

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CAMPUS CURITIBANOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS  
RAFAEL FRANÇA PEREIRA DA CRUZ

**MORFOFISIOLOGIA DE FOLHAS DE ALHO CULTIVADO NAS CONDIÇÕES  
EDAFOCLIMÁTICAS DE CURITIBANOS, SC**

Curitibanos  
2017

**RAFAEL FRANÇA PEREIRA DA CRUZ**

**MORFOFISIOLOGIA DE FOLHAS DE ALHO CULTIVADO NAS CONDIÇÕES  
EDAFOCLIMÁTICAS DE CURITIBANOS, SC**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Agronomia, do Centro de Ciências Rurais da Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Curitibanos, como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Leosane Cristina Bosco.

Curitibanos  
2017

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Cruz, Rafael França Pereira da  
Morfofisiologia de folhas de alho cultivado nas  
condições edafoclimáticas de Curitibanos, SC / Rafael  
França Pereira da Cruz ; orientador, Leosane Cristina  
Bosco, 2017.  
37 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus  
Curitibanos, Graduação em Agronomia, Curitibanos, 2017.

Inclui referências.

1. Agronomia. 2. Allium sativum L. Anatomia foliar.  
Cultivar. Época de plantio. . I. Bosco, Leosane Cristina .  
II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em  
Agronomia. III. Título.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**  
Coordenação do Curso de Graduação em Agronomia  
Rodovia Ulysses Gaboardi km3  
CP: 101 CEP: 89520-000 - Curitibanos - SC  
TELEFONE (048) 3721-2178 E-mail: agronomia.cbs@contato.ufsc.br.

---

RAFAEL FRANÇA PEREIRA DA CRUZ

## MORFOFISIOLOGIA DE FOLHAS DE ALHO CULTIVADO NAS CONDIÇÕES EDAFOCLIMÁTICAS DE CURITIBANOS, SC.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao Colegiado do Curso de Agronomia, do Campus Curitibanos da Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

**Orientador(a): Leosane Cristina Bosco**

Data da defesa: 08 de junho de 2017

**MEMBROS COMPONENTES DA BANCA EXAMINADORA:**

---

**Presidente e Orientador:** Leosane Cristina Bosco  
**Titulação:** Doutora  
**Área de concentração em** Agrometeorologia  
**Universidade Federal de Santa Catarina**

*leosane cristina bosco*

---

**Membro Titular:** Paulo Cesar Poeta Fermino Jr  
**Titulação:** Doutor  
**Área de concentração em** Botânica  
**Universidade Federal de Santa Catarina**

*Paulo Cesar Poeta Jr.*

---

**Membro Titular:** Júlia Carina Niemeyer  
**Titulação** Doutora  
**Área de concentração em** Ecologia  
**Universidade Federal de Santa Catarina**

*Júlia Carina Niemeyer*

**Local:** Universidade Federal de Santa Catarina  
*Campus de Curitibanos*  
**Coordenação do Curso de Graduação em Agronomia**

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus, pela vida, saúde e discernimento para superar todas as dificuldades.

A meus pais e irmãos, pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

A professora Dra. Leosane Cristina Bosco, que nos anos de convivência muito me ensinou, contribuindo para meu crescimento científico e intelectual, e sua excelente orientação em todas as fases de elaboração com muita paciência, apoio e confiança.

Ao professor Dr. Paulo Cesar Poeta Fermino Júnior, pela amizade, assim como todo suporte e orientação das análises anatômicas e fisiológicas.

Ao grupo do professor Dr. Samuel Luiz Fioreze e Gabriel Felip Gomes Olivo, pelo auxílio nas avaliações fotossintéticas.

Aos professores Dra. Júlia Carina Niemeyer, Dra. Elis Borcioni, Dra. Adriana Terume Itako, Dr. João Batista Tolentino Júnior pelo auxílio no plantio do alho.

A todos meus amigos e colaboradores desse trabalho, especialmente os companheiros de projeto Bruna Orsi, Daniel Grubert, Giuliano Rigo, Renan Rebelato, Rodrigo Rosa, sou grato por toda assistência nas atividades desse trabalho e os bons momentos passados.

Em especial, a minha noiva, pelo auxílio e compreensão em todas as fases desse trabalho.

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Características das análises avaliadas sobre as cultivares Ito, Chonan e San Valentin em ambos os fatores ano, data de coleta e vernalização.....	17
<b>Tabela 2.</b> Valores de quadrado médio do quadro de análise de variância para diferentes parâmetros da anatomia foliar. ....	20
<b>Tabela 3.</b> Espessura da parede celular com cutícula ( $\mu\text{m}$ ) da face adaxial, em folhas das cultivares de alho nobre Ito, Chonan e San Valentin, cultivadas em duas épocas de plantio, com e sem vernalização, em 2015. ....	20
<b>Tabela 4.</b> Espessura da célula epidérmica e do parênquima paliçádico ( $\mu\text{m}$ ) da face adaxial, em folhas das cultivares de alho nobre Ito, Chonan e San Valentin com e sem vernalização, em 2015. ....	22
<b>Tabela 5.</b> Valores de quadrado médio do quadro de análise de variância para diferentes parâmetros da anatomia foliar. ....	23
<b>Tabela 6.</b> Densidade estomática ( $\mu\text{m}^2$ ), Comprimento e largura do poro estomático ( $\mu\text{m}$ ) e Comprimento e largura do complexo estomático ( $\mu\text{m}$ ) da face adaxial, em folhas das cultivares de alho nobre Ito, Chonan e San Valentin cultivadas em duas épocas de plantio, com e sem vernalização, ano 2015. ....	24
<b>Tabela 7.</b> Largura do poro estomático ( $\mu\text{m}$ ) da face adaxial, em folhas das cultivares de alho nobre Ito, Chonan e San Valentin com e sem vernalização e duas épocas de plantio, ano 2015. ....	25
<b>Tabela 8.</b> Valores do quadrado médio do quadro de análises da variância para teores de clorofilas e carotenóides. ....	26
<b>Tabela 9.</b> Teores de clorofila <i>a</i> , <i>b</i> , total e carotenóides totais ( $\mu\text{g/ml}$ ) das cultivares de alho nobre Ito, Chonan e San Valentin, cultivadas em duas épocas de plantio com e sem vernalização, em 2015. ....	27
<b>Tabela 10.</b> Teores de clorofila <i>a</i> , <i>b</i> , total e carotenóides totais ( $\mu\text{g/ml}$ ) das cultivares de alho nobre Ito, Chonan e San Valentin, cultivadas em duas épocas de plantio em 2016.....	28
<b>Tabela 11.</b> Taxa máxima de fotossíntese líquida ( $A_{N\text{máx}}$ ; $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), ponto de compensação de luz ( $\Gamma$ ; $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), respiração no escuro ( $R_e$ ; $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), eficiência quântica aparente ( $\Phi_a$ ) em plantas de alho.....	29

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Valores diários de temperatura máxima e temperatura mínima do ar medidos no período experimental de cultivo de alho em 2014, 2015 e 2016 em Curitiba, SC. As setas indicam o período médio de formação do bulbo, considerando as épocas 1 (n° 1 na cor azul = formação do bulbo em 2014; cor vermelha = formação do bulbo em 2015; cor verde = formação do bulbo em 2016) e época 2 (n° 2 na cor azul = formação do bulbo em 2014; cor vermelha = formação do bulbo em 2015; cor verde = formação do bulbo em 2016). ..... 18
- Figura 2.** Valores diários de radiação solar global medidos no período experimental de cultivo de alho em 2014, 2015 e 2016 em Curitiba, SC. As setas indicam o período médio de formação do bulbo, considerando as épocas 1 (n° 1 na cor azul = formação do bulbo em 2014; cor vermelha = formação do bulbo em 2015; cor verde = formação do bulbo em 2016) e época 2 (n° 2 na cor azul = formação do bulbo em 2014; cor vermelha = formação do bulbo em 2015; cor verde = formação do bulbo em 2016). ..... 19
- Figura 3.** Vistas frontais da superfície adaxial das folhas de alho da cultivar San Valentin época 1, com vernalização (A) e sem vernalização (B). Setas indicam parede celular com cutícula. Barra = 50 µm. .... 21
- Figura 4.** Vista frontal da superfície adaxial de folhas de alho da cultivar San Valentin com vernalização (A) e sem vernalização (B). Legenda: PP = Espessura do parênquima paliçádico. Barra = 50 µm. .... 22
- Figura 5.** Imagem ilustrativa da vista frontal da superfície adaxial da folha de alho, onde estão localizados os estômatos. Setas indicam os estômatos e suas partes estruturais. .... 23
- Figura 6.** Taxa fotossintética líquida referente a análises realizadas em 2014 e 2016 das cultivares Chonan (Ch; círculo preto), Ito (Ito; círculo branco), e San Valentin (SV; triângulo preto). .... 30

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	10
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	13
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	18
<b>4 CONCLUSÕES</b> .....	32
<b>Abstract</b> .....	33
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	34



