

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel
Programa de Pós-Graduação em Agronomia



Dissertação

**Resposta ao déficit hídrico e caracterização do sistema radicular de
genótipos de batata**

Tatieli Silveira

Pelotas, 2018

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

S587r Silveira, Tatieli

Resposta ao déficit hídrico e caracterização do sistema radicular de genótipos de batata/ Tatieli Silveira; Caroline Marques Castro, orientadora; Arione da Silva Pereira, coorientador. — Pelotas, 2018.

60 f. :il.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2018.

1. Solanum tuberosum L..2. Melhoria de plantas.3. Estresse hídrico. 4. Rizotron. I. Castro, Caroline Marques, orient. II. Pereira, Arione da Silva, coorient. III. Título.

CDD : 633.491

Elaborada por Gabriela Machado Lopes CRB: 10/1842

Tatieli Silveira

**Resposta ao déficit hídrico e caracterização do sistema
radicular de genótipos de batata**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências (área do conhecimento: Fitomelhoramento).

Orientadora: Caroline Marques Castro, Dr^a. – Embrapa Clima Temperado

Coorientador: Arione da Silva Pereira, PhD. – Embrapa Clima Temperado

Pelotas, 2018

Banca examinadora:

Dr^a Caroline Marques Castro (Presidente)

Dr^a. Rosa Lía Barbieri – Embrapa Clima Temperado

Dr. Sidnei Deuner – UFPel

Dr. Luciano Carlos de Maia - UFPel

Aos meus pais

Dedico

Agradecimentos

Agradeço ao Programa de Pós-graduação em Agronomia da UFPel, pela possibilidade de cursar o mestrado em Fitomelhoramento.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de mestrado, para a realização do mesmo. À Embrapa Clima Temperado pela infraestrutura fornecida para a realização dos experimentos, bem como às relações interpessoais permitidas, as quais possibilitaram intercâmbios intelectuais que contribuíram significativamente para o crescimento e desenvolvimento deste trabalho.

Muita gratidão à minha orientadora Caroline Marques Castro, primeiramente por ter me aceito como sua estagiária no final de 2015, um período muito importante e de interação com a possibilidade da realização do mestrado. Posteriormente pela orientação impecável, durante o mestrado e por me guiar durante todo este período, pela dedicação constante e pela amizade e confiança estabelecida.

Ao meu coorientador Arione da Silva Pereira, pela sua orientação em todo o processo, pela sua amizade e dedicação.

Ao pesquisador Giovani Greigh de Brito pelas grandiosas contribuições com informações e auxílio nas avaliações fisiológicas e de raízes, meu muitíssimo obrigada.

Ao pesquisador Carlos Reisser Júnior pelas informações agrometeorológicas, explicações, pelos artigos fornecidos e livros emprestados, muito obrigada por tudo.

Ao Janni, Breno, Fernanda, Serjão, Brenoaldo, Sergio, Everton, Fabiane, Rene, pelas explicações e disponibilidade de tempo em me auxiliar nas diversas avaliações.

Aos professores do Programa de Pós Graduação em Agronomia pelos ensinamentos.

Aos colegas e amigos pelos momentos agradáveis durante o mestrado Angela, Raquel, Liane, Natércia, Daiana, Tuane, Francieli, Emerson, Priscila, Pedro, Luis, Paulo, Nathalia, Cássia, Ana, Amanda, Natalie, Kamilla e Laís.

Aos demais colegas e amigos do Fitomelhoramento.

À Minha família, especificamente aos meus pais pelo incentivo, dedicação e investimento para que eu chegasse nesta etapa e à Julia pelo companheirismo e paciência comigo em todo o processo.

"A ciência nunca resolve um problema sem criar pelo menos outros dez"

George Bernard Shaw

Resumo

SILVEIRA, Tatieli. **Resposta ao déficit hídrico e caracterização do sistema radicular de genótipos de batata**. 2018. 60f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

A batata é um dos alimentos mais consumidos pela humanidade. A cultura está fortemente ameaçada devido ao panorama de mudanças climáticas e por ser um dos cultivos mais sensíveis ao déficit hídrico, o que aumenta a necessidade de desenvolver genótipos adaptados a estes fatores. A avaliação de caracteres agrônômicos, fisiológicos e a caracterização de raízes são importantes, pois permitem observar a resposta da planta ao estresse. Foram desenvolvidos dois trabalhos. O primeiro trabalho com o objetivo de avaliar a resposta morfológica, agrônômica e fisiológica de 16 genótipos cultivados em sistema hidropônico com o uso de polietilenoglicol simulando um déficit hídrico de $-0,024$ Megapascal (MPa). Durante o experimento foram avaliados o ciclo vegetativo, peso seco de parte aérea, número total de tubérculos, peso fresco do total de tubérculos, peso médio de tubérculos, peso seco do total de tubérculos, conteúdo de clorofila e ajuste osmótico. Os dados foram submetidos a ANOVA e foi realizado o teste de comparação de médias. Também foram aplicados índices de tolerância ao estresse. O estresse hídrico afetou o desenvolvimento dos genótipos e reduziu a produção de tubérculos. As cultivares BRS Clara e Cota, mostram-se com potencial para cultivo em ambiente sob condição de déficit, dado o seu elevado potencial produtivo. Por outro lado, o clone C2397-03, embora apresente baixo potencial produtivo, suas respostas fisiológicas, quando exposto a uma condição de estresse, o indicam como uma potencial fonte de adaptação aos ambientes adversos. O segundo estudo objetivou caracterizar o sistema radicular de 11 genótipos de batata, cultivados em rizotrons, através dos caracteres volume, comprimento e área superficial de raízes, além do diâmetro médio de raízes. Também foram avaliados o peso seco de folhas, de hastes e a área foliar. Estes dados foram submetidos a ANOVA e ao teste de comparação de médias. Foi realizada a correlação de Pearson para todas as variáveis analisadas. Foi observado que as cultivares BRS Ana, Atlantic e o clone F88-01-05, apresentam raízes com características desejáveis, como maiores volumes, comprimento e diâmetro. Os resultados obtidos indicam genótipos com maior tolerância ao estresse hídrico de seca, assim como germoplasma com caracteres de interesse para o desenvolvimento de cultivares adaptados ao déficit hídrico.

Palavras-chave: *Solanum tuberosum* L., Melhoramento de plantas, Estresse hídrico, Rizotron.

Abstract

SILVEIRA, Tatieli. **Response to water deficit and characterization of the root system of potato genotypes**. 2018. 60f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

Potatoes are one of the most consumed food around the world. This crop is strongly threatened due to the climate change scenario. It is one of the most sensitive crop to water deficit, which increases the need to develop genotypes adapted to this adverse scenario. The evaluation of agronomic and physiological traits, as well as the characterization of the root system is very important, since they allow to observe the plant response to stress. Two studies were developed. The first one with the objective of evaluating the morphological, agronomic and physiological response of 16 genotypes cultivated in a hydroponic system using polyethylene glycol simulating a water deficit of -0,024 Megapascal (MPa). During the experiment the vegetative cycle, shoot dry weight, total number of tubers, fresh weight of tubers, average tuber weight, dry weight of total tubers, chlorophyll content and osmotic adjustment were evaluated. Data were submitted to ANOVA and the means comparison test was performed. Indices of stress tolerance were also applied. Water stress affected the development of the plant and drastically reduced the production of tubers. The cultivars BRS Clara and Cota show potential for cultivation under water deficit, given their high yield. On the other hand, clone C2397-03, although presenting low yield, due to its physiological behavior, when exposed to a stress condition, is indicated as a potential source of adaptation to adverse environments. The second study aimed to characterize the root system of 11 potato genotypes, cultivated in rhizotrons, the trait volume, length and surface area of roots, as well as the mean diameter of roots. The measured of leaves and stems as well as leaf area were also evaluated. These data were submitted to ANOVA to the means of a comparison test. The Pearson correlation was also performed for all the analyzed variables. It was observed that the cultivars BRS Ana, Atlantic and clone F88-01-05, present roots with desirable characteristics, such as larger volumes, length and diameter. The results indicated genotypes with greater tolerance to dry stress, as well as germplasm with traits of interest for the development of cultivars adapted to the water deficit.

Keywords: *Solanum tuberosum* L., Plant breeding, Abiotic stress, Rizotron

Lista de figuras

Capítulo II- Caracterização de clones de batata quanto ao sistema radicular e desenvolvimento de parte aérea

- Figura 1** - (A) Imagem do rizotron, com as medidas de altura, largura e profundidade. (B) Rizotrons apoiados em cavaletes em ângulo de 45°. Pelotas-RS, 2018. **41**
- Figura 2** - Mensuração da área foliar através do integrador LI-COR modelo LI 3000. Pelotas-RS, 2018. **42**

Lista de tabelas

Capítulo I- Caracterização morfológica e fisiológica de clones de batata submetidos ao déficit hídrico no estágio de início de tuberização

- Tabela 1** - Cultivares e clones avançados de batata, avaliados quanto à resposta ao déficit hídrico aplicado no início do período de tuberização. Pelotas, 2018. **17**
- Tabela 2** - Nível de significância das fontes de variação; genótipo (G), ambiente (A), controle e seca, e interação GXA, para as variáveis ciclo, peso seco da parte aérea (PSPA), número total de tubérculos (NTT), peso fresco do total de tubérculos (PFTT), peso médio de tubérculos (PMT), peso seco total de tubérculos (PSTT) e conteúdo de clorofila aos 13 dias após o estresse hídrico (CC_1) e aos nove dias após a recuperação (CC_2). Pelotas, 2018. **20**
- Tabela 3** - Ciclo e peso seco de parte aérea (PSPA) de 16 genótipos de batata, sem déficit hídrico (controle) e com estresse hídrico (seca). Pelotas, 2018. **21**
- Tabela 4** - Número total de tubérculos (NTT), peso fresco do total de tubérculos g/planta (PFTT), peso médio de tubérculos g/tubérculos (PMT), peso seco total de tubérculos g/planta (PSTT), de 16 genótipos de batata, sem déficit hídrico (controle) e com estresse hídrico (seca). Pelotas, 2018. **23**
- Tabela 5** - Conteúdo de clorofila aos 13 dias após o estresse hídrico (CC_1) e aos nove dias após a recuperação (CC_2), e Ajuste Osmótico (AO) de 16 genótipos de batata, sem déficit hídrico (controle) e com estresse hídrico (seca). Pelotas, 2018. **25**
- Tabela 6** - Índices de tolerância (TOL), produtividade média (PM), índice de tolerância ao estresse hídrico (ITE) e Redução relativa (RR%) de 16 genótipos de batata, sem déficit hídrico (controle) e com estresse hídrico (estresse). Pelotas, 2018. **26**

