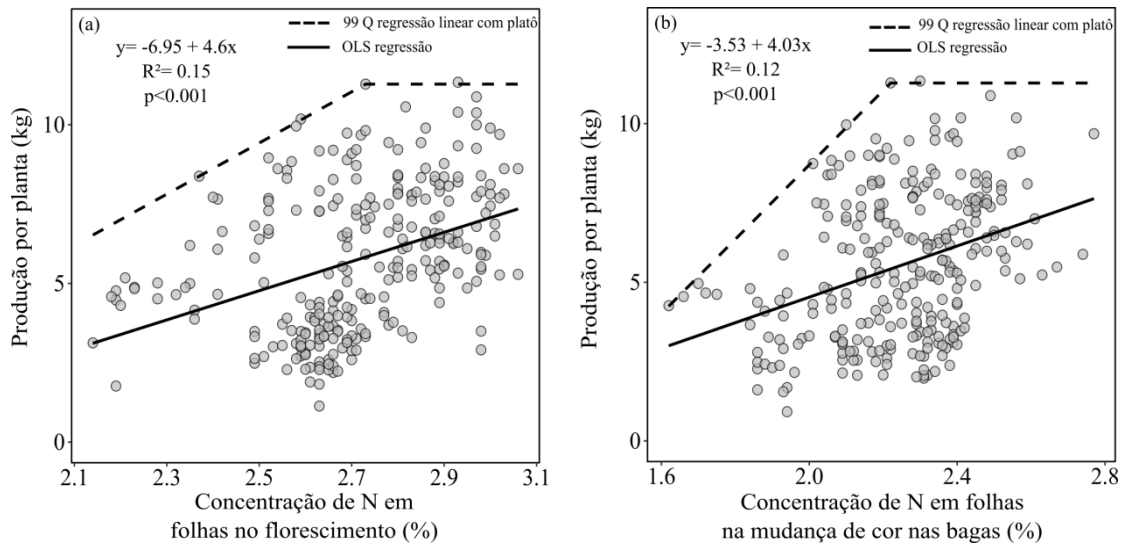


Figura 7. Análise de fronteira entre a concentração de N em folhas no pleno florescimento (a) e na mudança da cor das bagas (b), e a produtividade de videiras 'Alicante Bouschet' submetidas a modos de fornecimento de doses de N.

Suplemento. Análise de variância da concentração de N em folhas e diâmetro de caule, ambas no pleno florescimento e mudança de cor das bagas, comprimento, largura e número de cachos por planta, número e peso de 100 bagas, produção por planta, acidez total titulável (ATT), sólidos solúveis totais (SST), pH, antocianinas totais (AT) e polifenóis totais (PT).

Variáveis	Efeito		
	Modo	Dose	Interação
Concentração de N nas folhas no florescimento (%)	***	***	
Concentração de N nas folhas na mudança de cor das bagas (%)	***	***	*
Diâmetro de caule no florescimento (cm)	***	***	
Diâmetro de caule na mudança de cor das bagas (cm)	***	***	
Comprimento de cacho (cm)		***	
Largura de cacho (cm)		**	*
Número de bagas por cacho	*	**	**
Número de cachos por planta		**	
Peso de 100 bagas (g)		***	
Produção por planta (kg)	*	***	
Acidez total titulável (ATT)	*	***	***
pH	**	***	***
Antocianinas totais (AT)	***	***	
Polifenóis totais (PT)		***	*
Sólidos solúveis totais (SST)	***	***	*

\*0,05; \*\*0,01; \*\*\*0,001



## 7 DISCUSSÃO GERAL

A videira por ser uma planta arbórea, frutífera, com seu centro de origem em regiões mediterrâneas foi cultivada inicialmente em regiões com baixa precipitação pluviométrica, temperaturas mais amenas e solos com baixa fertilidade natural. Estudos de curto e longo prazo com a videira foram realizados inicialmente em países como Itália, Espanha, Portugal, França e Estado Unidos, entre outros, e contribuíram para melhorar as práticas de manejo da cultura e, por isso, hoje são tradicionais países vitivinícolas. Por outro lado, o Brasil possui um pequeno histórico de pesquisas com a cultura da videira, como sobre aspectos relacionados a calagem, adubação e nutrição mineral da videira. A Serra Gaúcha do Rio Grande do Sul (RS) é a principal região produtora de uva e vinho do País, com predomínio de experimentos na área vitivinícola. Entretanto, essa região possui solos de textura média a argilosa, com conteúdo de matéria orgânica do solo interpretados como médio ou alto e declive acentuado. Mas, a partir da década de 70 ocorreu a expansão das fronteiras agrícolas no Brasil e algumas áreas de campo natural da região da Campanha Gaúcha (RS) foram incorporadas ao sistema produtivo de uvas. Assim, o cultivo da videira nesta região, predominantemente, iniciou em solos arenosos, ácidos e por consequência, com baixa disponibilidade natural de nutrientes, como o N.