## Morfofisiologia de folhas de alho cultivado nas condições edafoclimáticas de Curitiba, SC

Rafael França Pereira da Cruz

### Resumo

O alho é uma planta cultivada em várias regiões do Brasil, no entanto, possui poucos estudos que caracterizem dados morfofisiológicos na literatura. Esses dados são interessantes porque tem influência direta no desenvolvimento das plantas e, conseqüentemente na produtividade. O ambiente em que as plantas estão expostas pode promover modificações na anatomia e fisiologia das folhas. O objetivo desse trabalho foi caracterizar a morfofisiologia do alho cultivado nas condições edafoclimáticas de Curitiba, SC. Foram conduzidos experimentos a campo, em três anos (2014, 2015 e 2016), com diferentes épocas de plantio em cada ano. Foram usadas três cultivares de alho nobre, Ito, Chonan e San Valentin. Os elementos meteorológicos radiação solar global e temperatura do ar foram obtidos em estação meteorológica automática. A caracterização da anatomia foliar foi determinada através da confecção de lâminas, que foram fotomicrografadas com microscópio óptico e a partir das imagens foram efetuadas as medições de espessura da célula epidérmica adaxial, parede celular e cutícula e parênquima paliçádico. Foram determinados a densidade estomática, dimensões do complexo e poro estomático considerando o comprimento (eixo longitudinal) e largura (eixo transversal), quando em vista frontal, da superfície epidérmica. A caracterização da fisiologia das plantas foi realizada pela determinação de clorofilas e carotenóides e pela taxa fotossintética. A determinação de clorofilas e carotenóides foi realizada por meio de amostras de folhas que foram incubadas em banho-maria com dimetilsulfóxido por duas horas a 65 °C, seguido de espectrofotometria considerando-se a densidade óptica medida a 480 nm, 649 nm e 665 nm. A taxa fotossintética líquida foi determinada com o analisador de fotossíntese LI 6400 XT. A espessura da célula epidérmica, parede celular com cutícula, parênquima paliçádico, densidade, comprimento do poro, comprimento e largura do complexo estomático e Clorofila estão relacionados com a interação entre os fatores cultivar, vernalização e época de plantio. A cultivar San Valentin apresenta maior plasticidade em relação ao efeito da vernalização. O teor de carotenóides é similar entre os anos de cultivos de 2015 e 2016, e está relacionado com a cultivar e época de plantio. A cultivar San Valentin tem o maior valor de ponto de compensação de luz e respiração no escuro, indicando maior necessidade de radiação incidente para atingir a máxima taxa fotossintética.

**Palavras-chave:** *Allium sativum* L. Anatomia foliar. Cultivar. Época de plantio.

## 1 INTRODUÇÃO

O alho (*Allium sativum* L.) é originário da Ásia Central, e foi introduzido na costa do mar Mediterrâneo, se difundindo então para diversas partes do mundo (FILGUEIRA, 2008).

O alho é muito utilizado como condimento nas cozinhas brasileiras, por possuir uma característica de sabor e aroma. É cultivado comercialmente em todas as regiões do Brasil, com exceção da região Norte, onde o calor excessivo impossibilita seu cultivo. No entanto, apesar de ter condições edafoclimáticas favoráveis, o país ainda não alcançou a autossuficiência na produção de alho, necessitando de importações (RESENDE e PEREIRA, 2009).

O alho é uma planta herbácea pertencente à família Amaryllidaceae, normalmente chega aos 50 cm de altura ou mais, dependendo da cultivar. Possui características como, presença de folhas alternas lanceoladas (alongadas), com limbo medindo de 0,20 a 0,30 m de comprimento (SILVA e SILVA, 2009).

Apresenta aspectos morfológicos externos semelhantes entre as cultivares deste experimento (Ito, Chonan e San Valentin), quanto ao tipo e formato de folhas, sendo elas estreitas, cerosas de coloração verde e com um número de folhas variável entre 12 a 22 folhas. Essa variação é devido a cultivar e época de plantio. Plantios em épocas mais tardias tenderam a emitir menos folhas, uma vez que o ciclo é mais curto (ROSA, 2015).

A folha apresenta duas faces, a face adaxial (parte superior) e face abaxial (parte inferior). Ambas são formadas pela epiderme. Essas estruturas são visíveis por meio de microscopia eletrônica, através da avaliação anatômica das folhas, que podem apresentar características diferentes entre si, que atribuem tolerância a diferentes condições ambientais (BATISTA et al., 2010).

A resposta de plantas de alho em relação às condições edafoclimáticas e ao efeito da vernalização foram estudadas por Macêdo, Silva e Silva (2009). A vernalização consiste em um processo em que as plantas são induzidas a iniciar a fase reprodutiva através da exposição a temperaturas baixas não congelantes (processo de estresse térmico). A resposta das plantas à vernalização é determinada por dois fatores: a temperatura durante a vernalização e a duração desse período (Alberto et al., 2009). Para o alho, armazena-se os bulbilhos (alho-semente) em câmaras com temperatura de 3 a 5°C, por um período de tempo que varia de 40 a 60 dias e umidade relativa entre 70 a 80% (MACÊDO; SILVA; SILVA, 2009). Há necessidade de avaliar o efeito da vernalização sobre características anatômicas e fisiológicas das folhas de alho, já que, segundo alguns pesquisadores, mudanças nas condições ambientais, como por

exemplo, aumento da intensidade da radiação ou mesmo estresses, podem levar a modificação na espessura do mesofilo, nos tecidos vasculares, na espessura da epiderme, na espessura da cutícula, na densidade estomática e demais características estomáticas para a tolerância a essas condições (SANTIAGO et al., 2001; SOUZA et al., 2007; SOUZA et al, 2010).

Atualmente tem-se encontrado poucos trabalhos que caracterizem dados morfofisiológicos na literatura para a cultura do alho. São dados interessantes porque tem influencia direta no desenvolvimento das plantas e, conseqüentemente na produtividade, que pode variar muito com o tipo de ambiente ao qual essas plantas estão expostas. Conforme Dickison (2000), as estratégias anatômicas e as respostas adaptativas permitem às plantas sobreviverem sob distintas condições ambientais. Algumas espécies aumentam a densidade foliar para adaptarem-se às alterações microclimáticas. Outras, em condição de alta radiação solar incidente sobre a folha tendem a ser menores e com maior espessura das estruturas do tecido do mesofilo (parênquima paliçádico), maior densidade estomática e clorofila.

Outro aspecto importante, que pode interferir diretamente na produtividade é a resposta fisiológica da planta, que está diretamente ligada à expressão da cultura quanto às distintas condições ambientais. As adaptações ocorridas pelas plantas no processo fotossintético em resposta às condições de luminosidade ambiental refletem em seu crescimento global (ENGEL e POGGIANI, 1991). A captura de energia luminosa, para a fotossíntese, permite às plantas a obtenção de energia química que é crucial para sua capacidade de competir e reproduzir (GIVNISH, 1988).

Dentre alguns casos, plantas expostas à radiação solar intensa apresentam maior plasticidade com relação a capacidade fotossintética (DUZ et al., 2004). Além disso, a distribuição e concentração de moléculas de clorofila são alteradas por irradiação solar (CARVALHO et al., 2010). Segundo Aranda et al. (2001) a capacidade das plantas se adaptarem em relação a variação ambiental está relacionada tanto com aspectos genotípicos, quanto com a plasticidade fenotípica expressando mudanças morfológicas e fisiológicas. Logo, a plasticidade desempenha um mecanismo de adaptação da planta a diferentes condições.

As adaptações morfo-anatômicas da folha, em resposta à intensidade luminosa, especialmente a epiderme e o mesofilo, estão diretamente relacionadas às adaptações fisiológicas (FERMINO JUNIOR, 2004). A célula epidérmica é um tecido com funções múltiplas, dentre elas atua como uma barreira para a penetração da luz solar (DICKISON, 2000; JAVELLE et al., 2011). Segundo Cutter (1978), por estar em contato direto com o

ambiente, pode apresentar modificações estruturais com resposta aos fatores ambientais, o que torna esse tecido relevante.

A taxa fotossintética das plantas pode ser obtida através de equipamentos tecnicamente sofisticados desenvolvidos para esse propósito. Os métodos utilizados de formas mais ampla para medir a fotossíntese envolve a medida direta da concentração de gás carbônico em uma corrente de ar que passa sobre uma folha ou outro tecido fotossintético exposto a luz. Esses métodos estão fundamentados na capacidade do gás carbônico de absorver energia em comprimentos de onda na porção infravermelha do espectro eletromagnético. A amostra de gás é exposta a luz infravermelha, e um detector eletrônico, chamado de analisador de gás por infravermelho que mede a quantidade de energia absorvida em cada comprimento de onda, que é proporcional a quantidade gás carbônico na corrente de ar (GUREVITCH; SCHEINER; FOX, 2009).

A taxa com que uma folha pode capturar energia luminosa e fixar carbono é determinada por diversos fatores. No escuro, a respiração celular resulta em uma perda líquida de carbono e energia da planta, bem como não há captura fotossintética de luz e carbono. A medida que aumenta o nível de luz, as plantas começam a absorver CO<sub>2</sub>. No ponto de compensação da luz, os ganhos fotossintéticos correspondem exatamente às perdas respiratórias. Além desse ponto, quanto mais luz estiver disponível para a captura, maior é a taxa fotossintética, que cresce até atingir um ponto de saturação na maioria das espécies (GUREVITCH; SCHEINER; FOX, 2009). De acordo com Gurevitch, Scheiner e Fox (2009), o ponto de compensação de luz pode diferir entre as espécies vegetais que vivem em partes diferentes do ambiente ou em um determinado habitat. Ele pode diferir até entre as plantas individualmente, dependendo da estrutura e dos constituintes bioquímicos das folhas.

Estudos nesse sentido são importantes para a caracterização das espécies, pois podem indicar plasticidade fenotípica ou uma possível aclimação de alguns genótipos às condições adversas que ocorrem no ambiente. Essas são características de genótipos estáveis e produtivos.

O objetivo geral desse trabalho foi caracterizar a morfofisiologia do alho cultivado nas condições edafoclimáticas de Curitiba, SC.