Capítulo II- Caracterização de clones de batata quanto ao sistema radicular e desenvolvimento de parte aérea

Tabela 1 - Genótipos de batata avaliados quanto ao sistema radicular. Pelotas, 2018. **40**

Tabela 2 - Volume de raízes (VOL) em cm^3 , comprimento de raízes (COMP) em cm, área total da superfície de raízes (ASR) em cm^2 , diâmetro médio de raízes (DMR) em mm, avaliados aos 60 dias após o plantio e avaliação da massa seca de folhas (MSF) e massa seca de hastes (MSH), em gramas/planta, e área foliar (AF), em mm^2 , mensuradas aos 75 dias após o plantio, de 11 genótipos de batata cultivados em estufa plástica em placas do tipo rizotron. Pelotas, 2018. **44**

Tabela 3 - Coeficientes de correlação simples de Pearson entre os caracteres volume (VOL) em cm^3 , comprimento de raízes (COMP) em cm, área total da superfície de raízes (ASR) em cm^2 , diâmetro médio de raízes (DMR) em mm, massa seca de folhas (MSF) e massa seca de hastes (MSH), em gramas/planta, e área foliar (AF) em mm^2 de 11 genótipos de batata. Pelotas, 2018. **47**

Sumário

Introdução geral	12
CAPÍTULO I - Caracterização morfofisiológica de clones de batata submetidos ao déficit hídrico no estágio de início de tuberização _____	15
1.1 Introdução	15
1.2 Material e Métodos	17
1.3 Resultados.....	20
1.4 Discussão	26
1.5 Conclusões.....	32
1.6 Referências	33
CAPÍTULO II - Caracterização de clones de batata quanto ao sistema radicular e desenvolvimento de parte aérea _____	38
2.1 Introdução	38
2.2 Material e Métodos	40
2.3 Resultados e Discussão	43
2.4 Conclusões.....	50
2.5 Referências	51
Considerações finais.....	54
Referências Introdução geral	55

Introdução geral

A batata (*Solanum tuberosum* L.) é um dos alimentos mais consumidos pela população mundial, pois é fonte de proteínas de alta qualidade, vitaminas, sais minerais e carboidratos (GLENNON, 2000; PEREIRA; DANIELS, 2003). Sendo assim, é apreciada e cultivada em diversos países.

A produção brasileira de batata em 2017 foi de 3,90 milhões de toneladas, com uma área colhida de 130.538 ha, obtendo uma produtividade média de 28,47 t. ha (IBGE, 2018). No Brasil, seu cultivo ocorre principalmente nas regiões Sudeste e Sul. A região sul deve responder, em 2018, por 55,0% dessa safra, sendo as estimativas de produção aumentada nos três estados, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul (IBGE, 2018).

Um dos grandes problemas enfrentados no cultivo da batata são as adversidades climáticas, como temperaturas extremas, longos períodos de estresse hídrico, além dos agentes patogênicos (PENNISI, 2008; PEREIRA; DANIELS, 2003).

Novas condições climáticas globais são observadas, com destaque aos períodos de estiagem, os quais afetam o desenvolvimento e a produtividade da batata (LOPES et al., 2011; SILVA et al., 2007). Nesse sentido, há necessidade dos programas de melhoramento genético vegetal direcionar esforços visando à identificação dos mecanismos associados à tolerância ao estresse hídrico e, assim, promover o desenvolvimento de cultivares com maior adaptação à seca.

A identificação de mecanismos adotados pelas plantas de batata submetidas ao estresse hídrico pode ser efetivamente mensurada através da avaliação de caracteres morfológicos e agronômicos (MONNEVEUX et al., 2013). As variáveis que expressam o índice de área foliar, senescência foliar, produção de biomassa, permitem a compreensão da ação da seca, pois sob seca é afetada a arquitetura do dossel da parte aérea da batata, ocorre redução do tamanho da folha e da taxa de expansão, o que resultará no aumento da velocidade de senescência da planta (TOURNEUX et al., 2003).

A produção de tubérculos é um dos principais caracteres diretos para a seleção de genótipos tolerantes à seca. Este permite o entendimento do nível da tolerância ao déficit hídrico do genótipo em estudo, porque é resultado do desenvolvimento da parte

aérea, das raízes e da condução de água e sais (CABELLO et al., 2014). Além disso, é a variável economicamente mais importante (TOURNEUX et al., 2003). Logo, o rendimento de tubérculos pode ser observado de modo mais preciso com o uso de índices de tolerância à seca, pois permitem observar o rendimento em situações de estresse e sem estresse hídrico, ficando evidente o potencial de cada genótipo em manter a produção em situação extrema (CABELLO et al., 2014).

Abatata é uma cultura sensível à seca (YUAN et al., 2003), sua vulnerabilidade tem sido atribuída principalmente à estrutura de raízes rasas e à baixa capacidade de recuperação após um período de seca (IWAMA et al., 2008), o que faz da avaliação do sistema radicular outro fator importante. Para a compreensão do desenvolvimento da batata, da absorção de nutrientes e água, é imprescindível a mensuração do volume, do comprimento e de diâmetro das raízes, pois estas informações permitirão entender o padrão de crescimento radicular em diferentes situações (LYNCH, 2007; TOURNEUX et al., 2003).

Os caracteres fisiológicos também são muito importantes para auxiliar no entendimento do efeito do estresse hídrico na planta. Entre estes, o conteúdo de clorofila deve ser avaliado, pois permite inferências sobre as taxas fotossintéticas, pois ocorre a não absorção de água e nitrogênio, que são essenciais para a fotossíntese (JEFFERIES; MACKERRON, 1987). Outra importante avaliação é a do ajuste osmótico, pois permite compreender o mecanismo de abertura e fechamento dos estômatos que conferem proteção às folhas, sendo estes os principais responsáveis pelas trocas de gases na planta (TAIZ; ZEIGER, 2013).

É observado que os mecanismos de tolerância em batata ao estresse hídrico estão associados à intensidade do estresse, duração e ao estágio fenológico em que a planta se encontra (MAMANI, 2000). Os estádios vegetativos de emergência e o de início de tuberização são os períodos mais críticos em que a ocorrência do estresse tem maior efeito negativo na produção de tubérculos (DEBLONDE; LEDENT, 2001; MARTÍNEZ; MORENO, 1992).

Assim, a avaliação de genótipos de batata quanto à resposta ao déficit hídrico aplicado em fase crítica de desenvolvimento da cultura, assim como a caracterização do germoplasma com relação ao sistema radicular, são etapas fundamentais para avançar no desenvolvimento de cultivares com maior adaptação ao estresse hídrico de seca. Nesse sentido, o presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de

caracterizar genótipos de batata submetidos ao déficit hídrico aplicado no estágio de início de tuberização através de avaliações morfológicas, agronômicas e fisiológicas, bem como caracterizar clones de batata quanto ao sistema radicular.

Esta dissertação está dividida em dois capítulos. O primeiro aborda as respostas morfológicas, agronômicas e fisiológicas de genótipos de batata cultivadas em sistema hidropônico em duas condições hídricas, sem déficit e com estresse hídrico e tem por objetivo selecionar clones de batata com tolerância à deficiência hídrica. O segundo tem o objetivo de caracterizar o sistema radicular de genótipos de batata com uso de rizotrons.

CAPÍTULO I - Caracterização morfofisiológica de clones de batata submetidos ao déficit hídrico no estágio de início de tuberização

1.1 Introdução

A batata (*Solanum tuberosum* L.) é o terceiro cultivo alimentar mais importante no mundo, com uma produção anual mundial de cerca de 341 milhões de toneladas em aproximadamente 20 milhões de hectares (FAOSTAT, 2017).

Mudanças climáticas extremas, envolvendo temperaturas elevadas, seguidas de longos períodos de estiagem, são prognosticadas para os próximos anos (FAO, 2017). As adversidades abióticas exigem constantes alterações no sistema produtivo, tornando imperativa a seleção de genótipos com adaptação a esta adversidade (GUIMARÃES, 1998).

A tolerância ao déficit hídrico é uma característica complexa de ser identificada com exatidão em plantas, devido às diferentes estratégias que estas adotam para reverter este estresse (JEFFERIES, 1993; VAN LOON, 1981; TEKALING; HAMMES, 2005). A resposta fenotípica das plantas submetidas ao déficit hídrico está condicionada pelos efeitos interativos do potencial genético da planta e estágio de desenvolvimento em que o estresse ocorre (OBIDIEGWU, 2015). De acordo com Rawitz (1970) diversos processos fisiológicos prevalecem nos diferentes estádios de desenvolvimento das plantas e alguns são mais sensíveis que outros à redução do potencial da água nos tecidos vegetais. Em batata, este período é o de emergência da planta, emissão de estolões e início de tuberização (WOLFE et al., 1983).

Diferentes mecanismos são adotados pelas plantas como meio de tolerar, ou mesmo, para mitigar os efeitos negativos do déficit hídrico. Para o entendimento destes mecanismos é fundamental caracterizar as respostas morfológicas, agronômicas e fisiológicas das plantas submetidas ao estresse (TUBEROSA, 2012). A avaliação dos caracteres morfológicos e agronômicos permite visualizar a intensidade do estresse, através da avaliação de caracteres associados direta ou mesmo indiretamente à produção de tubérculos, como a massa seca de parte aérea, pois através desta variável é possível estimar a capacidade fotossintética da planta. Já a massa seca de tubérculos permite concluir sobre os efeitos diretos no rendimento dos genótipos (MONNEVEUX et al., 2013).