Na região da Campanha Gaúcha e em outros do Estado do RS e do Brasil a necessidade e dose da aplicação de N é definida com base no conteúdo de matéria orgânica no solo, concentração de N em folhas ou pecíolos, sendo considerada a expectativa de produtividade. A aplicação de N é recomendada preferencialmente durante a brotação, sobre a superfície do solo, sem incorporação para evitar danos físicos as raízes, e na projeção da copa das plantas. Na brotação, as temperaturas são elevadas, o que pode favorecer a volatilização da  $N-NH_3$ , diminuindo assim o potencial de aproveitamento do N do fertilizante nitrogenado pelas videiras. Entretanto, ainda não é suficientemente conhecido qual melhor dose de N a ser aplicada às videiras, como aquelas viníferas tintas em início de produção, tão pouco, quais os modos de fornecimento de N mais eficientes. As melhores doses de N e modos de fornecimento devem ser estabelecidos considerando o adequado estado nutricional das videiras, parâmetros de crescimento, mas especialmente, a produção e uva e composição do seu mosto, que determinará a qualidade do vinho.

Assim, os resultados do Estudo 1 mostram que as videiras ‘Alicante Bouschet’ cultivadas em solo arenoso e com baixo conteúdo de matéria orgânica, quando submetidas à aplicação de N de maneira fracionada, como a aplicação de  $20 + 20 \text{ kg N ha}^{-1}$  via fertirrigação e  $20 + 20 \text{ kg N ha}^{-1}$  seguido de irrigação, ao longo das safras aproveitaram mais o N derivado

do fertilizante, provavelmente diminuindo as perdas de formas de N para o ambiente. Isso acontece por causa das maiores concentrações de formas de N na solução do solo, como  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{NH}_4^+$ , que foram absorvidas e promovem o aumento da concentração de N em folhas coletadas no florescimento. Mas, este aumento do N no interior das videiras incrementou os valores de diâmetro de caule e a produção de uva, bem como seus componentes. Entretanto, a composição química do mosto destas uvas das videiras submetidas a estes dois modos de fornecimento apresentaram menores valores de SST, diminuição na concentração de AT e ATT. No presente Estudo não foram apresentados os resultados de análise do vinho, que foi elaborado a partir destas uvas. Porém, as características do vinho elaborado estão sendo avaliadas. A expectativa inicial é que os vinhos derivados das uvas destes dois tratamentos apresentam menor concentração de, que para o consumidor se refletirá em menor intensidade de cor, o que nem sempre é bem aceito. Porém, esta hipótese precisará ser comprovada.

Os resultados do Estudo 2 mostram que as videiras 'Alicante Bouschet', também cultivadas em solo arenoso e com baixo conteúdo de matéria orgânica, quando submetidas à aplicação de N, seja por fertirrigação, seguido de irrigação ou sem irrigação, tem 99% de probabilidade de atingirem a máxima produção de uva, se apresentarem concentrações de N maiores que 2,75% em folhas no pleno florescimento e maiores que 2,25% na mudança da cor das bagas. Entretanto, a aplicação de menores doses de N, especialmente, com presença de água, como via fertirrigação e seguido de irrigação, onde a eficiência de absorção de N é potencializada, incrementando mais a concentração de N em folhas, principalmente no pleno florescimento, por causa da menor área foliar e redistribuição para outros órgãos anuais. A aplicação de  $35 \text{ kg N ha}^{-1}$  foi onde se obteve a máxima eficiência técnica, independentemente do modo de fornecimento de N, aliada ao positivo comportamento de outros componentes de produção, como peso de 100 bagas, comprimento e largura de cacho. Somado a isso, as concentrações de AT, PT e SST no mosto sofreram decréscimo com a aplicação de doses de N, especialmente, nas maiores que  $40 \text{ kg N ha}^{-1}$ . Porém, quando foram utilizadas doses menores de N, como 20 e  $40 \text{ kg N ha}^{-1}$ , as concentrações dos parâmetros químicos de mosto avaliados foram consideradas adequadas para elaboração de vinhos tintos de qualidade. Como relatado no Estudo 1, o vinho das uvas dos tratamentos deste Estudo 2 foi elaborado e as suas características estão sendo analisadas.