Os objetivos específicos foram estudar os tópicos a seguir, nos tratamentos cultivar, vernalização e época de cultivo:

- a) Caracterizar os elementos meteorológicos radiação solar e temperatura do ar;

- b) Determinar a espessura da célula epidérmica, parede celular com cutícula e parênquima paliçádico;
- c) Determinar a densidade estomática na lâmina foliar;
- d) Determinar o comprimento e largura do poro nos estômatos da lâmina foliar;
- e) Determinar o comprimento e largura do complexo estomático nos estômatos da lâmina foliar;
- f) Caracterizar o teor de clorofila *a*, *b* e carotenóides totais nos tecidos da lâmina foliar;
- g) Caracterizar a Taxa máxima de fotossíntese líquida, ponto de compensação de luz, respiração no escuro e eficiência quântica aparente ( $\Phi_a$ ) em plantas de alho.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento de campo foi realizado durante os ciclos produtivos de 2014, 2015 e 2016, na área experimental da Universidade Federal de Santa Catarina, em Curitibanos, SC (27°16'25''S e 50°30'12''W, altitude de 993 m). Curitibanos está localizado na Mesorregião Serrana do estado de Santa Catarina e apresenta clima Cfb - subtropical úmido com verões amenos, segundo a classificação de Köppen (Alvares et al., 2013). Sendo a precipitação média anual em torno de 1.480 mm, temperatura máxima média de 22,0°C e mínima média de 12,4°C (EMBRAPA, 2011).

O solo da área Experimental é classificado como Nitossolo Bruno Distroférrico (EMBRAPA, 2004).

Foram utilizadas três cultivares de alho nobre: Ito (ciclo precoce), Chonan (ciclo semi-precoce) e San Valentin (ciclo tardio), cultivadas em diferentes épocas de plantio, sendo quatro épocas no ano de 2014 (E1 = 30/05; E2 = 21/06; E3 = 28/07 e E4 = 12/09), quatro épocas no ano de 2015 (E1 = 16/05; E2 = 19/06; E3 = 03/08 e E4 = 12/09) e duas épocas no ano de 2016 (E1 = 20/06 e E2 = 22/07) de modo a expor as plantas a diferentes condições térmicas e fotoperiódicas.

O cultivo e manejo das plantas foram realizados conforme as recomendações técnicas para a cultura do alho (LUCINI, 2004) sendo conduzida em canteiros em sistema de fileiras duplas. Para o plantio foram utilizados bulbo-sementes vernalizados em câmara fria a 4,2 °C durante 20 dias. E os não vernalizados permaneceram a temperatura ambiente até a data de plantio.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados com parcelas subdivididas, totalizando 96 unidades experimentais (UEs) em 2014 e 2015 (4 épocas de plantio na parcela x 3 cultivares na subparcela x 2 vernalizações x 4 repetições) e 24 UEs em 2016 (2 épocas de plantio na parcela x 3 cultivares na subparcela x 4 repetições).

Os elementos meteorológicos de radiação solar global e temperatura do ar foram obtidos com frequência horária, durante os anos de ciclo produtivo da cultura, em estação meteorológica automática (Marca Davis Instruments, modelo Vantage Pro2) localizada próxima da área experimental.

As avaliações referentes à anatomia foliar foram realizadas durante o crescimento do bulbo. O estudo anatômico das folhas de alho foi desenvolvido em Laboratório de Biotecnologia e Morfofisiologia Vegetal da UFSC/Curitibanos. Foram coletadas folhas sadias

e totalmente expandidas, essas foram cortadas em três partes com 0,5 cm<sup>2</sup>, sendo utilizada a parte mediana da folha, as quais foram colocadas em frascos de reagentes, mergulhadas em FAA70 por 48 horas. Após, foram desidratados em série alcoólica-etílica, mergulhadas por 30 minutos em concentrações de 70%, 80%, 90%, 96%, 100% e 100%. Logo após a desidratação as amostras foram infiltradas em parafina. Para a infiltração em parafina, segundo Johansen (1940), o material após a desidratação, passou por xilol (2 vezes) por 30 minutos e xilol/parafina (1:1) durante 8 horas em estufa a 58°C, foram montados blocos com parafina pura, os quais foram seccionados em micrótomo de rotação, modelo Leica RM 2125, com cortes de 8 µm de espessura. Foi utilizado o Adesivo de Bissing (Bissing, 1974) para fixação das secções sobre a lâmina. As secções foram distendidas sobre chapa aquecedora a 40°C. Após a secagem das lâminas foi feita a coloração com safranina/fast-green, e posteriormente, montadas entre lâminas-lamínula com bálsamo do Canadá sintético. A observação e documentação foram realizadas e fotomicrografadas com microscópio óptico, modelo Olympus BX 53, equipado com fotoautomático, câmera modelo DP 73. Foram feitas imagens com o programa Toup View 3.7. A partir das imagens, foram efetuadas as medições de espessura da célula epidérmica adaxial, parede celular e cutícula e parênquima paliçádico. As medidas foram aferidas com escala micrométrica, de modo a apresentar os resultados em micrômetros.

Para estudo dos estômatos foram coletadas folhas saudáveis totalmente expandidas, entre 80-120 dias após o plantio. A análise foi feita em oito folhas de cada um dos tratamentos. As folhas foram cortadas em três quadrados grandes, sendo utilizada a parte mediana da folha, sobre a qual se aplicou esmalte na face adaxial das folhas, que permaneceram sobre uma bandeja até a secagem natural, em seguida as folhas foram colocadas sobre a mesa e foi retirada a película com a estampa dos estômatos. Essa película foi fixada entre lâmina-lamínula com duas gotas de água. A contagem do número de estômatos por área foi feita em microscópio óptico, sobre área delimitada de 20.000 µm<sup>2</sup>, padronizada na objetiva de 10x. A determinação das dimensões do complexo estomático foi feita considerando o comprimento (eixo longitudinal) e largura (eixo transversal), quando em vista frontal da superfície epidérmica. Para a determinação das dimensões do poro também foi considerado o eixo longitudinal e o transversal. Para as medições, as imagens foram projetadas, com auxílio de uma câmera acoplada ao microscópio óptico, com auxílio do software Cellsens Standard (Olympus®).

Para determinação de clorofilas e carotenóides foram coletadas duas folhas totalmente expandidas e sadias por tratamento dentro de quatro repetições, totalizando oito folhas por tratamento, nas épocas 1 e 2 dos anos de 2015 e 2016. Essas coletas foram realizadas quando as plantas de alho estavam no período de formação do bulbo (80-120 dias após o plantio), Após a coleta, as folhas foram levadas para o Laboratório de Ecologia e Morfofisiologia Vegetal da UFSC/Curitibanos. Essas foram cortadas em três partes, sendo utilizada a parte mediana da folha, as quais foram cortadas em tamanhos de 0,5 cm<sup>2</sup>. Determinou-se a massa das amostras de 100 mg de folhas frescas, estas foram incubadas em banho-maria com 7 mL de dimetilsulfóxido (DMSO) por duas horas a 65 °C, sem maceração. Após filtragem, o volume total foi corrigido para 10 mL. Os valores foram obtidos por meio de espectrofotometria considerando-se a densidade ótica medida a 480 nm, 649 nm e 665 nm, conforme descrito por Hiscox e Israelstam (1979). Foram utilizadas as fórmulas de Wellburn (1994), sendo os dados expressos em µg/ml:

$$\text{Clorofila A} = [12,19*(A_{665}) - 3,45*(A_{649})]; \quad \text{Clorofila B} = [21,99*(A_{649}) - 5,32*(A_{665})];$$

$$\text{Clorofila Total} = \text{Clorofila } a + \text{Clorofila } b;$$

$$\text{Carotenóides totais} = [1.000*(A_{480}) - 2,14*(\text{Chl } a) - 70,16*(\text{chl } b)]/220.$$

Para caracterização fotossintética das plantas de alho, em cada tratamento, foram utilizadas folhas sadias, totalmente expandidas e expostas à radiação solar para determinações de taxa fotossintética líquida. A taxa fotossintética líquida foi determinada com um equipamento multiusuário, o Conjunto analisador de fotossíntese, modelo LI 6400 XT da marca LI-COR. As medições foram realizadas com uma fonte luminosa artificial, sendo cada folha submetida a fluxos de radiação fotossinteticamente ativa incidente (RFA) de 0, 25, 50, 75, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 800, 1000, 1200, 1500 e 2000 µmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>. Para expressar a taxa fotossinteticamente líquida em resposta à radiação fotossinteticamente ativa (RFA) foi ajustada uma função polinomial hiperbólica:  $A = a + (A_{N_{\max}} \times \text{RFA}) / (b + \text{RFA})$ , sendo  $a$  respiração no escuro,  $A_{N_{\max}}$  taxa máxima fotossintética líquida e  $b$  coeficiente de ajuste da equação. O ponto de compensação de luz ( $I_c$ ) corresponde ao valor de RFA em que  $A$  é igual à zero. A eficiência quântica aparente ( $\Phi_a$ ) foi estimada pelo ajuste de uma equação linear, na faixa em que a variação de  $A$  em função RFA é linear.



Na Tabela 1 podem ser visualizadas todas as avaliações realizadas em função dos fatores ano, cultivar, vernalização e época de cultivo.

**Tabela 1.** Características das análises avaliadas nas cultivares de alho Ito, Chonan e San Valentin para os fatores ano, data de coleta e vernalização.