A avaliação direta dos caracteres de rendimento, principalmente os morfológicos e agrônômicos relacionados à produção de tubérculos, é imprescindível para entender como o estresse hídrico afeta a planta (JEFFERIES, 1989), pois a seca reduz drasticamente a produção, uma vez que a água está relacionada a todos os ciclos metabólicos da planta (KRAMER; BOYER, 1995; TUBEROSA et al., 2012). Assim, os genótipos que conseguem manter a produtividade em situações adversas devem ser estudados em programas de melhoramento para tolerância à seca (SILVA, 2007). Ainda neste contexto, um dos meios utilizados para selecionar germoplasma com maior tolerância aos estresses abióticos é através do uso de índices de tolerância, os quais são importantes por possuírem como variável básica o rendimento (CABELLO et al., 2012; MORADI et al., 2012).

Nesse sentido, os índices de tolerância ao estresse hídrico que mensuram a tolerância ao estresse hídrico visam mesclar as respostas da planta em situação de não estresse e estresse para, assim, inferir o rendimento das culturas (CABELLO et al., 2014; FISCHER, 1978; SANTOS, 2017).

A caracterização de genótipos quanto ao rendimento é importante, pois quanto maior for o rendimento indiretamente se observará maiores produções em condições de estresse hídrico (CABELLO et al., 2012). No entanto, é imprescindível a avaliação dos genótipos com relação a caracteres secundários envolvidos indiretamente no rendimento de tubérculos, uma vez que, também permitem identificar as respostas adotadas pela planta mediante a adversidade (OBIDIEGWU, 2015).

Os caracteres fisiológicos, como conteúdo de clorofila e ajuste osmótico, são importantes para serem avaliados em situações de déficit hídrico, eles podem auxiliar na compreensão de informações referentes à fotossíntese, permitindo inferências sobre a organização e funcionamento de estômatos, trocas gasosas e respiração celular (TOURNEUX et al., 2003). Quando não há funcionamento adequado destas estruturas ocorrem problemas na síntese do etileno, a fotossíntese por consequência é prejudicada e anomalias, seguidas de senescência precoce, ocorrem (MONNEVEUX et al., 2013). A identificação e o uso de genótipos com características superiores relacionadas à maior tolerância ao déficit hídrico são a chave para o sucesso do melhoramento e desenvolvimento de cultivares de batata tolerantes a este estresse (RIBAUT et al., 2009).

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi caracterizar, com base em variáveis morfofisiológicas, clones de batata submetidos ao déficit hídrico no estágio de início de tuberização, visando à identificação de genótipos tolerantes ao estresse hídrico.

1.2 Material e Métodos

Descrição do experimento:

O experimento foi conduzido em sistema hidropônico de calhas de PVC articuladas (MEDEIROS et al., 2002), em estufa plástica na Embrapa Clima Temperado, em Pelotas, Rio Grande do Sul (32°45'S e 52°30'W), altitude de 60m. Tubérculos-semente foram alocados em esponjas fenólicas no dia 31 de Agosto de 2016. Duas semanas após o plantio, no estágio de início de formação das raízes, as esponjas fenólicas foram alocadas nas calhas de PVC, em orifícios de 25mm de diâmetro, espaçados 50cm.

O germoplasma avaliado (Tabela 1) foi selecionado de acordo com a época do início do período de tuberização e a resposta ao déficit hídrico com base em estudos realizados por Rohr (2016).

Tabela 1 - Cultivares e clones avançados de batata avaliados quanto à resposta ao déficit hídrico aplicado no início do período de tuberização. Pelotas, 2018.

Genótipo	Classificação*	Observação	Origem
Agata	Precoce	Cultivar	Holanda
C2397-03	Precoce	Clone Avançado	Brasil
C2399-03	Precoce	Clone Avançado	Brasil
F119-01-06	Precoce	Clone Avançado	Brasil
Pérola	Precoce	Cultivar	Brasil
C2080-3-00	Intermediário	Clone Avançado	Brasil
C2337-18-02	Intermediário	Clone Avançado	Brasil
C2406-03	Intermediário	Clone Avançado	Brasil
BRS Clara	Intermediário	Cultivar	Brasil
F88-01-05	Intermediário	Clone Avançado	Brasil
BRS Ana	Tardio	Cultivar	Brasil
C2364-05-02	Tardio	Clone Avançado	Brasil
Cota	Tardio	Cultivar	Brasil
Puren	Tardio	Cultivar	Chile
BR3	Tardio	Clone Avançado	Brasil
C2551-02-06	Tardio	Clone Avançado	Brasil

*Classificação dos genótipos conforme o início do período de tuberização. Fonte: ROHR (2016).

** País de origem.

O delineamento adotado foi de blocos completos casualizados com oito repetições, em esquema fatorial com dois fatores, genótipo, com 16 níveis, e ambiente, com dois níveis, controle e déficit hídrico.

Para submeter os genótipos à seca foi adicionado polietilenoglicol 6000 (PEG) à solução nutritiva simulando um déficit hídrico de -0,024 megapascal (MPa) (REISSER JR et al., 2011). O estresse hídrico foi aplicado no início do período de tuberização, com duração de 10 dias. Para os genótipos precoces, a adição de PEG à solução nutritiva ocorreu aos 44 dias após o plantio (DAP), para os intermediários aos 51 DAP e, nos tardios, aos 58 DAP. A colheita foi realizada respectivamente aos 84, 91 e 98 DAP.

As avaliações morfológicas, agronômicas e fisiológicas realizadas foram:

Ciclo: No momento da colheita foi realizada uma avaliação visual, onde foram dadas notas de 1 a 5. As plantas foram classificadas com a nota “1” quando esta apresentava 100% das folhas verdes. Quando a planta estava com 50% das folhas verdes foi atribuída a nota “3”. E, quando 100% das folhas estavam secas, a nota foi “5”. Valores intermediários, 2 e 4, também foram aplicados.

Produção de biomassa de parte aérea: No momento da colheita foi separada a parte aérea, que foi seca em estufa a 65°C até atingir peso constante, para obtenção do valor do peso seco da parte aérea (PSPA) em gramas/planta.

Produção de biomassa de tubérculos: Na colheita foi contado o número total de tubérculos produzidos por cada planta (NTT). Após a contagem, os tubérculos foram pesados para obter o peso fresco do total de tubérculos (PFTT), em gramas/planta. Em seguida, os tubérculos foram secos em estufa a 65°C até atingirem peso constante e foi obtido o peso seco do total de tubérculos (PSTT) em gramas/planta. Foi também calculado o peso médio de tubérculos (PMT) através da divisão do peso fresco total de tubérculos pelo número total de tubérculos produzidos, em gramas.

Índice de clorofila (CC): As leituras foram realizadas utilizando o medidor do conteúdo de clorofila SPAD-502 chlorophyll meter (Minolta Co. Ltd. Japan). Para cada genótipo, foram avaliados três folíolos, seguindo metodologia descrita por ANITHAKUMARY et al. (2011). Este procedimento foi realizado nas seguintes datas: 13 dias após o estresse (CC_1) e nove dias após a recuperação do estresse (CC_2).

Ajuste osmótico (AO): Para esta análise foram coletados folíolos, da primeira folha totalmente expandida, no sentido ápice-base. Os folíolos foram acondicionados dentro de saco plástico com papel toalha umedecido no interior. Posteriormente, foram acondicionados em uma câmara úmida, permanecendo até atingir estado de turgor máximo, entre 3h a 4h após a entrada na câmara. Os folíolos foram coletados, desprezando a nervura principal e armazenados em tubos de *ependorf* em ultra freezer a -80°C. Para realizar a leitura, as amostras foram mantidas no gelo, posteriormente

maceradas e centrifugadas, retirado apenas o sobrenadante para realizar a leitura da osmolalidade. As leituras de osmolalidade foram realizadas utilizando o medidor de pressão osmótica VAPRO 5520 (Wescor, Logan, UT), seguindo as recomendações do fabricante.

Para calcular a pressão osmótica (Ψ) foi utilizada a equação de Van'tHoff:

$$\Psi = - M \cdot R \cdot T$$

Onde: M é o valor da osmolalidade, expressa em mmol/kg, $i = 1$; $R = 0.0083$ (constante universal dos gases) e $T = (K)$ é a temperatura absoluta.

Os valores encontrados na equação foram expressos em MPa. Para calcular o ajuste osmótico foi utilizada a fórmula proposta por Blum (1989), sendo a diferença de pressão osmótica do controle, subtraído da pressão osmótica da seca (AFSHARI-BEHBAHANIZADEH et al., 2014).

Índices de tolerância ao estresse hídrico:

Foram aplicados três índices de tolerância a seca, conforme Cabello et al. (2013). O de tolerância (TOL), o índice de tolerância ao estresse hídrico (ITE) e o de produtividade média (PM). Todos têm como base a variável PSTT.

O de tolerância (TOL) é oriundo da diferença entre o rendimento do genótipo, expresso no peso seco total de tubérculos, em condição controle (Y_p), e o rendimento do genótipo em condição de seca (Y_s). $TOL = (Y_p - Y_s)$ (HOSSAIN et al., 1990).

O índice de tolerância ao estresse hídrico (ITE), proveniente da multiplicação entre o rendimento do genótipo em condição controle (Y_p) e rendimento do genótipo em condição de seca (Y_s), dividido pela média do rendimento de todos os genótipos na condição controle ao quadrado, é expresso pela fórmula: $ITE = (Y_s \times Y_p) / (Y_p)^2$ (FERNANDEZ, 1992).

O índice de produtividade média (PM) é obtido pela média do rendimento do genótipo em condição controle (Y_p), somado ao valor do rendimento do genótipo em condição de seca (Y_s) e dividido por 2, expresso pela fórmula: $PM = (Y_s + Y_p) / 2$ (ROSIELLE; HAMBLIN, 1981).

Também foi calculado a redução relativa (RR%) para a variável peso seco total de tubérculos através da fórmula:

$$RR\% = (PSTT \text{ controle} - PSTT \text{ déficit hídrico}) / (PSTT \text{ controle}) * 100$$

Análise estatística:

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA). O modelo estatístico considerou a interação genótipo x ambiente, sendo:

$$Y_{ijk} = m + G_i + B_k + A_j + GA_{ij} + E_{ijk}$$

Onde: Y_{ijk} é o valor fenotípico do caráter Y medido no genótipo i, no ambiente j; m = média geral dos dados em estudo; G_i = efeito do i-ésimo genótipo; B_k = efeito do K-ésimo; A_j = efeito do j-ésimo ambiente; GA_{ij} = efeito da interação do i-ésimo genótipo com o j-ésimo ambiente; E_{ijk} = erro médio associado à observação de Y_{ijk} .