## 8 ESTUDOS FUTUROS

Os resultados obtidos nos dois Estudos realizados permitiram a obtenção de algumas conclusões, que representam avanço em relação ao conhecimento já obtido sobre adubação nitrogenada em videiras. Mas também, indicam que novos Estudos em um futuro próximo poderão ser realizados, onde nós destacamos:

1. Realizar Estudos para estabelecer em outras cultivares, tintas e brancas, as concentrações foliares de N ou mesmo de outros nutrientes, em diferentes estágios fenológicos, capazes de estimar as máximas produtividades, com valores adequados, sugeridos pelos enólogos, de parâmetros da composição do mosto e do vinho;
2. Realizar Estudos que permitam conhecer melhor o impacto das doses e modos de fornecimento de N, sobre parâmetros morfológicos do sistema radicular de cultivares de videiras, usando técnicas não destrutivas. Isso porque, os parâmetros morfológicos do sistema radicular das cultivares e porta-enxertos são determinantes do aproveitamento do N aplicado, que promoverá impacto em parâmetros produtivos da uva e sua composição, bem como de seus subprodutos;
3. Efetuar Estudos que permitam conhecer melhor as entradas, saídas e ciclagem de N em vinhedos e mesmo no interior das videiras; bem como o potencial de fixação e ciclagem de N por plantas de cobertura, espontâneas e semeadas, que coabitam os vinhedos. Isso poderá explicar porque videiras normalmente respondem a pequenas doses de N adicionadas;
4. Desenvolver Estudos sobre as alterações químicas no solo rizosférico, causadas por videiras em produção, quando cultivadas em solos com baixos conteúdos de nutrientes. Isso poderá explicar melhor porque elevadas produtividades de uva são obtidas, por exemplo, em solos com pequenas doses de N;
5. Realizar Estudos sobre parâmetros cinéticos, em porta-enxertos e cultivares de videiras, relacionados a absorção de N, P, K, Ca e Mg. Com isso, poderá ser possível agrupar os porta-enxertos e cultivares, considerando a eficiência de absorção de nutrientes, como de N;
6. Realizar Estudos onde atributos químicos de solo e características de clima possam ser correlacionados com parâmetros nutricionais, crescimento, produção de uva, composição do mosto e do vinho, agrupando as cultivares por níveis categóricos ou grupos de similaridade. Com isso, resultados de pesquisa relacionados à adubação obtidos em uma cultivar, inicialmente, poderão ser usados em cultivares similares.

## **REFERÊNCIAS**

- BARLOW, K. et al. Nitrogen concentrations in soil solution and surface run-off on irrigated vineyards in Austrália. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, v. 15, p. 31-143, 2009.
- BELL, S. J.; ROBSON, A. Effect of nitrogen fertilization on growth, canopy density, and yield of *Vitis vinifera* L. cv. Cabernet Sauvignon. **American Journal of Enology and Viticulture**, Davis, v. 50, p. 351-358, 1999.
- BRUNETTO, G. et al. Recuperação e distribuição do nitrogênio fornecido a videiras jovens. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, p. 1299-1304, 2006.
- BRUNETTO, G. et al. Aplicação de nitrogênio em videiras na Campanha Gaúcha: Produtividade e características químicas do mosto da uva. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, p. 389-393, 2007.
- BRUNETTO, G. et al. Produção, composição da uva e teores de nitrogênio na folha e no pecíolo em videiras submetidas à adubação nitrogenada. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, p. 2622-2625, 2008.
- BRUNETTO, G. et al. Produção e composição química da uva de videiras Cabernet Sauvignon submetidas à adubação nitrogenada. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, p. 2035-2041, 2009.
- BRUNETTO, G. et al. Contribution of nitrogen from agricultural residues of rye to 'Niagara Rosada' grape nutrition. **Science Horticulturae**, v. 169, p. 66-70, 2014.
- BRUNETTO, G. et al. Contribution of nitrogen from urea applied at different rates and times on grapevine nutrition. **Scientia Horticulturae**, v. 207, p. 1-6, 2016.
- BUCCHETTI, B.; INTRIERI, C. Effetti della carenza di luce sulla via biosintetica dei flavonoidi nelle uve cv. Sangiovese. **Rivista di Frutticoltura e di ortofloricoltura**, v. 69, p. 54-58, 2007.
- CAMARGO, F. A. O. et al. **Nitrogênio orgânico do solo**. In: SANTOS, G. De A. et al. (Eds.). *Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais*. Porto Alegre: Metrópole, p. 87-99, 2008.
- CANTARELLA, H. et al. Ammonia volatilisation from urease inhibitor-treated urea applied to sugarcane trash blankets. **Scientia Agricola**, v. 65, p. 397-401, 2008.
- CECCON, C. et al. Untangling the effects of root age and tissue nitrogen on root respiration in *Populus tremuloides* at different nitrogen supply. **Tree Physiology**, v. 36, p. 618-627, 2016.
- CHENG, G. et al. Effects of climatic conditions and soil properties on Cabernet Sauvignon berry growth and anthocyanin profiles. **Molecules**, v. 19, p. 13683-13703, 2014.