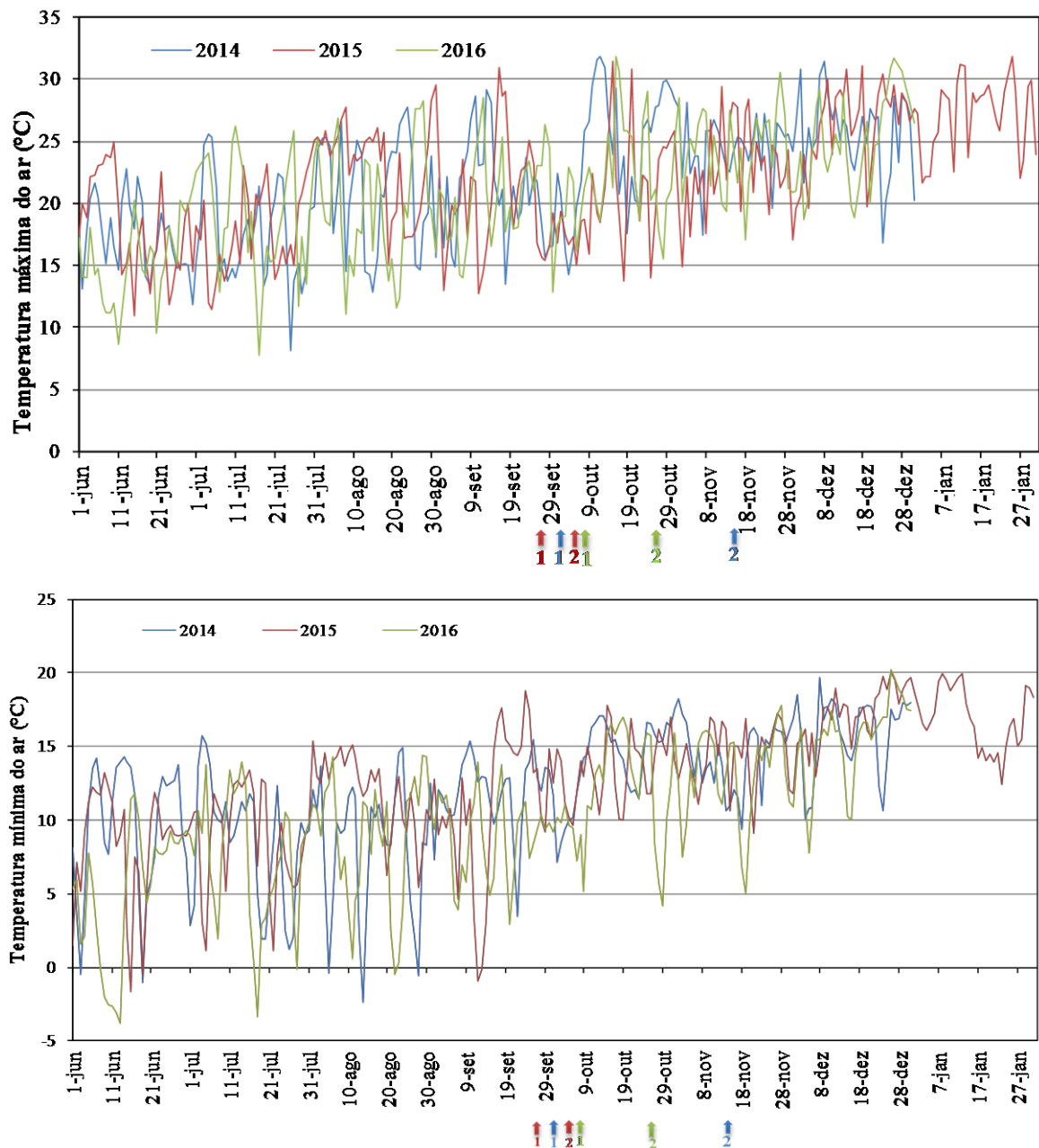
Características analisadas	Fatores Analisados		
	Ano	Data de coleta	Vernalização
Anatomia foliar	2015	02/out	Com; Sem
		09/out	
Clorofila e Carotenóides	2015	02/out	Com; Sem
		09/out	
	2016	28/out	Com
Fotossíntese	2014	07/out	Com
		14/Nov	
	2016	21/out	

As análises estatísticas foram realizadas a partir do programa Assistat, submetidos à análise de variância (ANOVA) para a comparação das médias através do teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro. Realizaram-se os testes de normalidade dos dados e quando necessárias foram feitas as devidas transformações. Foi usado o quadrado médio do erro para indicar o menor e maior influência dos fatores.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

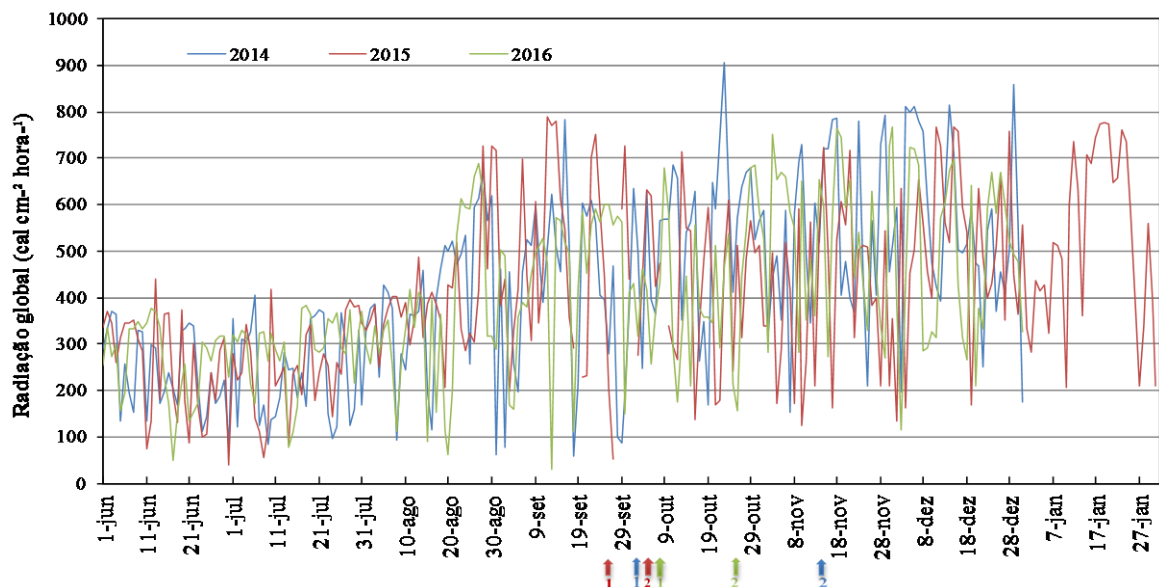
#### Elementos Meteorológicos

As temperaturas do ar foram similares em 2014 e 2015, sendo que 2016 essas foram inferiores, em média, 2°C (Figura 1).



**Figura 1.** Valores diários de temperatura máxima e temperatura mínima do ar medidos no período experimental de cultivo de alho em 2014, 2015 e 2016 em Curitibanos, SC. As setas indicam o período médio de formação do bulbo, considerando as épocas 1 (nº 1 na cor azul = formação do bulbo em 2014; cor vermelha = formação do bulbo em 2015; cor verde = formação do bulbo em 2016) e época 2 (nº 2 na cor azul = formação do bulbo em 2014; cor vermelha = formação do bulbo em 2015; cor verde = formação do bulbo em 2016).

A quantidade total de radiação disponível no ciclo total da cultura foi 11% maior em 2014 em comparação a 2015 e 2016 (Figura 2). No período de diferenciação e formação do bulbo do alho, observou-se que em 2014 houve 24,5% mais disponibilidade de radiação que 2015 e 17% mais que 2016. No ano de 2015, a formação dos bulbos foi precária, formando bulbos pequenos e com problemas de chochamento. Ano caracterizado pela ocorrência do El Niño forte, caracterizado por maior nebulosidade, maiores volumes de chuva e, conseqüentemente, menor incidência de radiação solar direta e menores temperaturas do ar (CPTEC, 2015).



**Figura 2.** Valores diários de radiação solar global medidos no período experimental de cultivo de alho em 2014, 2015 e 2016 em Curitibaanos, SC. As setas indicam o período médio de formação do bulbo, considerando as épocas 1 (nº 1 na cor azul = formação do bulbo em 2014; cor vermelha = formação do bulbo em 2015; cor verde = formação do bulbo em 2016) e época 2 (nº 2 na cor azul = formação do bulbo em 2014; cor vermelha = formação do bulbo em 2015; cor verde = formação do bulbo em 2016).

### Anatomia Foliar

Na Tabela 2 observa-se que houve interação significativa entre cultivar\*vernalização\*época de cultivo para a espessura da parede celular.

**Tabela 2.** Valores de quadrado médio do quadro de análise de variância para diferentes parâmetros da anatomia foliar de plantas de alho.

Fonte de variação	Quadrado médio		
	CE	PCC	PP
Cultivar (A)	85,29**	1,76	260,07
Vernalização (B)	23,24	5,18*	20,32
Época (C)	9,43	0,74	20,35
A x B	0,13*	0,06	865,10**
A x C	21,13	0,62	76,09
B x C	0,06	2,21	518,50
A x B x C	4,90	1,95*	166,03
Coefficiente de variação (%)	13,24	17,02	15,88

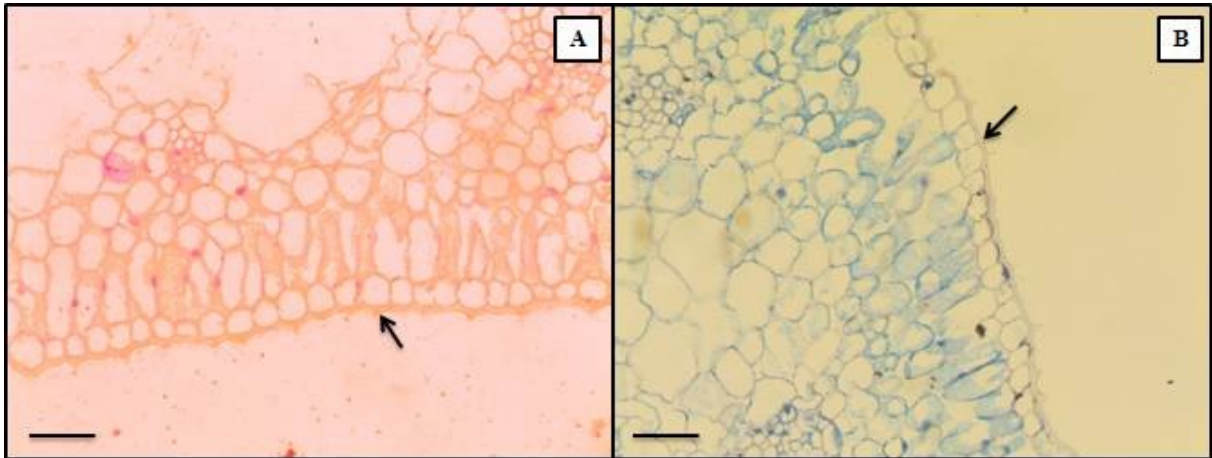
\*\* significativo a 1% e \* significativo a 5% de probabilidade, CE = Espessura da célula epidérmica, PCC = Espessura da parede celular com cutícula, PP = Espessura do parênquima paliçádico.