As médias foram comparadas pelo teste de Duncan, a 5% de probabilidade. Foi realizado também o desdobramento das interações independentemente da significância. As análises foram realizadas utilizando o programa estatístico Genes VS 2015.5.0.

1.3 Resultados

A interação genótipo x ambiente foi significativa para todas as variáveis morfológicas e agrônômicas mensuradas (Tabela 2).

Tabela 2- Nível de significância das fontes de variação genótipo (G), ambiente (A), controle e seca, e interação GXA, para as variáveis ciclo, peso seco da parte aérea (PSPA), número total de tubérculos (NTT), peso fresco do total de tubérculos (PFTT), peso médio de tubérculos (PMT), peso seco total de tubérculos (PSTT) e conteúdo de clorofila aos 13 dias após o estresse hídrico (CC_1) e aos nove dias após a recuperação (CC_2). Pelotas, 2018.

Fonte de variação	CICLO	PSPA	NTT	PFTT	PMT	PSTT	CC_1	CC_2
Genótipo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ambiente	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100	0,00
GXA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08
CV (%)	19,18	66,1	50,27	56,21	43,32	57,76	14,07	34,65

*valores menores ou iguais a 0,05 foram considerados significativos.

As médias, de cada genótipo, em cada ambiente, para as variáveis analisadas, encontram-se nas tabelas 3, 4 e 5. Para a variável ciclo, avaliada na data da colheita do experimento, houve uma aceleração na senescência das plantas quando submetidas ao estresse. A média geral obtida foi de 2,46 para a situação controle e na condição estressada foi de 4,54. Na situação controle, foi possível identificar a formação de cinco grupos, os genótipos que apresentaram ciclo mais longo, ou seja, com as folhas verdes

no momento da colheita foram os do grupo de início de tuberização tardio. Por outro lado, os genótipos de início de tuberização precoce se apresentaram mais senescentes ao fim do experimento. Em situação de estresse, foi observada a formação de dois grandes grupos, onde os genótipos com maior vigor ao fim do experimento foram os de início de tuberização tardio, sendo destacados BRS Ana, BR3 e C2551-02-06 (Tabela 3).

Com relação à produção de biomassa de parte aérea, mensurada através do peso seco de parte aérea (PSPA), foi observada grande redução quando os genótipos foram submetidos à seca, com um decréscimo na produção de biomassa de parte aérea em duas a três vezes em todos os 16 genótipos. Com relação a esta variável, na comparação entre os genótipos, na condição controle, o germoplasma foi dividido em quatro grupos, onde a maior produção foi observada nos genótipos de início de tuberização tardia, como BR3 e BRS Ana, 134,50g e 132,17g, respectivamente. Na avaliação em situação de seca, houve a divisão em dois grupos, sendo BR3, BRS Ana e C2551-02-06 os que tiveram as maiores produções (Tabela 3).

Tabela 3. Ciclo e peso seco de parte aérea (PSPA) de 16 genótipos de batata, sem déficit hídrico (controle) e com estresse hídrico (seca). Pelotas, 2018.

Genótipo	Ciclo			PSPA		
	Controle	Seca	Média	Controle	Seca	Média
Agata	4,14 Bb	5,00 Aa	4,57	14,62 Ad	4,27 Ab	9,45
C2397-03	3,28 Bc	4,75 Aa	4,02	20,09 Ad	7,57 Ab	13,83
C2399-03	3,85 Bb	5,00 Aa	4,43	4,16 Ad	1,41 Ab	2,79
F119-01-06	4,72 Aa	5,00 Aa	4,86	12,67 Ad	6,10 Ab	9,39
Pérola	3,12 Bc	4,50 Aa	3,81	31,81 Ad	11,96 Ab	21,89
C2080-3-00	2,31 Bd	4,64 Aa	3,48	40,16 Ad	11,21 Bb	25,69
C2337-18-02	1,37 Be	4,85 Aa	3,11	72,73 Ac	23,62 Bb	48,18
C2406-03	1,15 Be	4,75 Aa	2,96	60,73 Ac	12,24 Bb	36,49
BRS Clara	2,81 Bc	4,52 Aa	3,67	72,94 Ac	15,54 Bb	44,24
F88-01-05	1,82 Bd	4,24 Ab	3,03	80,25 Ac	21,49 Bb	50,87
BRS Ana	1,00 Be	3,77 Ab	3,09	132,17 Aa	54,83 Ba	93,51
C2364-05-02	3,28 Bc	4,87 Aa	2,39	61,77 Ac	6,12 Bb	33,95
Cota	2,28 Bd	4,43 Aa	4,08	83,49 Ac	26,26 Bb	54,88
Puren	1,82 Bd	5,00 Aa	3,36	105,46 Ab	28,84 Bb	67,16
BR3	1,21 Be	3,77 Ab	3,42	134,50 Aa	41,78 Ba	88,14
C2551-02-06	1,19 Be	3,57 Ab	2,49	109,40 Ab	54,46 Ba	81,93
Média	2,46	4,54	3,5	64,81	20,48	42,64

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente entre si ($p \leq 0,05$).

Para as variáveis relacionadas à biomassa de tubérculos, em relação ao número total de tubérculos (NTT), na comparação dos genótipos sob estresse e controle, 13 dos 16 genótipos avaliados diferiram, ficando evidente a redução do NTT em situação de estresse. Na condição controle o germoplasma ficou dividido em cinco grupos, onde os genótipos Pérola, C2337-18-02 e BRS Clara foram os que apresentaram maior NTT. Em condição de estresse hídrico, os genótipos não diferiram estatisticamente entre si. Em ambas as condições hídricas, o genótipo C2399-03 (precoce) produziu o menor NTT (Tabela 4).

Com relação ao peso fresco do total de tubérculos (PFTT), dos 16 genótipos avaliados, 11 apresentaram redução significativa no PFTT sob estresse, o que demonstra a grande redução quando comparadas as duas situações, com e sem estresse hídrico. Na situação controle, foi visualizada a formação de quatro grupos, onde novamente foi observado maior PFTT nos genótipos, C2080-3-00, C2337-18-02, C2406-03 e BRS Clara (Tabela 4).

Ao avaliar as duas condições, controle e estresse, para 11 dos 16 genótipos avaliados, houve significativa redução na produção de tubérculos mensurada pelo peso seco do total de tubérculos (PSTT) quando as plantas foram submetidas ao déficit hídrico. Na comparação entre os genótipos, na condição controle, o germoplasma ficou distribuído em quatro grupos, com destaque para a cultivar BRS Clara e os clones C2337-18-02, C2406-03 e C2080-3-00, que igualmente produziram os maiores PFTT, produzindo acima de 100 gramas de massa seca de tubérculos por planta. Na condição de seca, não foi possível detectar diferenças significativas entre os genótipos avaliados, embora a amplitude de variação tenha sido de 9,08 a 1,81 gramas por planta (Tabela 4).

Com relação ao peso médio de tubérculos (PMT) sob estresse hídrico, quando comparado com a situação controle, os genótipos reduziram os valores de PMT. O germoplasma foi distribuído em quatro grupos, com destaque para o C2080-3-00 e C2406-03 que apresentaram os maiores PMT, na situação controle, em média 23,54 g, mas não mantiveram este peso quando submetidos ao estresse, média de 6,40g. Já sob seca, o germoplasma foi agrupado em dois grupos, todos os genótipos classificados com início do período de tuberização intermediário, juntamente com a cultivar Cota (tardia), apresentaram os maiores valores de PMT (Tabela 4).

Tabela 4 - Número total de tubérculos (NTT), peso fresco do total de tubérculos g/planta (PFTT), peso médio de tubérculos g/tubérculos (PMT), peso seco total de tubérculos g/planta (PSTT), de 16 genótipos de batata, sem déficit hídrico (controle) e com estresse hídrico (seca). Pelotas, 2018.

Genótipo	NTT			PFTT			PSTT			PMT		
	Controle	Seca	Média	Controle	Seca		Controle	Seca	Média	Controle	Seca	Média
Agata	38,10 Ab	12,93 Ba	2,51	224,36Ac	42,51 Ba		29,72 Ad	6,06Ba	17,90	5,14 Ad	2,70Ab	3,93
C2397-03	20,20 Ad	5,5 Ba	12,85	60,05 Ad	11,87 Aa		8,66 Ad	2,22Aa	5,45	2,62 Ad	2,69Ab	2,66
C2399-03	10 Ae	3,12 Aa	6,56	69,59 Ad	17,30 Aa		9,29 Ad	3,17Aa	6,23	6,38 Ad	5,28Aa	5,83
F119-01-06	29,62 Ac	12,75 Ba	21,19	222,63Ac	49,01 Ba		28,54 Ad	6,75Ba	17,65	6,78 Ad	4,60Aa	5,69
Pérola	53 Aa	9,81 Ba	31,41	404,58Ab	33,00 Ba		67,77 Ab	5,42Ba	36,60	8,94 Ac	2,46Bb	5,70
C2080-3-00	37,51 Ab	6,92 Ba	22,22	839,79Aa	45,12 Ba		120,87Aa	3,32Ba	62,10	24,52 Aa	6,71Ba	15,62
C2337-18-02	51,75 Aa	7,20 Ba	29,48	808,63Aa	54,46 Ba		118,74Aa	4,91Ba	61,83	16,32 Ab	7,83Ba	12,08
C2406-03	33,34 Ab	8,43 Ba	20,89	766,99Aa	45,38 Ba		128,36Aa	4,33Ba	66,35	22,56 Aa	6,10Ba	14,34
BRS Clara	50,12 Aa	7,81 Ba	28,97	734,14Aa	35,52 Ba		130,19Aa	5,47Ba	67,84	16,13 Ab	5,64Ba	10,89
F88-01-05	29,61 Ac	5,26 Ba	17,44	475,82Ab	34,55 Ba		69,19 Ab	5,96Ba	37,58	15,94 Ab	6,66Ba	11,30
BRS Ana	19,92 Ad	11,10 Aa	15,52	128,24Ad	32,59 Aa		21,48 Ad	4,03Aa	12,76	6,13 Ad	2,63Bb	4,38
C2364-05-02	40,25 Ab	14,15 Ba	27,20	333,23Ab	19,07 Ba		48,39 Ac	2,27Ba	25,33	9,34 Ac	1,42Bb	5,39
Cota	35,87 Ab	14,71 Ba	25,30	365,85Ab	55,14 Ba		72,24 Ab	9,08Ba	40,67	10,58 Ac	4,32Ba	7,45
Puren	40,44 Ab	14,31 Ba	27,38	377,83Ab	40,23 Ba		64,29 Ab	4,72Ba	34,51	9,79 Ac	3,18Bb	6,49
BR3	20,48 Ad	5,60 Ba	13,04	100,93Ad	12,93 Aa		13,79 Ad	2,63Aa	8,22	4,47 Ad	2,70Ab	3,59
C2551-02-06	11,21 Ae	5,43 Aa	8,32	95,37 Ad	10,42 Aa		15,74 Ad	1,81Aa	8,78	8,08 Ac	3,25Bb	5,67
Média	32,59	9,06	20,8	374,88	33,38		59,2	4,51	31,86	10,86	4,26	7,56

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente entre si ($p \leq 0,05$).