- CHRISTENSEN, L. P. et al. Effect of nitrogen fertilizer timing and rate on inorganic nitrogen status, fruit composition, and yield of grapevines. **American Journal of Enology and Viticulture**, v. 45, p. 377-387, 1994.
- COLUGNATI, G. et al. Comportamento di diverse essenze per l'inerbimento del vigneto. **L'informatore agrario**, Verona, n.13, p. 55-59, 2003.
- COMAS, L. H. et al. Canopy and environmental control of root dynamics in a long-term study of Concord grape, **New Phytologist**, v. 167, p. 829–840, 2005.
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 11. ed. Porto Alegre: SBCS - Núcleo Regional Sul/UFRGS, 400 p, 2016.
- DONEDA, A. et al. Fitomassa e decomposição de resíduos de plantas de cobertura puras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1714–1723, 2012.
- DUCHÊNE, E.; SCHNEIDER, C.; GAUDILLÈRE, J. P. Effects of nitrogen nutrition timing on fruit set of grapevine cv. Grenache. **Vitis**, v.40, n.1, p. 45-46, 2001.
- DUCHÊNE, E.; SCHNEIDER, C. Grapevine and climatic changes: a glance at the situation in Alsace. **Agronomy for Sustainable Development**, v.25, p.93–99, 2005.
- EISSENSTAT, D. M. et al. Seasonal patterns of root growth in relation to shoot phenology in grape and apple, **Acta Horticulturae**, v.721, p.21-26, 2006.
- ESSINGTON, M. E. **Soil and water chemistry – an integrative approach**. Boca Raton: CRC Press, 534p., 2004.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solo. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa Solos, 353p., 2013.
- EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. Londrina: Editora Planta, 403p., 2006.
- ERNANI, P. R.; DIAS, J.; BORGES, M. A aplicação de nitrogênio ao solo em diferentes estádios não afetou o rendimento de frutos de cultivares de macieira. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.30, p.223-227, 2000.
- GIACOMINI, S. J. et al. Aproveitamento pelo milho do nitrogênio amoniacal de dejetos líquidos de suínos em plantio direto e preparo reduzido do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, p. 761-768, 2009.
- KELLER, M.; HRAZDINA, G. Interaction of nitrogen availability during bloom and light intensity during veraison II. Effects on anthocyanin and phenolic development during grape ripening. **American Journal of Enology and Viticulture**, Davis, v. 49, p. 341-349, 1998.

KELLER, M.; POOL, R. M.; HENICK-KLING, T. Excessive nitrogen supply and shoot trimming can impair colour development in Pinot Noir grapes and wine. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, v. 5, p. 45-55, 1999.

KELLY, M. et al. Effect of foliar nitrogen and sulfur on petit manseng (*Vitis vinifera* L.) grape composition. **Journal of Wine Research**, v.0, p.1–16, 2017.

KIPP, J. A. Thirty years fertilization and irrigation in Dutch apple orchards: a review. **Fertilizer Research**, v.32, p. 149-156, 1992.

LI, S. X.; WANG, Z. H.; STEWART, B. A. Responses of crop plants to ammonium and nitrate N. **Advances in Agronomy**, v. 118, chapter five, p. 205-397, 2013.

LORENSINI, F. et al. Lixiviação e volatilização de nitrogênio em uma Argissolo cultivado com videira submetida à adubação nitrogenada. **Ciência Rural**, v. 42, p. 1173-1179, 2012.