Identificou-se que, nos tratamentos com vernalização dos bulbos, os valores da espessura da parede celular são significativamente maiores na época 1 de cultivo para cultivar San Valentin que em comparação ao tratamento sem vernalização (Tabela 3; Figura 3).

**Tabela 3.** Espessura da parede celular com cutícula ( $\mu\text{m}$ ) da face adaxial, em folhas das cultivares de alho nobre Ito, Chonan e San Valentin, cultivadas em duas épocas de plantio, com e sem vernalização, em 2015.

Cultivar	Época			
	1		2	
	Com	Sem	Com	Sem
Ito	5,13 Aa	4,59 Aa	4,62 Aa	4,39 Aab
Chonan	4,59 Aa	4,18 Aa	4,45 Aa	3,84 Ab
San Valentin	5,02Aa	3,91 Ba	4,39 Aba	4,79 Aba

Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna quando distintas indicam diferença significativa pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.



**Figura 3.** Vistas frontais da superfície adaxial das folhas de alho da cultivar San Valentin época 1, com vernalização (A) e sem vernalização (B). Setas indicam parede celular com cutícula. Barra = 50  $\mu\text{m}$ .

Segundo Dickison (2000), a parede celular tem a função de conferir resistência às ações mecânicas do vento e impedir que as folhas se dobrem. A cutícula tem a função de refletir a luz solar quando em excesso, e quanto mais espessa maior é seu poder de refletância. Um aumento na espessura da célula epidérmica e cutícula pode conferir maior proteção à folha contra os raios solares, e manter a temperatura em níveis ótimos para o processo da fotossíntese (DICKISON, 2000). O aumento da espessura da epiderme representa adaptação estrutural para minimizar o efeito da radiação solar (MARKESTEIJN et al., 2007) e constitui um parâmetro importante na adaptação de uma planta à variação na intensidade da luz (ROZENDAAL et al., 2006; SARIJEVA et al., 2007). Neste sentido, a cultivar San Valentin quando submetida à vernalização, ou seja, a um estresse térmico, pode estar modificando sua parede celular.

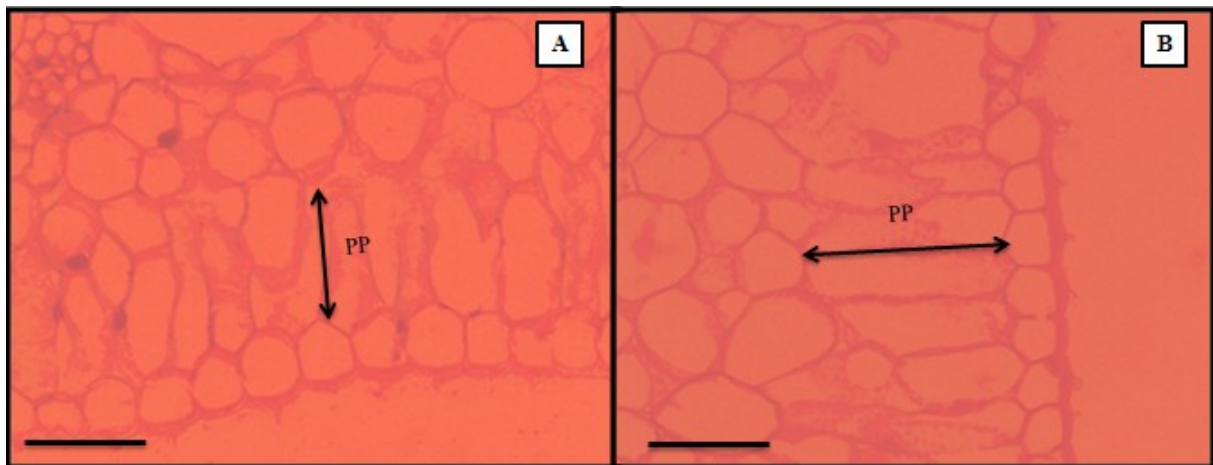
Para os parâmetros de espessura da célula epidérmica e parênquima paliçádico, observou-se que houve interação significativa entre cultivar\*vernalização, sendo que a cultivar teve maior influência que a vernalização. A época de cultivo não foi significativa (Tabela 2). A epiderme é um tecido com funções múltiplas, dentre elas atua como uma barreira para a penetração da luz solar (JAVELLE et al., 2011).

A cultivar San Valentin sem vernalização apresentou a maior espessura do parênquima paliçádico (79,99  $\mu\text{m}$ ) comparado com vernalização (68,47  $\mu\text{m}$ ). (Tabela 4; Figura 4).

**Tabela 4.** Espessura da célula epidérmica e do parênquima paliçádico ( $\mu\text{m}$ ) da face adaxial, em folhas das cultivares de alho nobre Ito, Chonan e San Valentin com e sem vernalização, em 2015.

Cultivar	Vernalização	
	Com	Sem
<b>Espessura da Célula Epidérmica (<math>\mu\text{m}</math>)</b>		
Ito	22,22 Ab	21,21 Ab
Chonan	25,03 Aa	24,21 Aa
San Valentin	23,85 Aab	23,03 Aab
<b>Espessura do Parênquima Paliçádico (<math>\mu\text{m}</math>)</b>		
Ito	71,66 Aa	67,91 Ab
Chonan	76,83 Aa	71,52 Aab
San Valentin	68,47 Ba	79,99 Aa

Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna quando distintas indicam diferença significativa pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.



**Figura 4.** Vista frontal da superfície adaxial de folhas de alho da cultivar San Valentin com vernalização (A) e sem vernalização (B). Legenda: PP = Espessura do parênquima paliçádico. Barra = 50  $\mu\text{m}$ .

Em algumas espécies a lâmina foliar mais espessa do parênquima paliçádico promove maior eficiência no uso da água, e menor transpiração sob alta incidência de radiação solar (DICKISON, 2000). O expressivo aumento do parênquima paliçádico indica uma estratégia da folha em capturar mais luz nas espécies de crescimento e desenvolvimento na sombra (EVANS e POORTER, 2001). Conforme Novelli et al. (2015), o aumento do número de camadas do parênquima paliçádico é proporcionado com o aumento da luminosidade.

As observações feitas nas folhas de alho nesse experimento por meio de microscopia de luz mostram a localização dos estômatos e sua estrutura (Figura 6).



**Figura 5.** Imagem ilustrativa da vista frontal da superfície adaxial da folha de alho, onde estão localizados os estômatos. Setas indicam os estômatos e suas partes estruturais (comprimento e largura do poro estomático e, comprimento e largura do complexo estomático).

Para os parâmetros densidade estomática, comprimento do poro estomático, comprimento e largura do complexo estomático observa-se interação tripla entre os fatores cultivar\*vernalização\*época (Tabela 5). A vernalização foi o fator com maior efeito sobre a densidade estomática, e quando interage com época a variação é ainda maior.

**Tabela 5.** Valores de quadrado médio do quadro de análise de variância para diferentes parâmetros da anatomia foliar.

Fonte de variação	Quadrado médio				
	DE	CP	LP	CC	LC
Cultivar (A)	24,13*	45,24	174,51**	113,21**	2,43*
Vernalização (B)	411,73**	3,52	10,69*	28,52	0,39*
Época (C)	9,66	526,01**	3,74	809,43**	0,72**
A x B	9,47	191,37**	8,18*	119,90**	0,25
A x C	30,01**	151,41**	22,65**	146,86**	0,62**
B x C	304,33**	194,06**	3,35	151,56**	0,03
A x B x C	193,41**	107,28**	1,41	137,70**	0,66**
Coeficiente de variação (%)	14,38	13,86	25,79	10,86	7,58

\*\* significativo a 1% e \* significativo a 5% de probabilidade, DE = densidade estomática, CP = comprimento do poro, LP = largura do poro, CC = comprimento do complexo estomático, LC = largura do complexo estomático.

Para comprimento do poro estomático e comprimento do complexo estomático o fator que mais influenciou foi a época de cultivo. Para a largura do complexo estomático observou-se maior efeito das cultivares (Tabela 5).

Observa-se maior densidade estomática na cultivar Ito e Chonan sem vernalização na época 2 de cultivo (19,36 e 21,56  $\mu\text{m}^2$ ) e a menor na cultivar Ito com vernalização na época 2 (14,13  $\mu\text{m}^2$ ). Verifica-se que tanto para comprimento do poro, quanto comprimento e largura do complexo estomático a cultivar Ito apresentou os maiores valores com e sem vernalização na época 2 (Tabela 6). O aumento da densidade estomática em plantas cultivadas sob alta intensidade luminosa é um mecanismo de adaptação para otimizar as trocas gasosas e aumentar a atividade fotossintética (SCHLUETER et al., 2003). De acordo com Hetherington e Woodward (2003), alterações morfológicas nos poros estomáticos podem estar associadas com o aumento da condutância estomática nas folhas, com exposição ao excesso de radiação solar, como uma estratégia para aumentar a eficiência da transpiração e reduzir a temperatura da folha.

**Tabela 6.** Densidade estomática ( $\mu\text{m}^2$ ), Comprimento e largura do poro estomático ( $\mu\text{m}$ ) e Comprimento e largura do complexo estomático ( $\mu\text{m}$ ) da face adaxial, em folhas das cultivares de alho nobre Ito, Chonan e San Valentin cultivadas em duas épocas de plantio, com e sem vernalização, ano 2015.