Ao avaliar o conteúdo de clorofila (CC) aos 13 dias após o estresse hídrico (CC_1) foi observada diferença significativa dos genótipos na condição controle, quando comparada com o estresse, para cinco, dos 16 genótipos avaliados. Os genótipos no controle se agruparam em dois grupos. Na condição de seca, o germoplasma ficou dividido em quatro grupos, o clone C2080-3-00 apresentou o maior valor de CC_1 (50,80), diferindo dos demais. O valor mais baixo de CC_1 sob seca foi encontrado no genótipo F119-01-06. Alguns genótipos, como a cultivar BRS Clara e os clones avançados F88-01-05 e BR3 mantiveram seus valores próximos aos visualizados no controle. Em avaliações do conteúdo de clorofila (CC) aos nove dias após a recuperação do estresse (CC_2), foram observadas diferenças significativas para sete dos 16 genótipos avaliados, quando comparado o controle com o estresse, havendo redução dos valores de CC_2. Na condição controle, os genótipos foram divididos em dois grupos, sendo o maior valor de CC_2 encontrado no clone C2406-03. Sob a condição de seca os genótipos também se dividiram em dois grupos (Tabela 5).

Com relação ao ajuste osmótico (AO), na média, o AO foi de -1,73. Dos 16 genótipos avaliados, sete ficaram acima da média. Os valores do ajuste osmótico variaram de -3,21 para o genótipo C2406-03 a -0,33 para o genótipo C2364-05-02. Para esta variável não foi realizada análise de variância (Tabela 5).

Tabela 5- Conteúdo de clorofila aos 13 dias após o estresse hídrico (CC_1) e aos nove dias após a recuperação (CC_2), e ajuste osmótico (AO) de 16 genótipos de batata, sem déficit hídrico (controle) e com estresse hídrico (seca). Pelotas, 2018.

Genótipo	CC_1			CC_2			AO
	Controle	Seca	Média	Controle	Seca	Média	ΔO
Agata	35,30 Bb	41,55Ab	38,43	34,60 Ab	25,95Bc	30,28	-0,77
C2397-03	39,40 Aa	42,46Ab	40,94	39,87 Aa	33,22Ba	36,65	-0,49
C2399-03	35,75 Ab	34,9 Ac	35,33	36,47 Ab	31,22Ab	33,85	-0,57
F119-01-06	34,53 Ab	27,4 Bd	30,97	32,48 Ab	27,51Ab	30,00	-2,94
Pérola	40,07 Aa	36,63Ac	38,36	41,1 Aa	32,32Ba	36,71	-1,00
C2080-3-00	40,05 Ba	50,80Aa	45,43	41,28 Aa	39,28Aa	40,29	-3,06
C2337-18-02	35,01 Bb	42,68Ab	38,85	39,08 Aa	37,84Aa	38,47	-2,1
C2406-03	41,42 Aa	38,04Ac	39,74	42,09 Aa	36,20Ba	39,15	-3,21
BRS Clara	37,22 Ab	36,90Ac	37,07	37,15 Ab	33,78Aa	35,47	-0,89
F88-01-05	39,89 Aa	38,99Ab	39,45	41,12 Aa	30,78Bb	35,95	-3,11
BRS Ana	38,46 Aa	33,10Bc	37,48	36,35 Ab	35,84Aa	36,10	-1,76
C2364-05-02	35,48 Ab	39,86Ab	37,67	33,98 Ab	21,58Bc	27,79	-0,33
Cota	36,13 Ab	34,65Ac	35,39	32,77 Ab	29,06Ab	30,92	-1,78
Puren	39,81 Aa	36,89Ac	38,35	35,68 Ab	28,90Bb	32,29	-2,77
BR3	40,33 Aa	39,61Ab	39,97	39,49 Aa	29,92Bb	34,71	-0,88
C2551-02-06	39,62 Aa	34,52Ac	37,08	36,89 Ab	34,99Aa	35,94	-1,95
Média	38,03	38,06	38,04	37,52	31,77	34,65	-1,00

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente entre si ($p \leq 0,05$).

Índices de tolerância a seca:

Com relação ao índice de tolerância (TOL), os menores valores observados expressam a maior tolerância do genótipo à seca, logo ao avaliar este índice foi possível observar que os clones C2397-03 e C2399-03 apresentaram os menores valores (Tabela 6).

Para o índice de produtividade média (PM) foi observado que a cultivar BRS Clara e os clones C2406-03, C2080-3-00 e C2337-18-02 apresentaram os maiores valores.

Para o índice de tolerância ao estresse hídrico (ITE), os maiores valores representam maior tolerância do genótipo ao estresse, logo, foi observado que as cultivares BRS Clara e Cota, e os clones C2337-18-02 e C2406-03.

Através do cálculo da redução relativa (RR%), foi possível observar que os genótipos que mais reduziram sua produção de tubérculos em situação de déficit hídrico foram os C2080-3-00 e o C2406-03. Em contrapartida o genótipo que menos reduziu foi o C2399-03 (Tabela 6).

Tabela 6 - Índices de tolerância (TOL), produtividade média (PM), índice de tolerância ao estresse hídrico (ITE) e Redução relativa (RR%) de 16 genótipos de batata, sem déficit hídrico (controle) e com estresse hídrico (estresse). Pelotas, 2018.

Genótipo	Índices			
	TOL	MP	ITE	RR%
Agata	23,66	17,89	0,05	79,61
C2397-03	6,44	5,44	0,01	74,36
C2399-03	6,12	6,23	0,01	65,88
F119-01-06	21,79	17,65	0,05	76,35
Pérola	62,35	36,60	0,10	92,00
C2080-3-00	117,55	62,10	0,11	97,25
C2337-18-02	113,83	61,83	0,16	95,86
C2406-03	124,03	66,35	0,16	96,63
BRS Clara	124,72	67,83	0,20	95,80
F88-01-05	63,23	37,58	0,12	91,39
BRS Ana	17,45	12,76	0,02	81,24
C2364-05-02	46,12	25,33	0,03	95,31
Cota	63,16	40,66	0,19	87,43
Puren	59,57	34,51	0,09	92,66
BR3	11,16	8,21	0,01	80,93
C2551-02-06	13,93	8,78	0,01	88,50

1.4 Discussão

Para os caracteres avaliados a interação genótipo x ambiente (GxE) foi significativa, indicando que os genótipos avaliados apresentam resposta diferencial dependendo da condição hídrica. Quando é avaliada a interação GXE, se busca a seleção de genótipos com alta estabilidade e ampla adaptabilidade (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2004).

Neste contexto, de modo geral, os resultados do presente trabalho indicam que a maioria dos genótipos avaliados apresentaram grandes oscilações dentro dos dois ambientes avaliados, com reduções em mais de 50% para a maioria das variáveis morfológicas e agrônômicas, quando comparado o controle com a seca, indicando que não conseguem manter os mesmos resultados na condição de seca. A redução na produtividade de tubérculos em até 50% também foi observada por VREUGDENHIL et al. (2007), quando avaliaram a produtividade de tubérculos em situações de estresse hídrico.

O ciclo vegetativo é afetado em genótipos de batata quando submetidos ao estresse hídrico, ocorrendo senescência precoce da planta (LEVY et al., 2013). No presente trabalho também foi observado que nos genótipos submetidos ao estresse

hídrico as plantas senesceram mais rapidamente. Com isso, se observa que a água é um componente essencial para as plantas, pois regula todos os processos necessários para o seu desenvolvimento adequado, desse modo, o ciclo é atingido pela realização não eficiente da fotossíntese, ou do transporte de nutrientes, ou ainda, da regulação de temperaturas que é afetado, além de, interferir diretamente na redução da produtividade, quando em situação extrema (JONES; CORLETT, 1992; KRAMER; BOYER, 1995).

Com relação à produção da parte aérea (PSPA), foi observado um decréscimo na produção de PSPA em plantas submetidas ao estresse. A seca afeta a arquitetura do dossel da parte aérea da batata, diminui o tamanho da folha e a taxa de expansão desta, enquanto limita a formação de novas folhas e há um significativo aumento na taxa de senescência (FLEISHER et al., 2008). Assim, um dos primeiros efeitos morfológicos, em resposta à seca na batata é a redução no tamanho da folha e do peso das folhas (LEVY et al., 2013; JEFFERIES, 1993). No presente trabalho foi observado este padrão para a variável peso das folhas, no entanto, a cultivar BRS Ana e os clones BR3 e C2551-02-06, foram os genótipos que menos reduziram sua produção de PSPA em condição de seca (um pouco mais da metade), os demais genótipos reduziram sua produção em três vezes ou mais, quando comparados com a condição controle.

Logo, cultivares que são capazes de manter maior PSPA, em resposta à seca, podem vir a produzir mais tubérculos (SCHITTENHELM et al., 2006). No entanto, após aplicado o estresse, para os genótipos avaliados no presente trabalho, uma maior PSPA não correspondeu a maior produção de tubérculos.

Em relação ao NTT, todos os genótipos apresentaram decréscimo na produção quando submetidos à seca. Essa constatação corrobora com estudos que demonstram que o déficit hídrico afeta drasticamente o número de tubérculos produzidos, isso ficou evidente quando avaliado o PFTT e posteriormente o PSTT (ANITHAKUMARI, 2011; WALWORTH; CARLING, 2002).