LORENSINI, F. et al. Nitrogen fertilization of Cabernet Sauvignon grapevines: yield, total nitrogen content in the leaves and must composition. **Acta Scientiarum**, p. 321–329, 2015.

LORENSINI, F. et al. Adubação nitrogenada na fase de crescimento de videiras “Chardonnay” e “Pinot Noir” e formas de nitrogênio em solo arenoso do Bioma Pampa. **Revista Ceres**. v. 64, p. 433–440, 2017.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic Press, p. 889, 2012.

MELLO, R. L. M. **Vitivinicultura brasileira: panorama 2009**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho (artigo técnico), 2010.

MELLO, L. M. R. **Panorama da produção de uvas e vinhos no Brasil**. Campo e Negócios Hortifrutí. (Informe técnico), 2017.

MELLO, L, R, de. **Vitivinicultura Brasileira: Panorama 2012**. Comunicado Técnico 137 (artigo técnico), 2013.

MIELE, A.; RIZZON, L. A. Avaliação da cv. merlot para elaboração de vinho tinto. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 23, p. 156-161, 2003.

MILLARD, P.; GRELET, G. A. Nitrogen storage and remobilization by trees: ecophysiological relevance in a changing world. **Tree Physiology**, v. 30, p. 1083–1095, 2010.

NEILSEN, D. et al. Using soil solution monitoring to determine the effects of irrigation management and fertigation on nitrogen availability in high density apple orchards. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v.123, p.706-713, 1998.

NEILSEN, D.; NEILSEN, G. H. Fertigation of deciduous fruit trees: apples and sweet cherry. In: IMUS P; PRICE MR (Eds.) Fertigation: Optimizing the utilization of water and nutrition. **International Potash Institute**, Horgen, Switz, p. 76-88, 2008.

- ORTIZ-LOPEZ, A.; CHANG, H. C.; BUSH, D. R. Amino acid transporters in plants. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Biomembranes**, v. 1-2, p. 275-280, 2000.
- OUGH, C. S.; LIDER, L. A.; COOK, J. A. Rootstock-scion interactions concerning wine making. I. Juice composition changes and effects on fermentation rate with St George and 99-R Rootstocks at two nitrogen fertilizer levels. **American Journal of Enology and Viticulture**, v. 19, p. 213-227, 1968.
- PATRICK, A. E. et al. Grapevine uptake of <sup>15</sup>N labeled nitrogen derived from a winter-annual leguminous cover-crop mix. **American Journal of Enology and Viticulture**, Davis, v. 55, p. 187-190, 2004.
- PEACOCK, W. L.; CHRISTENSEN, L. P.; HIRSCHFELT, D. J. Influence of timing of nitrogen fertilizer application on grapevines in the San Joaquin Valley. **American Journal of Enology and Viticulture**, v. 42, p. 322-326, 1991.
- POMMER, C. V. (Ed.) **Uva tecnologia de produção, pós-colheita, mercado**. Porto Alegre: Cinco Continentes, 778 p, 2003.
- PRADO, C. H. B. A. **Aquisição e uso dos nutrientes minerais da solução do solo**. São Carlos: Tipographia Editora Expressa. 188 p. 2013.
- ROCHETTE, P. et al. Nitrous Oxide Emissions Respond Differently to No-Till in a Loam and a Heavy Clay Soil. **Soil Science Society of America Journal**, v. 72, p. 1363-1369, 2008.
- ROGERI, D. A. et al. Mineralização e nitrificação do nitrogênio proveniente da cama de aves aplicada ao solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.19, p.534–540, 2015.
- SCHMITT, D. E. et al. Phosphorus fractions in the vineyard soil of the Serra Gaúcha of Rio Grande do Sul, Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, p. 133-140. 2014.
- SCHREINER, R. P.; SCAGEL, C. F. Nutrient uptake and distribution in a mature ‘Pinot Noir’ vineyard. **HortScience**, Alexandria, v. 41, p. 336-345, 2006.
- SPARKS, D. Sorption phenomena on soil. In: Environmental soil chemistry. San Diego: **Academic Press**, p. 99-139, 1995.
- SPAYD, S. E.; WAMPLE, R. L.; EVANS, R. G. Nitrogen fertilization of white Riesling grapes in Washington. Must and wine composition. **American Journal of Enology and Viticulture**, Davis, v. 45, p. 34-42, 1994.
- SPAYD, S. E.; NAGEL, C. W.; EDWARDS, C. G. Yeast growth in Riesling juice as affected by vineyard nitrogen fertilization. **American Journal of Enology and Viticulture**, Davis, v. 46, p. 49-55, 1995.