Cultivar	Época			
	1		2	
	Com	Sem	Com	Sem
<b>Densidade estomática (<math>\mu\text{m}^2</math>)</b>				
Ito	17,26 Bab	17,60 Bab	14,13 Cb	19,36 Ab
Chonan	18,36 Ba	16,23 Cb	15,66 Cb	21,56 Aa
San Valentin	16,29 Bb	18,90 Aa	17,50 Aba	18,30 Ab
<b>Comprimento do Poro estomático (<math>\mu\text{m}</math>)</b>				
Ito	26,50 Ba	25,22 Bb	31,40 Aa	29,28 Aa
Chonan	28,09 Aa	26,81 Ab	28,45 Ab	26,50 Ab
San Valentin	24,13 Bb	30,50 Aa	30,53 Aab	29,60 Aa
<b>Comprimento do Complexo Estomático (<math>\mu\text{m}</math>)</b>				
Ito	35,69 Bb	35,50 Bb	41,84 Aa	39,91 Aab
Chonan	38,84 Aa	35,98 Bb	39,11 Ab	37,44 ABb
San Valentin	35,63 Bb	40,89 Aa	42,10 Aa	40,12 Aa
<b>Largura do Complexo Estomático (<math>\mu\text{m}</math>)</b>				
Ito	17,7 Bab	18,36 Aba	20,20 Aa	19,85 Aa
Chonan	18,67 Aa	15,86 Bb	17,98 Ab	18,36 Aa
San Valentin	16,89 Ab	16,86 Aab	16,94 Ab	15,71 Ab

Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna quando distintas indicam diferença significativa pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.



Para o parâmetro de largura do poro houve interação dupla significativa entre cultivar\*vernalização e cultivar\*época, sendo que a cultivar teve maior influência nessa característica (Tabela 5).

San Valentin apresentou a menor largura de poro em ambas às interações, cultivar\*vernalização e cultivar\*época. Entre as cultivares, Ito apresentou a maior largura do poro no tratamento com vernalização (7,51  $\mu\text{m}$ ), e entre época, teve o maior valor na época 2 de cultivo (7,78  $\mu\text{m}$ ) (Tabela 7). Segundo Dickison (2000), a quantidade, a distribuição, o tamanho e o formato dos estômatos são características particulares a cada espécie e podem ou não ser modificadas em função das adaptações às condições ambientais, como a disponibilidade de radiação solar. Conforme Custódio et al. (2016) plantas de abacaxi em condições de sombreamento de plantas de mandioca apresentam menor densidade estomática e menor dimensão do poro estomático. De acordo com Boeger e Wisniewski (2003), estômatos maiores associados com uma menor densidade estomática podem indicar uma melhor adaptação às condições de uma alta disponibilidade de água, e menor radiação solar. Larcher (2000) comenta que a densidade estomática influencia na transpiração, um aumento da densidade, ou no tamanho dos estômatos pode tanto levar a um aumento quanto a uma diminuição da transpiração, dependendo da estratégia utilizada pela planta.

**Tabela 7.** Largura do poro estomático ( $\mu\text{m}$ ) da face adaxial, em folhas das cultivares de alho nobre Ito, Chonan e San Valentin com e sem vernalização e duas épocas de plantio, ano 2015.

Cultivar	Largura do Poro ( $\mu\text{m}$ )	
	Vernalização	
	Com	Sem
Ito	7,51 Aa	7,13 Aa
Chonan	6,45 Ab	6,64 Aa
San Valentin	5,38 Ac	4,53 Bb
Cultivar	Época	
	1	2
	Ito	6,86 Ba
Chonan	6,31 Aa	6,78 Ab
San Valentin	5,34 Ab	4,57 Bc

Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna quando distintas indicam diferença significativa pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

### Fisiologia

No ano de 2015 observou-se que houve interação tripla significativa entre cultivar\*vernalização\*época de cultivo, indicando que essas características são influenciadas

por uma série de fatores interligados (MACEDO; SILVA; SILVA, 2009). Essa interação variou principalmente em função da cultivar seguida do efeito da vernalização (Tabela 8). Por exemplo, a cultivar Ito com vernalização apresentou maior valor de clorofila total comparada ao não vernalizado (Tabela 9). No entanto, para teor de carotenóides observou-se que, praticamente, não houve influência da vernalização, sendo que as diferenças estão mais relacionadas a cultivar e época de plantio (Tabela 8).

**Tabela 8.** Valores do quadrado médio do quadro de análises da variância para teores de clorofilas e carotenóides de folhas de alho.

Fonte de variação	Quadrado médio			
	CloA	CloB	CloT	CarT
2015				
Cultivar (A)	30,10**	3,46**	54,62**	1,26**
Vernalização (B)	30,24**	2,64**	51,70**	0,00
Época (C)	0,26	2,40**	4,21*	1,14**
A x B	1,80*	0,90	1,13	0,45**
A x C	2,10**	0,28	2,85*	0,60**
B x C	6,10**	3,31	10,33**	0,98**
A x B x C	1,79*	3,23*	4,68**	1,79**
Coefficiente de variação (%)	11,07	23,71	11,26	12,42
2016				
Cultivar (A)	1,04	0,34	15,56	0,19*
Época (B)	23,23**	0,53	0,61	0,83**
A x B	11,98*	0,53	73,28*	0,16*
Coefficiente de variação (%)	26,87	29,6	34,54	24,30

\*\* significativo a 1% e \* significativo a 5% de probabilidade, CloA = clorofila A, CloB = clorofila B, CloT = clorofila total, CarT = carotenóides totais.

**Tabela 9.** Teores de clorofila *a*, *b*, total e carotenóides totais ( $\mu\text{g/ml}$ ) das cultivares de alho nobre Ito, Chonan e San Valentin, cultivadas em duas épocas de plantio com e sem vernalização, em 2015.

Cultivar	Época			
	1		2	
	Com	Sem	Com	Sem
<b>Clorofila A (<math>\mu\text{g/ml}</math>)</b>				
Ito	6,18 Aa	4,36 Bb	7,18 Ab	4,98 Ba
Chonan	6,74 Ba	6,62 Ba	8,14 Aa	5,38 Ca
San Valentin	4,72 Ab	4,32 ABb	4,64 Ac	3,42 Bb
<b>Clorofila B (<math>\mu\text{g/ml}</math>)</b>				
Ito	1,94 Aba	1,50 Bab	2,28 Aab	1,94 Aba
Chonan	1,80 Ba	2,16 Ba	2,92 Aa	2,06 Ba
San Valentin	1,54 Aba	0,98 Bb	1,90 Ab	1,22 ABb
<b>Clorofila total (<math>\mu\text{g/ml}</math>)</b>				
Ito	8,12 Aba	5,84 Cb	9,46 Ab	6,96 BCa
Chonan	8,54 Ba	8,76 Ba	11,10 Aa	7,46 Ba
San Valentin	6,32 Ab	5,30 ABb	6,50 Ac	4,58 Bb
<b>Carotenóides totais (<math>\mu\text{g/ml}</math>)</b>				
Ito	1,08 BCb	0,76 Cc	1,26 Bb	1,88 Aa
Chonan	2,24 Aa	1,20 Cb	1,48 Cb	1,88 Ba
San Valentin	1,22 Bb	1,88 Aa	1,86 Aa	1,68 Aa

Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna quando distintas indicam diferença significativa pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Quanto aos teores de clorofila A, total e carotenóides no ano de cultivo 2016 observou-se interação dupla entre os fatores analisados, cultivar\*época de plantio (Tabela 8). Para clorofila A e carotenóides, a época teve maior interferência nos resultados. Essa interação resulta na resposta diferencial das cultivares à variação do ambiente, de acordo com a época de cultivo. Para carotenóides o resultado foi similar ao cultivo de 2015, confirmando-se que a resposta dos genótipos varia com a época de plantio, pois conforme a época de desenvolvimento tem-se condições ambientais diferentes e o resultado é expresso conforme a adaptação daquela cultivar a variação ambiental, bem como a data de plantio de uma cultivar não seja a mesma para outra (CRUZ e REGAZZI, 1997).

Quanto ao teor de clorofila B não observou-se influencia dos fatores cultivar e época de cultivo (Tabela 8).

A cultivar Chonan apresentou os maiores valores de clorofila A, total e carotenóides na época 1 em comparação a época 2 de cultivo (Tabela 10).

**Tabela 10.** Teores de clorofila *a*, *b*, total e carotenóides totais ( $\mu\text{g/ml}$ ) das cultivares de alho nobre Ito, Chonan e San Valentin, cultivadas em duas épocas de plantio em 2016.

Época	Cultivar		
	Ito	Chonan	San Valentin
<b>Clorofila A (<math>\mu\text{g/ml}</math>)</b>			
1	6,42 Aa	8,16 Aa	6,70 Aa
2	6,72 Aa	3,90 Ab	5,18 Aa
<b>Clorofila B (<math>\mu\text{g/ml}</math>)</b>			
1	1,46 <sup>ns</sup>	2,16	1,66
2	1,70	1,50	1,28
<b>Clorofila total (<math>\mu\text{g/ml}</math>)</b>			
1	2,70 Bb	10,32 Aa	8,34 Aa
2	8,44 Aa	5,58 Ab	6,48 Aa
<b>Carotenóides totais (<math>\mu\text{g/ml}</math>)</b>			
1	0,92 Aa	1,20 Aa	0,92 Aa
2	0,88 Aa	0,70 ABb	0,64 Bb

<sup>ns</sup> Não significativo. Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna quando distintas indicam diferença significativa pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Para a caracterização de parâmetros relacionados à fotossíntese das plantas de alho, observou-se que, para a taxa máxima de fotossíntese líquida e eficiência quântica aparente, não houve diferença significativa entre as cultivares Ito, Chonan e San Valentin nas diferentes épocas avaliadas. Também não observou diferença significativa nas avaliações (Out/2014 e Nov/2014), para os parâmetros ponto de compensação de luz e respiração no escuro (Tabela 11).