Os genótipos que apresentaram os maiores PSTT na condição controle foram os com período de início de tuberização intermediário. No entanto, este mesmo comportamento não foi observado na condição de déficit hídrico. Embora não tenham sido observadas diferenças estatisticamente significativas, há um indicativo, pela ampla variação observada na produção de tubérculos, de que, na condição de seca, a cultivar Cota (com período de início de tuberização tardio), seguido do clone F119-

01-06 e da cultivar Agata (ambos de período de início de tuberização precoce), foram os mais produtivos.

As estimativas indiretas do potencial fotossintético são obtidas pela concentração de clorofila (SHUKLA et al., 2004; THOMAS; HOWARTH, 2000; TUINSTRA et al., 1998). Com relação às informações referentes aos dados de clorofila, foi observado que, dos 16 genótipos avaliados, cinco, Agata, C2397-03, C2080-3-00, C2337-18-02 e C2364-05-02, aumentaram os valores de CC_1, quando submetidos ao estresse. Já para o CC_2, não foi identificado aumento nos valores, comparando as duas condições hídricas. O aumento do valor de clorofila expressa a mudança de coloração da folha que passa de amarelo, ou seja folha clorótica, para o verde intenso. Já, quando ocorre decréscimo de valores, como o identificado em alguns genótipos na avaliação de CC_2, se observa uma redução no brilho e na cromaticidade da folha (TUBEROSA, 2012). Ambas as situações são prejudiciais a planta, pois interferem nas taxas fotossintéticas. Com base nos resultados, nas avaliações CC_1 e CC_2, os genótipos que não sofreram alteração no conteúdo de clorofila na comparação das duas condições hídricas foram as cultivares Perola, BRS Clara e Cota, assim como os clones C2397-03, C2399-03 e C2551-02-06.

Neste contexto, o acúmulo intracelular de solutos osmoticamente ativos em resposta às condições estressantes de baixa disponibilidade de água é um importante mecanismo desenvolvido pelas plantas que toleram a seca com baixo potencial hídrico (TURNER; 1986). Este mecanismo, denominado ajustamento osmótico (MUNNS; 1988), tem sido verificado em várias espécies (MORGAN; 1984) e é considerado um dos mais eficazes para manutenção da turgescência celular, permitindo principalmente a manutenção da abertura estomática e fotossíntese sob condições de baixo potencial hídrico no solo (KRAMER; BOYER, 1995; TURNER, 1986). A importância e contribuição dos solutos envolvidos no ajustamento osmótico em resposta à baixa disponibilidade de água varia de acordo com a espécie em estudo (MORGAN, 1984).

Tendo em vista a importância do ajuste osmótico (AO), evidencia-se maior concentração de solutos em menor estado de energia livre da água e mais negativo o potencial osmótico. O potencial osmótico apresenta valores negativos porque apresentam baixo potencial em relação à água pura. Desse modo, o componente de pressão apresenta valores positivos, e a soma dos componentes resulta em potenciais negativos ou igual a zero. Um sistema hídrico em equilíbrio apresenta um potencial

total igual a zero, e o movimento da água sempre ocorre, espontaneamente, segundo um gradiente decrescente de potencial hídrico (BEWLEY; BLACK, 1985).

O AO é usado com uma variável fisiológica para estimar o rendimento em condições de déficit hídrico em espécies oleaginosas (KUMAR; SINGH, 1998), algodão (SARANGA et al., 2001), arroz (BABU et al., 1999; JONGDEE et al., 2002, PRABA et al., 2009), cevada (GONZALEZ et al., 2008) e batata (ROHR, 2012 e 2016). Em condições de desidratação severa, uma maior capacidade de acumulação de osmolitos pode ajudar as plantas a suportar a seca prolongada e passar por uma recuperação mais rápida e completa após a reidratação (JULIO et al., 2013).

O potencial de água dos tecidos inferior a $-0,4\text{MPa}$ está ligado à inibição completa do crescimento de folhas e tubérculos (GANDAR; TANNER, 1976). Os potenciais de água abaixo de $-2,0\text{MPa}$ podem levar a perda de viabilidade (ACKERSON, 1983; SHIMSHI et al., 1983). Jefferies (1989) indicou que a taxa de extensão relativa das folhas de batata diminuiu para zero em potenciais de água foliar abaixo de $-1,0\text{MPa}$. O teor relativo de água em um potencial de água foliar de $-1,0\text{MPa}$ foi efetivo na diferenciação da tolerância à seca de cultivares de batata (COLEMAN, 1986). Com isso, a diminuição do potencial osmótico em resposta ao déficit hídrico resulta em uma concentração passiva de solutos e com isso, desidratação da célula, ou de acumulação ativa de solutos (PATAKAS et al., 2002). Logo, os genótipos que se mostraram mais ajustados osmoticamente foram os clones C2364-05-02, C2397-03 e C2399-03.

Ao aplicar índices de tolerância, é possível distinguir, de forma mais evidente, quais genótipos apresentam uma maior adaptação a condição de déficit hídrico. Em relação aos índices de tolerância à seca, Fischer; Maurer (1978) e Fernandez (1992) definiram o índice de susceptibilidade à seca (ISS) e o índice de tolerância ao estresse hídrico para avaliar a tolerância a seca em genótipos de trigo e feijão, onde foi considerada a relação entre as produtividades de grãos do genótipo em ambientes com e sem restrição hídrica, bem como a média geral em cada situação. CABELLO et al. (2012), adotou este mesmo método para batata, no entanto a produtividade de tubérculos é o alvo em questão. Logo, foram usados os índices só na variável PSTT porque pode ser usada como critério de seleção.

Os genótipos que apresentaram a maior tolerância segundo o índice de tolerância (TOL) foram os clones C2397-03 e o C2399-03. No entanto, estes dois clones apresentaram baixo rendimento de tubérculos, em ambas condições hídricas.

Porém, são os clones que apresentam maior estabilidade de produção, ou seja, os que reduzem menos a produção de tubérculo quando cultivados em ambiente adverso. Com base no índice de tolerância ao estresse hídrico (ITE), os melhores índices foram identificados nos genótipos que apresentaram os melhores rendimentos de tubérculos na condição controle, as cultivares BRS Clara e Cota, e os clones C2337-18-02 e C2406-03. O ITE, segundo Cabello et al. (2013), apresenta correlação significativa e positiva com o rendimento na condição controle e o rendimento na condição de seca. Isso sugere que a seleção através do ITE possa permitir a identificação de genótipos que possuem alta produtividade em ambientes de estresse e não-estresse hídrico.

Os genótipos de ciclo intermediário quando avaliados pelo índice de produtividade média (PM) mostraram-se como os mais produtivos, porém não os mais estáveis, visto que em condição de seca reduziram muito sua produção. Santos (2017) em avaliações de estresse hídrico com sorgo constatou que a PM foi o índice que expressou valores mais correlacionados com o rendimento do genótipo em situação controle e em condição de estresse.

O uso de índices se torna necessário, pois quando é avaliado um grande número de genótipos, a visualização dos resultados fica comprometida, face ao volume de dados a serem analisados e interpretados. Assim, procura-se reunir as informações num único índice de seleção. Os índices baseados na produtividade selecionam cultivares com alta produção tanto no ambiente com estresse, como no ambiente sem estresse. Desta forma, genótipos com média tolerância, mas de alta capacidade de responder a melhoria do ambiente, podem ser selecionados usando estes índices (PARENTONI et al., 2001).

Na identificação de uma planta tolerante à seca, é fundamental que, além da adaptação ao ambiente desfavorável, apresentando uma boa produção, que ela apresente também bom rendimento na condição ótima de cultivo (OKOGBENIN et al., 2013). Nesse sentido, as cultivares BRS Clara e Cota, juntamente com os clones C2406-03 e C2337-18-02 se destacam.

No entanto, a avaliação ou seleção de genótipos tolerantes à seca, apenas com o uso de índices de tolerância pode ser superestimada, uma vez que, na utilização de índices de tolerância os valores ignoram a relação com outras características morfológicas associadas ao bom desempenho produtivo em ambientes de déficit hídrico (SANTOS, 2016). Assim, é importante também considerar outras variáveis. Os

genótipos que apresentaram a menor redução em produção de tubérculos quando comparado o cultivo na condição controle e na condição de estresse, foram os mesmos que apresentaram o melhor ajuste osmótico, C2397-03 e o C2399-03, embora não tenham sido os mais produtivos em nenhum dos ambientes avaliados. Coincidentemente, o clone C2397-03, juntamente com as cultivares BRS Clara e Cota, as quais estavam entre os genótipos que apresentaram os melhores índices de tolerância ao estresse, não alteraram significativamente o conteúdo de clorofila nas avaliações controle x estresse.

Diante do exposto, as cultivares BRS Clara e Cota mostram-se com potencial para cultivo em ambiente sob condição de seca, dado o seu elevado potencial produtivo. Por outro lado, o clone C2397-03, embora apresente baixo potencial produtivo, suas respostas fisiológicas, quando exposto a uma condição de estresse, o indicam como uma potencial fonte de adaptação aos ambientes adversos.

1.5 Conclusões

O germoplasma de batata avaliado é bastante diverso quanto à resposta ao déficit hídrico com base em caracteres morfológicos, agronômicos e fisiológicos.

As cultivares BRS Clara e Cota mostram-se com potencial para cultivo em ambiente sob condição de seca, em função do seu elevado potencial produtivo.

O clone C2397-03, embora apresente baixo potencial produtivo, é o mais estável e suas respostas fisiológicas, quando exposto a uma condição de estresse, o indicam como uma potencial fonte de adaptação aos ambientes adversos.