- SPOSITO, G. **The surface chemistry of natural particles**. New York: Oxford Univ. Pres, 242p. 2004.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 820 p. 2013.
- TAGLIAVINI, M.; MILLARD, P. Fluxes of nitrogen within deciduous fruit trees. **Acta Scientiarum Polonorum – Hortorum Cultus**, v. 4, p. 21-30, 2005.
- TARARA, J. M. et al. Berry Temperature and Solar Radiation Alter Acylation, Proportion, and Concentration of Anthocyanin in Merlot Grapes. **American Journal of Enology and Viticulture**, v. 3, p. 235–247, 2008.
- TASCA, F. A. et al. Volatilização de Amônia do solo após a aplicação de ureia convencional ou com inibidor de urease. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 493–509, 2011.
- TESIC, D.; KELLER, M.; HUTTON, R. J. Influence of vineyard floor management practices on grapevine vegetative growth, yield, and fruit composition. **American Journal of Enology and Viticulture**, v. 58, p. 1-11, 2007.
- TOSELLI, M. et al. Evaluation of the effectiveness of soil-applied plant derivatives of Meliaceae species on nitrogen availability to peach trees. **Scientia Horticulturae**, v. 124 p. 183–188, 2010.
- VENTURA, M. et al. Monitoraggio delle perdite di azoto minerale per lisciviazione dal suolo di un pereto. **Frutticoltura**, Bologna, v. 10, p. 40-44, 2005.
- VIERO, F. et al. Ammonia volatilization from nitrogen fertilizers in no-till wheat and maize in Southern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 1515-1525, 2014.
- VIEIRA, A. C. P; WATANABE, M.; BRUCH, K. L. Perspectivas de desenvolvimento da vitivinicultura em face do reconhecimento da indicação de procedência. **Revista Geintec**, v. 2, p. 327-343. 2012.
- ZAMBROSI, F. C. B. et al. Contribution of phosphorus (<sup>32</sup>p) absorption and remobilization for citrus growth. **Plant and soil**. v. 355, p. 353–362, 2012.
- ZAPATA, C. et al. Partitioning and mobilization of starch and N reserves in grapevine (*Vitis vinifera* L.). **Journal of Plant Physiology**, v. 161, p. 1031–1040, 2004.
- ZWIENIECKI, M. A.; THOMPSON, M. V.; HOLBROOK, N. M. Understanding the hydraulics of porous pipes: Tradeoffs between water uptake and length utilization. **Journal of Plant Growth Regulation**, v.21, p. 315-323, 2002.



## 9 APÊNDICES

Apêndice 1 – Vista geral do vinhedo de ‘Alicante Bouschet’ na área experimental em Santana do Livramento, Região da Campanha Gaúcha do Rio Grande do Sul, Sul do Brasil.



Fonte: Stefanello, L.O.S. (2018).

Apêndice 2 – Aplicação de nitrogênio (N) em videiras ‘Alicante Bouschet’ sobre a superfície do solo sem incorporação (esquerda), seguida de irrigação (centro), e via fertirrigação (direita)



Fonte: Stefanello, L.O.S. (2018).

Apêndice 3 – Desenvolvimento de videiras ‘Alicante Bouschet’ durante as quatro estações do ano, primavera (esquerda superior), verão (direita superior), outono (esquerda inferior) e inverno (direita inferior).



Fonte: Stefanello, L.O.S. (2018).

Apêndice 4 – Videiras ‘Alicante Bouschet’ durante o pleno florescimento (esquerda superior), a mudança de cor nas bagas (direita superior), potencial produtivo de uva (esquerda inferior) e excesso de vigor (direita inferior).



Fonte: Stefanello, L.O.S. (2018).

Apêndice 5 – Processamento das bagas para análises químicas do mosto de uvas de videiras ‘Alicante Bouschet’ submetidas a modos de fornecimento de doses de N.



Fonte: Stefanello, L.O.S. (2018).

Apêndice 6 – Determinação de pH (1<sup>a</sup>), (acidez total titulável) ATT (2<sup>a</sup>), SST (sólidos solúveis totais) (3<sup>a</sup>), e antocianinas totais (AT) (4<sup>a</sup>) no mosto de uvas de videiras ‘Alicante Bouschet’ submetidas a aplicação de modos de fornecimento de doses de N.



Fonte: Stefanello, L.O.S. (2018).