Na avaliação (Out/2016) foi observada diferença significativa entre a cultivar San Valentin comparado com a cultivar Chonan e Ito, nas variáveis ponto de compensação de luz e respiração no escuro, esta apresentando os maiores valores ( $45,7 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ;  $-4,0 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), respectivamente (Tabela 11). Entretanto, a cultivar San Valentin necessita de maior quantidade de luz para fazer fotossíntese em relação às demais cultivares, para atingir o ponto de compensação de luz e maximizar seu crescimento. De certo modo, pode ser mais afetada com condições de baixa radiação solar.

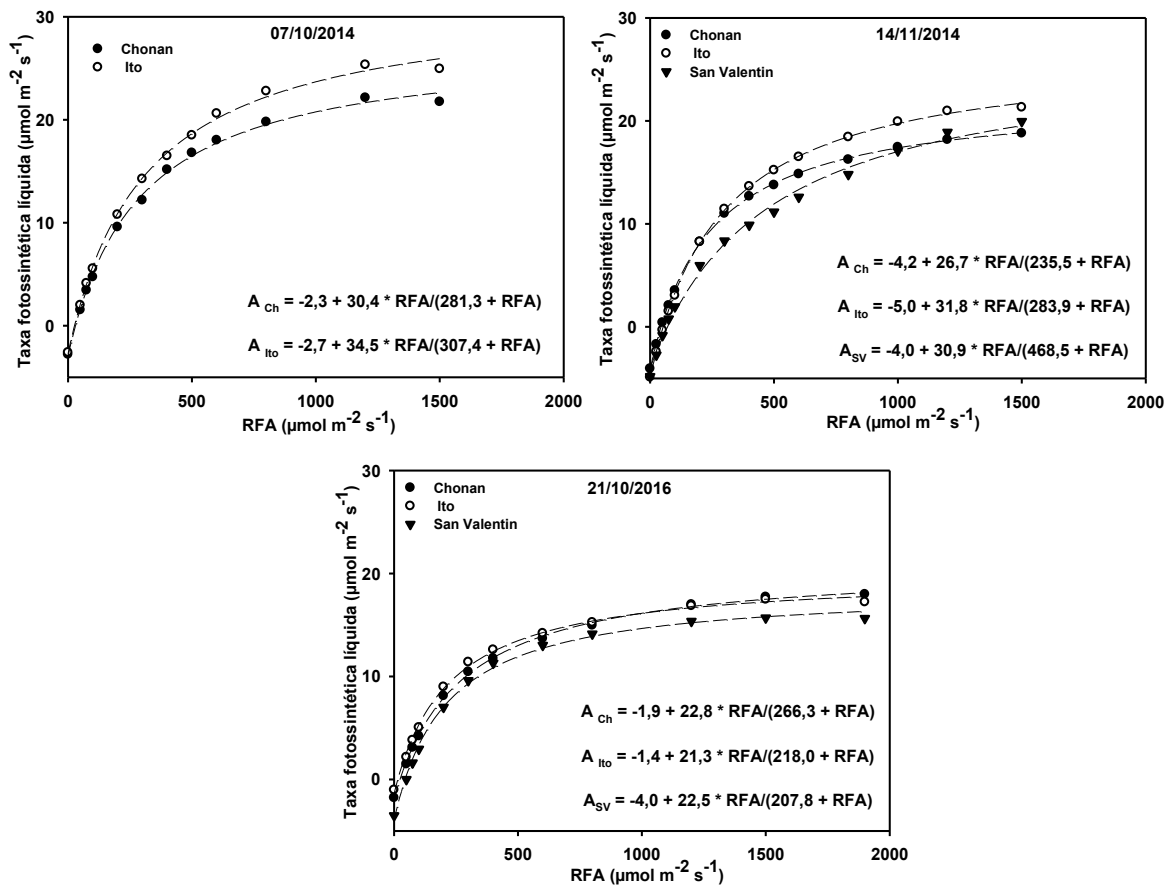
**Tabela 11.** Taxa máxima de fotossíntese líquida ( $A_{N\text{máx}}$ ;  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), ponto de compensação de luz ( $\Gamma$ ;  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), respiração no escuro ( $R_e$ ;  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), eficiência quântica aparente ( $\Phi_a$ ) em plantas de alho.

Cultivares	Out/14			
	$A_{N\text{máx}}$	$\Gamma$	$R_e$	$\Phi_a$
Chonan	30,93 <sup>ns</sup>	30,00 <sup>ns</sup>	-2,93 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>
Ito	34,73	26,5	-2,76	0,07
San Valentin	-	-	-	-
Nov/14				
Chonan	26,94 <sup>ns</sup>	47,75 <sup>ns</sup>	-4,25 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>
Ito	32,03	54,25	-5,03	0,08
San Valentin	33,45	66,5	-4,06	0,07
Nov/16				
Chonan	22,90 <sup>ns</sup>	24,25 b	-1,89 b	0,05 <sup>ns</sup>
Ito	21,42	14,50 b	-1,40 b	0,05
San Valentin	22,7	45,75 a	-4,01 a	0,05

- não existência dos tratamentos. <sup>ns</sup> Não significativo. Médias seguidas de letras distintas na coluna indicam diferença significativa pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

O aumento da intensidade luminosa através do fluxo de radiação fotossinteticamente ativa (RFA) acima do ponto de compensação resultou em um aumento da fotossíntese, produzindo uma linear entre o fluxo de fótons e a taxa fotossintética líquida. A maior taxa fotossintética determinada a partir dos fluxos de luz foi de 34,73  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  para a cultivar Ito em outubro de 2014 e a menor foi de 21,42  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  também para Ito em outubro de 2016. (Figura 6).

Pesquisas têm mostrado que a produção e distribuição de fotoassimilados na planta são influenciados pela quantidade e qualidade da luz capturada pela planta no dossel (HUNT et al., 1990; KASPERBAUER, 1998; MATHENY et al., 1992), assim como a quantidade da radiação fotossinteticamente ativa recebida pela planta. Contudo, a taxa fotossintética líquida das cultivares está relacionada com as condições ambientais de cada ano de cultivo.



**Figura 6.** Taxa fotossintética líquida referente a análises realizadas em 2014 e 2016 das cultivares Chonan (Ch; círculo preto), Ito (Ito; círculo branco), e San Valentin (SV; triângulo preto).

Diante dos resultados, verificou-se que os parâmetros analisados nesse trabalho, de maneira geral apresentaram plasticidade em relação aos fatores estudados, ou seja, existe uma forte interação entre eles atuando na anatomia e fisiologia das folhas de alho.

O ano de 2015 por ter ocorrido o fenômeno El Niño, com redução de radiação solar, as cultivares podem ter modificado suas estruturas para se adaptarem a essas condições, por exemplo, a cultivar San Valentin mostrou-se com maior espessura dos tecidos e parênquima paliádico, relacionado com o ponto de compensação de luz alto, que a cultivar apresentou. Pode indicar uma necessidade maior de radiação solar para atingir a fotossíntese, e também por possuir espessura mais grossa pode indicar uma estratégia em maximizar a captura de luz.

A cultivar San Valentin quando vernalizada apresentou um aumento da espessura da célula epidérmica, diminuição da espessura do parênquima paliádico e diminuição da densidade estomática comparado com folhas de plantas de alho sem vernalização. Portanto, observa-se maior plasticidade desta cultivar em relação ao estresse térmico (vernalização).

A densidade e dimensões do complexo estomático têm uma tendência de aumentar ou diminuir conforme a cultivar e época de plantio, visto que, a época esta correlacionada com o nível de radiação solar. Os teores de clorofila variam com a cultivar. Sendo carotenóides influenciados pela cultivar e época de plantio em ambos os anos de 2015 e 2016. E as características fotossintéticas variam com a cultivar e ano de cultivo.

#### 4 CONCLUSÕES

A espessura da célula epidérmica, parede celular com cutícula, parênquima paliçádico, densidade, comprimento do poro, comprimento e largura do complexo estomático e Clorofila estão relacionados com a interação entre os fatores cultivar, vernalização e época de plantio.

A cultivar San Valentin apresentou a maior espessura da parede celular no tratamento com vernalização e maior espessura do parênquima paliçádico e maior densidade estomática no tratamento sem vernalização. Apresentando alta plasticidade em relação ao efeito do estresse térmico.

O teor de carotenóides foi similar entre os anos de cultivos de 2015 e 2016, e está relacionado com a cultivar e época de plantio.

A cultivar San Valentin tem o maior valor de ponto de compensação de luz e respiração no escuro, indicando maior necessidade de radiação incidente para atingir a máxima taxa fotossintética.



## **Morphophysiology of garlic leaves cultivated in the edaphoclimatic conditions of Curitiba, SC.**

**Rafael França Pereira da Cruz**

### **Abstract**

Garlic is a plant grown in several regions of Brazil, however, it has few studies that characterize morphophysiological data in the literature. These data are interesting because they have a direct influence on the development of plants and consequently on productivity. The environment in which the plants are exposed may promote modifications in the anatomy and physiology of the leaves. The objective of this study was to characterize the morphophysiology of garlic cultivated under the edaphoclimatic conditions of Curitiba, SC. Field experiments were conducted in three years (2014, 2015 and 2016), with different planting times each year. Three cultivars of noble garlic, Ito, Chonan and San Valentin were used. The meteorological elements global solar radiation and air temperature were obtained in automatic weather station. The characterization of the leaf anatomy was determined through the preparation of slides, which were photomicrographed with an optical microscope and from the images the thickness measurements of the adaxial epidermal cell, cell wall and cuticle and palisade parenchyma were performed. The stomatal density, complex dimensions and stomatal pore were determined considering the length (longitudinal axis) and width (transverse axis), when in frontal view, of the epidermal surface. The characterization of plant physiology was performed by determination of chlorophyll and carotenoids and the photosynthetic rate. The determination of chlorophyll and carotenoids was done by means of leaf samples that were incubated in a water bath with dimethylsulfoxide for two hours at 65 ° C, followed by spectrophotometry considering the optical density measured at 480 nm, 649 nm and 665 nm. The net photosynthetic rate was determined with the LI 6400 XT photosynthetic analyzer. The thickness of the epidermal cell, cell wall with cuticle, palisade parenchyma, density, pore length, length and width of the stomatal complex and Chlorophyll are related to the interaction between the factors cultivar, vernalization and planting season. The cultivar San Valentin presents greater plasticity in relation to the effect of vernalization. The carotenoid content is similar between the crop years of 2015 and 2016, and is related to the cultivar and planting season. The cultivar San Valentin has the highest value of light compensation point and dark respiration, indicating greater need of incident radiation to reach the leaf maximum photosynthetic rate.