1.6 Referências

- ANITHAKUMARI, A. M. **Genetic dissection of drought tolerance in potato**. Thesis (Doctor in plant breeding). 2011. 152f. Wageningen University, Wageningen, 2011.
- AFSHARI-BEHBAHANIZADEH, S.; AKBARI, G.; SHAHBAZI, M.; ALAHDADI, I. Relations between barkley root traits and osmotic adjustment under terminal drought stress. **Journal of Agriculture Science**, v. 6, p. 112- 119, 2014.
- ACKERSON, R. C. Comparative physiology and water relations of two corn hybrids during water stress. **Crop Science**, Madison, v. 23, p. 278-283, 1983.
- BABU, R. C., PATHAN, M. S., BLUM, A., AND NGUYEN, H. T. Comparison of measurement methods of osmotic adjustment in rice cultivars. **Crop Science**, v.39, p.150–158, 1999.
- BLUM, A. Osmotic Adjustment and Growth of Barley Genotypes under Drought Stress. **Crop Science**, v. 29, p. 230-233, 1989.
- BORRELL, A.; HAMMER, G.; VAN-OOSTEROM, E. Stay-green: a consequence of the balance between supply and demand for nitrogen during grain filling. **Annals of Applied Biology**, Warwick, v. 138, p. 91-95, 2001.
- BEWLEY, J.; BLACK, M. **Seeds: Physiology of development and germination**. NY. Plenum Press. 1985.
- CABELLO, R., F. DE MENDIBURU, M. BONIERBAL, P. MONNEVEUX, W. ROCA; E. CHUJOY. Large scale evaluation of potato improved varieties, genetic stocks and landraces for drought tolerance. **American Journal of Potato Research**, v.89, p. 400–410, 2012.
- CABELLO, R.; MONNEVEUX, P.; MENDIBURU, F.; BONIERBALE, M. Comparison of yield based drought tolerance indices in improved varieties, genetic stocks and landraces of potato (*Solanum tuberosum* L.) **Euphytica**, v.193, p. 147-156, 2013.
- CABELLO, R.; MONNEVEUX, P.; BONIERBALE, M; KHAN, M. A. Heritability of yield components under irrigated and drought conditions in andigenum potatoes. **American Journal Potato Research**, p. 1–8, 2014.
- COLEMAN W. K. Water relations of the potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars Raritan and Shepody. **American Potato Journal**, v.63, p.263–276, 1986.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A.J.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, 2004. 480p.

FAOSTAT. Potato. Disponível em: <http://faostat3.fao.org/search/Potato/E> .Acesso em 07 de jan. de 2018.

FERNANDEZ, G. C. J. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: Kuo CG (ed) Adaptation of food crops to temperature and water stress. **Asian Vegetable Research and Development Center**, Shanhua, p.257–270, 1992.

FISCHER, R.A.; MAURER, R. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. **Crop Pasture Science**, v. 29, p.897–912, 1978.

FLEISHER, D. H.; TIMLIN, D. J.; REDDY, V. R. Elevated carbon dioxide and water stress effects on potato canopy gas exchange, water use, and productivity. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 48, p. 1109-1122, 2008.

GANDAR, P. W.; TANNER, C. B. Potato leaf and tuber water potential measurements with a pressure chamber. **American Journal Potato**, v. 53, p.1-14, 1976.

GONZALEZ, A., MARTIN, I., AND AYERBE, L. Yield and osmotic adjustment capacity of barley under terminal water-stress conditions. **Journal Agronomy Crop Science**, v.194, p.81–91, 2008.

GUIMARÃES, V.F. **Estudo de parâmetros morfo-fisiológicos para avaliação da tolerância à seca em genótipos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), visando o consórcio com o milho (*Zea mays* L.)**. Seropédica, 1998. 108p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

HOSSAIN, A. B. S.; SEARS, A.G.; COX, T. S.; PAULSEN, G. M. Desiccation tolerance and its relationship to assimilate partitioning in winter wheat. **Crop Science**, v. 30, p.622–627, 1990.

JEFFERIES, R.A.; MACKERRON, D.K.L., Aspects of the physiological basis of cultivar differences in yield of potato under droughted and irrigated conditions. **Potato Research**, 30, 201–217. 1989.

JEFFERIES, R.A. Responses of potato genotypes to drought. I. Expansion of individual leaves and osmotic adjustment. **Annals of Applied Biology**, v.122, p 93–104, 1993.

JONES, H.G.; CORLETT, J.E. Current topics in drought physiology. **Journal of Agricultural Science**, v.119, p. 291-296, 1992.

JONGDEE, B., FUKAI, S., AND COOPER, M. Leaf water potential and osmotic adjustment as physiological traits to improve drought tolerance in rice. **Field Crops Research**, v. 76, p. 153–163, 2002.

JULIO, G.; SILENE, V.; ADA, A.; JURY, M. Respuesta de variedades mejoradas de papa (*Solanum tuberosum* L.) al estres hídrico por sequía. **Journal of the Selva Andina Biosphere**, v. 4, n. 1, p. 25-36, 2013.

KRAMER, P. J.; BOYER, J. S. **Water relations of plants and soils**. Academic Press, Inc., 1995. 495 p.

KUMAR, A., AND SINGH, D. P. Use of physiological indices as a screening technique for drought tolerance in oilseed *Brassica* species. **Annals of Botany**, v.81, p.413–420, 1998.

LEVY, D.; COLEMAN, W. K.; VEILLEUX, R. E. Adaptation of potato to water shortage: Irrigation management and enhancement of tolerance to drought and salinity. **American Journal Potato Research**, v. 90, p.186-206. 2013.

MEDEIROS, C. A. B.; ZIEMER, A. H.; DANIELS, J.; PEREIRA, A. S. Produção de sementes pré-básicas de batata em sistemas hidropônicos. **Horticultura Brasileira**, v. 20, p. 110-114, 2002.

MONNEVEUX, P.; RAMÍREZ, D. A; PINO, M.T. Drought tolerance in potato (*S. tuberosum* L.): Can we learn from drought tolerance research in cereals? **Plant science**, v. 205, p. 76-86, 2013.

MORADI, H. et al. Evaluation of drought tolerance in corn (*Zea mays* L.) new hybrids with using stress tolerance indices. **European Journal of Sustainable Development**, Easton, v. 1, n. 3, p. 543-560. 2012.

MORGAN, J. W. Osmoregulation and water stress in higher plants. **Annual Review Plant Physiology**, v.35, 299–319, 1984.

MUNNS, R. Why measure osmotic adjustment? **Australian Journal Plant Physiology**, v. 15, p.717–726, 1988.

OBIDIEGWU, J. E. Coping with drought: stress and adaptive responses in potato and perspectives for improvement. **Frontiers in Plant Science**, v. 6, p. 1–23, 2015.

PARENTONI, S. N.; MAGALHÃES, J. V.; PACHECO, C. A.; SANTOS, M.X; ABADIE, E. E. E. G.; GUIMARRÃES, P.E.Q.; MEIRELLES, W. F.; LOPES, M. A.; VASCONCELOS, M. J. V.; PAIVA, E. Heterotic groups based on yield-specific combining ability data and phylogenetic relationships determined by RAPD markers for 28 tropical maize open pollinated varieties. **Euphytica**, v.121, p. 197-208, 2001.

PATAKAS, A.; NIKOLAOU, N.; ZIOZIOIU, E.; RADOGLU, K.; NOITSAKIS, B.; The role of organic solute and ion accumulation in osmotic adjustment in drought-stressed grapevines. **Plant Science**, v. 163, p. 361-367, 2002.

PRABA, M. L., CAIRNS, J. E., BABU, R. C., AND LAFITTE, H. R. Identification of physiological traits underlying cultivar differences in drought tolerance in rice and wheat. **Journal Agronomy Crop Science**, v.195, p. 30–46, 2009.

RAWITZ, E. The dependence of growth rate and transpiration rate on plant and soil physical parameters under controlled conditions. **Soil Science**, v.110, n. 3, p.172-183.

RIBAUT, J. M. et al. **Drought tolerance in maize**. In: BENNETZEN, J. F.; HAKE, S. C. Handbook of maize. New York: Springer, 2009. p. 731-739.

REISSER, J, C. et al. Methods for selection to drought tolerance in potatoes. **Acta Horticulturae**, v. 889, p. 391-396, 2011.

ROHR, Angela. **Parâmetros genéticos associados ao déficit hídrico e estrutura populacional em germoplasma de batata (*Solanum tuberosum L.*)**. 2016. 129f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, Rio Grande do Sul. 2016.

ROSIELLE, A. A.; HAMBLIN, J. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. **Crop Science**, v.21, p.943–946, 1981.

SANTOS, Crislene Vieira dos. **Índices de seca para seleção de genótipos de sorgo granífero tolerantes ao déficit hídrico**. 2017. 50f. TCC (Curso de engenharia agrônômica) - Universidade de São João Del Rei, Sete Lagoas, Minas Gerais. 2017.

SANTOS, Álvaro de Oliveira. **Índices de tolerância e abordagem fatorial analítico no estudo do déficit hídrico em milho**. 2016.117f. Tese (Doutorado em agronomia- Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais. 2016.

SARANGA, Y., MENZ, M., JIANG, C. X., WRIGHT, R. J., YAKIR, D., AND PATERSON, A. H. Genomic dissection of genotype x environment interactions conferring adaptation of cotton to arid conditions. **Genome Research**, v.11, p.1988–1995, 2001.

SCHITTENHELM, S. SOURELL H. AND LÖPMEIER F. J. Drought resistance of potato cultivars with contrasting canopy architecture. **European Journal Agronomy**, v. 24, p. 193–202, 2006.

SHIMSHI, D.; SHALHAVET, J.; MEIR, T. Irrigation regime effects on some physiological responses potato. **Agronomy Journal**, v.75, p.262-7, 1983.

SHUKLA, M.K., LAI, R.; EBINGER, M. Soil quality indicators for the Northern Appalachian experimental watersheds in Coshocton Ohio. **Soil Science**, v.169, n.3, p. 195-205, 2004

SILVA, Felipe Lopes. **Descrição morfofisiológica de clones de batata precoces e tardios visando a adaptação a condições tropicais**. 2006. 94f. Dissertação (Mestrado em Agronomia- Genética e melhoramento de plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais. 2006.

SILVA, J.; PIRES, R. C. M.; SAKAI, E.; SILVA, T. J. A, ANDRADE, J. E.; ARRUDA, F. B.; CALHEIROS, R. O. Desenvolvimento e produtividade da cultura da batata irrigada por gotejamento em dois sistemas de cultivo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n.2, p.354-362, 2007.

TEKALIGN, T.; HAMMES, P.S. Growth and productivity of potato as influenced by cultivar and reproductive growth. I. Stomatal conductance, rate of transpiration, net photosynthesis, and dry matter production and allocation. **Scientia Horticulturae**, v.105, p.13-27, 2005.