**Key-words:** *Allium sativum* L. Leaf anatomy. Cultivar. Planting season.

## REFERÊNCIAS

- ALBERTO, C. M. et al. Resposta à vernalização de cultivares brasileiras de trigo. **Bragantia**, v.68, n.2, p.535-543. 2009.
- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p.711-728, 2013.
- ARANDA, I.; BERGASA, L.F.; GIL, L. & PARDOS, J.A. Effects of relative irradiance on the leaf structure of *Fagus sylvatica* L. seedlings planted in the understory of a *Pinus sylvestris* L. stand after thinning. **Annals Forestry Sciences**, **58**: p.673-680. 2001.
- BATISTA, L. A. et al. Anatomia foliar e potencial hídrico na tolerância de cultivares de café ao estresse hídrico. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 03, p. 475-841, 2010.
- BISSING, D. R. Haupt's Gelatin Adhesive Mixed with Formalin for Affixing Paraffin Sections to Slides. **Stain Technology**, **49**: 116-7. 1974.
- BOEGER, M. R. T.; WISNIEWSKI, C. Comparação da morfologia foliar de espécies arbóreas de três estádios sucessionais distintos de floresta ombrófila densa (Floresta Atlântica) no Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**. v. 26, n. 01, p. 61-72, 2003.
- CARVALHO, R. F.; TAKAKI, M.; AZEVEDO, R. A. Plant pigments: the many faces of light perception. **Acta Physiologiae Plantarum**, Kraków, v. 33, n. 02, p. 241-248, 2010.
- CPTEC/INPE - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. Fenômeno El Niño se Intensifica sobre o Oceano Pacífico Equatorial. Disponível em: <<http://enos.cptec.inpe.br/>>. Acesso em: 15 out. 2015.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. Modelo biométrico aplicado ao melhoramento genético. **Editora UFV**. Viçosa. 390 p. 1997.
- CUSTÓDIO, R. A. et al. Morfoanatomia foliar e reprodutiva de abacaxizeiro consorciado com mandioca. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 32, n. 4, p. 839-848, July/Aug. 2016.
- CUTTER, E.G. **Plant Anatomy**. Part 1: Cells and tissues. London, William Clowes & Sons, Limited. 315 p. 1978.
- DICKISON, W. **Integrative Plant Anatomy**. Harcourt Academic Press. USA. 548p. 2000.
- DUZ, S. R.; SIMINSKI, A.; SANTOS, M.; PAULILO, M. T. Crescimento inicial de três espécies arbóreas da Floresta Atlântica em resposta à variação na quantidade de luz. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 27, n. 3, p. 587-596, 2004. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/s0100-84042004000300018>>. Acesso em: 30 de maio de 2017.
- EMBRAPA – **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Atlas climático da Região Sul do Brasil: Estados do Parana, Santa Catarina e Rio Grande do Sul**. Editores técnicos: Wreg. M.S.; Steinmetz. S.; Reisser. J. C.; Almeida. I.R. Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Colombo: Embrapa Florestas. 2011.

- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Solos do Estado de Santa Catarina. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**; n. 46. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004.
- ENGEL, V. L.; POGGIANI, F. Estudos da concentração de clorofila nas folhas e seu espectro de absorção de luz em função do sombreamento em mudas de quatro espécies florestais nativas. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**. v. 3, n. 01, p. 39-45, 1991.
- EVA NS, J. R.; POORTER, H. Photosynthetic acclimation of plants to growth irradiance: the relative importance of specific leaf area and nitrogen partitioning in maximizing carbon gain. **Plant, Cell and Environment**, Malden, v.24, p.755-767, 2001.
- FERMINO JUNIOR, P. C. P. Anatomia ecológica comparada de folhas de *Guapira opposita* (Vell.) Reitz (Nyctaginaceae) na vegetação de restinga e na Floresta Ombrófila Densa. **Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Biologia Vegetal da Universidade Federal de Santa Catarina**, Florianópolis, UFSC, 69 p., 2004.
- FILGUEIRA, Fernando Antonio Reis. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 3. ed. rev. e ampl. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2008.
- GIVNISH, T. J. Adaptation to sun and shade: a whole perspective. **Australian Journal of Plant Physiology**, **15**: p. 63-92. 1988.
- GUREVITCH, J.; SCHEINER, S. M.; FOX, G. A. Fotossíntese e Ambiente Luminoso. In: GUREVITCH, J.; SCHEINER, S. M.; FOX, G. A. **Ecologia Vegetal**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, Cap. 2. p. 17-41. 2009.
- HETHERINGTON, A. M.; WOODWARD, F. I. The role of stomata in sensing and driving environmental change. **Nature**, Lancaster, v. 424, p. 901-908, 2003.
- HISCOX, J. D. & ISRAESLTAN, G.F. A method for extratction of chlorophyll from leaf without maceration. **Canadian Journal of Botany**, **57 (12)**: 1332-1334p, 1979.
- HUNT, P. G.; MATHENY, T. A.; KASPERBAUER, M. J. Influence of Bradyrhizobium japonicum strain and far-red/red canopy light ratios on nodulation of soybeam. **Crop Science**, Madison, v. 30, n. 06, p. 1306-1308, 1990.
- JAVELLE, M.; VERNOUD, V.; ROGOWSKY, P.M.; INGRAM, G.C. Epidemis: the formation and functions of a fundamental plant tissue. **New Phytologist**, Lancaster, v.189, n.1, p.17-39, 2011.
- JOHANSEN, D.A. **Plant microtechnique**. New York, McGraw Hill Book Company, Inc. 523p., 1940.
- KASPERBAUER, M. J. Phytochrome regulation of morphogenesis in green plants: from the Beltsville spectrograph to colored mulch in the field. **Photochemistry and Photobiology**, Augusta, v. 56, n. 05, p. 823-832, 1992.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos, Rima Artes e Textos. 531p. 2000.

LUCINI, Marco Antônio. **Manual prático de produção de alho**. 2. ed. Curitiba. 138p. 2004.

MACÊDO F. S.; SILVA R. J. da; SILVA E. C. da. Exigências Climáticas. In: SOUZA R. J. D.; MACÊDO F. S. 2009. **Cultura do alho: técnicas modernas de produção**. Lavras, p. 29-38, 2009.

MARKESTEIJN, L.; POORTER, L.; BONGERS, F. Light-dependent leaf trait variation in 43 tropical dry forest tree species. **American Journal of Botany**. St. Louis v. 94, n. 4, p. 515–525, 2007. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.3732/ajb.94.4.515>>. Acesso em: 30 de maio de 2017.

MATHENY, T. A.; HUNT, P. G.; KASPERBAUER, M. J. Potato tuber productions in response to reflected light from different colored mulches. **Crop Science**, Madison, v. 32, n. 04, p. 1021-1024, 1992.

NOVELLI, D. S. et al. Morfoanatomia foliar de cupuaçuzeiros estabelecidos por diferentes métodos de propagação e sombreamento. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal - SP, v. 37, n. 4, p. 934-942, 2015.

RESENDE, G. M. de; PEREIRA, A. J. Importância Econômica. In: SOUZA R. J. D.; MACÊDO F. S. 2009. **Cultura do alho: técnicas modernas de produção**. Lavras, p. 11-18, 2009.

ROSA, R. **Caracterização fenológica da cultura do alho**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia). Universidade Federal de Santa Catarina, Curitiba. 2015. 55p.

ROZENDAAL, D. M. A.; HURTADO, V. H.; POORTER, L. Plasticity in leaf traits of 38 tropical tree species in response to light; relationships with light demand and adult stature. **Functional Ecology**, London, v. 20, n. 2, p. 207-216, 2006. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2435.2006.01105.x>>. Acesso em: 30 de maio de 2017.

SARIJEVA, G.; KNAPP, M.; LICHTENTHALER, H. K. Differences in photosynthetic activity, chlorophyll and carotenoid levels, and in chlorophyll fluorescence parameters in green sun and shade leaves of *Ginkgo* and *Fagus*. **Journal of Plant Physiology**, Ohio, v. 164, n. 7, p. 950 – 955, 2007.

SCHLUETER, U.; MUSCHAK, M.; BERGER, D.; ALTMANN, T. Photosynthetic performance of an *Arabidopsis* mutant with elevated stomatal density (*sdd1-1*) under different light regimes. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 54, n. 383, p. 867-874, 2003.

SILVA E. C. da; SILVA R. J. da. Botânica e Cultivares. In: SOUZA R. J. D.; MACÊDO F. S. 2009. **Cultura do alho: técnicas modernas de produção**. Lavras, p. 19-28, 2009.

SILVA, R. J. da; SILVA, E. C. da. Botânica e Cultivares. In: SOUZA R. J. D.; MACÊDO F. S. **Cultura do alho: técnicas modernas de produção**. Lavras, p. 19-27, 2009.

SOUZA, G. S. et al. Estrutura foliar e de cloroplastídeos em *Mikania laevigata* Shultz Bip. Ex Baker em diferentes condições de qualidade de luz. **Revista Brasileira de Biociência**, v. 05, p.78-80, 2007.

SOUZA, T. C. et al. Leaf plasticity in successive selection cycles of 'Saracura' maize in response to soil flooding. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 01, p. 16-24, 2010.