THOMAS; H.; HOWARTH, C. J. Five ways to stay green. **Journal of Experimental Botany**, Cambridge, v. 51, p. 329-337, 2000.

TOURNEUX, C.; DEVAUX, A.; CAMACHO, M. R.; MAMANI, P.; LEDENT, L. F. Effects of water shortage on six potato genotypes in the highlands of Bolivia (I): morphological parameters, growth and yield. **Agronomie**, v. 23, n. 2, p.169-179, 2003.

TUBEROSA, R. Phenotyping for drought tolerance of crops in the genomics era. **Frontiers in Physiology**, v. 3, 2012.

TUINSTRA, M. R., EJETA, G., AND GOLDSBROUGH, P. Evaluation of near-isogenic sorghum lines contrasting for QTL markers associated with drought tolerance. **Crop Science**, v.38, p.835–842, 1998.

TURNER, L.B., STEWART, G. R. The effect of water stress upon polyamine levels in barley (*Hordeum vulgare* L.) leaves. **Journal of Experimental Botany**, v.37, p.170-7, 1986.

VREUGDENHIL, D. (editor). **Potato biology and biotechnology- Advances and perspectives**. Elsevier, 2007. 857p.

VAN LOON, C. The effect of water stress on potato growth, development, and yield. **Potato Research**, v.58, p.51-69, 1981.

WALWORTH, J.L., AND D.E. CARLING. Tuber initiation and development in irrigated and non-irrigated potatoes. **American Journal of Potato Research**, v. 79, p.387–395, 2002.

WOLFE, S.; MARANI, A.; RUDICH, J. Effects of temperature and photoperiod on assimilate partitioning in potato plants. **Annals of Botany**, New York, v. 66, n. 5, p. 513-520, Nov. 1983

CAPÍTULO II - Caracterização de clones de batata quanto ao sistema radicular e desenvolvimento de parte aérea

2.1 Introdução

A raiz é uma importante estrutura para a fixação da planta no solo, absorção de água e nutrientes, além de realizar o armazenamento de carboidratos. Neste complexo sistema, ocorre a biossíntese de hormônios fundamentais para o desenvolvimento vegetal (FELDMAN, 1984; MCMICHAEL; PERSSON, 1991). Assim, observar o sistema de raízes de uma planta é um passo fundamental para a compreensão do desenvolvimento integral da mesma (KRAMER; BOYER, 1983).

A batata (*Solanum tuberosum* L.) possui um sistema radicular adventício e superficial, portanto, as eficiências de uso de água e nutrientes são baixas, logo a cultura é muito sensível à seca e a falta de oxigênio na região ativa das raízes (VAN LOON, 1981; VREUGDENHIL et al., 2007).

Desse modo, a caracterização e obtenção de informações através de análises do sistema radicular são imprescindíveis para estudos avançados sobre o desenvolvimento desta cultura (ZARZYNSKA et al., 2017). O conhecimento das características e diferenças radiculares disponível no germoplasma de batata auxilia no entendimento dos mecanismos que a planta pode adotar mediante uma adversidade. E, assim, compreender como ocorre o processo de absorção de nutrientes fundamentais ao desenvolvimento de todas as estruturas da planta (LAHLOU; LEDENT, 2005; KRAMER; BOYER, 1983).

O sistema radicular pode ser avaliado de diferentes formas, mas em todas estas é imprescindível que haja precisão dos resultados. As avaliações do sistema radicular por imagem vêm apresentando excelentes resultados (MILAGRES, 2015; TRACY et al., 2011; WISHART et al., 2012). Entre os diferentes programas computacionais disponíveis para interpretação das imagens de raízes, o Winrhizo (REGENT INSTRUMENTS INC, 2000) vem se destacando, por ter um sofisticado sistema de avaliação, impedindo a sobreposição de imagens, combinando agilidade e precisão da avaliação do sistema radicular (COSTA et al., 2000).

No entanto, para o entendimento por completo da planta são necessários estudos que compreendam outras estruturas, além das subterrâneas. Através da

avaliação da parte aérea é possível compreender processos fotossintéticos e a distribuição de nutrientes pela planta, uma vez que um grande volume de desenvolvimento de parte aérea, em alguns casos, pode representar uma redução na partição de assimilados pela planta para as demais estruturas e uma consequente redução na quantidade de tubérculos produzidos (GREGORY; SIMMONDS, 1992).

O conhecimento detalhado do sistema radicular, em conjunto com avaliações morfológicas e agronômicas que remetam à produção de tubérculos ou produção da parte aérea, permite uma seleção eficiente de genótipos capazes de manter seu desenvolvimento e rendimento em qualquer situação, mesmo sob adversidade de restrição hídrica ou de nutrientes. No entanto, deve haver o conhecimento sobre uma planta com estruturas ideais e adaptadas a determinada circunstância pois assim, será possível desenvolver genótipos com maior adaptação a ambientes adversos (IWAMA, 2008; JOSHI et al., 2016; LAHLOU; LEDENT, 2005; QIAO, 2009; VON LOON, 1981).

O objetivo do presente estudo foi caracterizar clones de batata quanto ao sistema radicular e desenvolvimento da parte aérea visando à identificação de genótipos com características de interesse para serem inseridos em blocos de cruzamento para o desenvolvimento de cultivares com maior potencial de adaptação aos ambientes adversos.

2.2 Material e Métodos

Descrição do experimento:

O experimento foi conduzido em estufa plástica na Embrapa Clima Temperado, em Pelotas, Rio Grande do Sul. Foram avaliados 11 genótipos de batata (Tabela 1). Tubérculos-semente foram alocados em esponjas fenólicas no dia 10 de Agosto de 2017 e, após quatro semanas, quando as plantas atingiram o estágio de emergência, foram transferidos para rizotrons, que são estruturas metálicas com uma face de vidro, para visualização das raízes da batata.

Tabela 1. Genótipos de batata avaliados quanto ao sistema radicular. Pelotas, 2018.

Genótipos	Classificação *	Observação	Origem
Agata	Precoce	Cultivar	Holanda
Pérola	Precoce	Cultivar	Brasil
Asterix	Intermediário	Cultivar	Holanda
C2337-18-02	Intermediário	Clone avançado	Brasil
BRSIPR Bel	Intermediário	Cultivar	Brasil
BRS F63 (Camila)	Intermediário	Cultivar	Brasil
Desiree	Intermediário	Cultivar	Holanda
Atlantic	Intermediário	Cultivar	Estados Unidos da América
F88-01-05	Intermediário	Clone avançado	Brasil
BRS Ana	Tardio	Cultivar	Brasil
F183-08-01	Tardio	Clone avançado	Brasil

*Classificação dos genótipos conforme o início do período de tuberização. Fonte: ROHR (2016).

** País de origem.

Para visualizar o desenvolvimento radicular foram utilizados rizotrons em formato retangular (Figura 1(A)), com altura de 62cm, largura 53cm e espessura de 10cm, perfazendo volume útil de 32860 cm³. Os rizotrons foram constituídos de uma estrutura metálica onde foi encaixado uma placa de vidro com 60 cm x 50cm x 04 mm. Foram preenchidos com o substrato comercial Turfa fértil® (a base de turfa e casca de arroz carbonizado, aditivado com N (0,04%), P₂O₅ (0,04%), K₂O (0,05%) e calcário calcinado (1,5%)). Os rizotrons ficaram apoiados em cavaletes de madeira com 45° de angulação. Tal inclinação favorece o crescimento e o desenvolvimento das raízes na face interna do vidro, permitindo a visualização e captura de imagens para se realizar as avaliações dos caracteres inerentes ao desenvolvimento radicular (Figura A (B)).

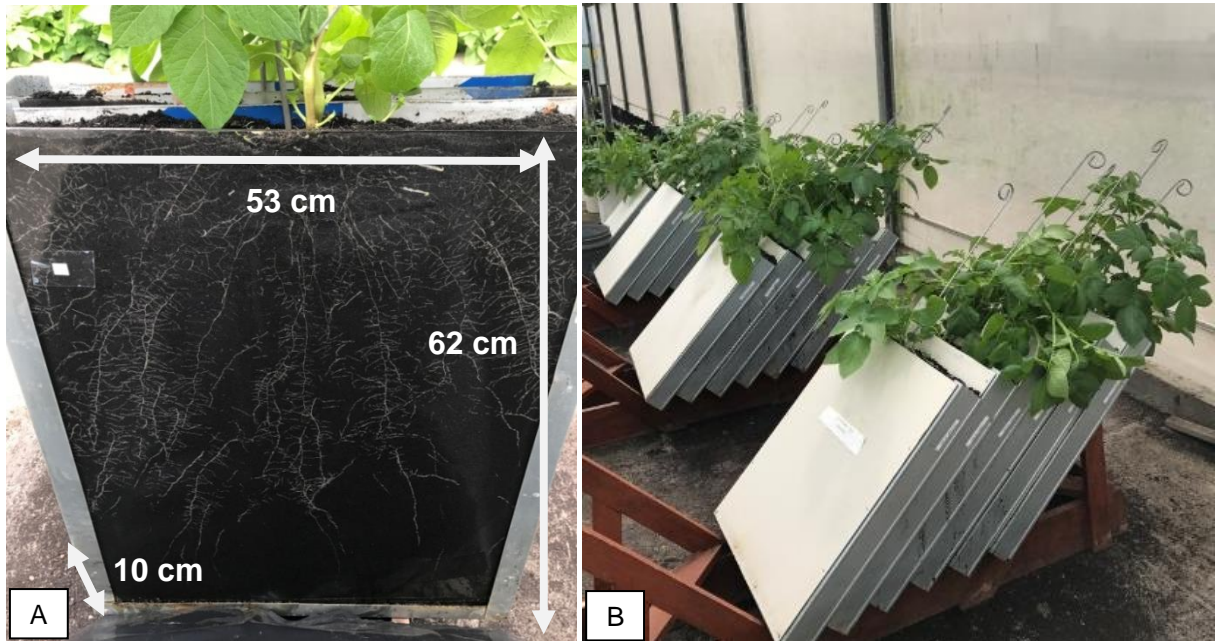


Figura 1. (A) Imagem do rizotron, com as medidas de altura, largura e profundidade. (B) Rizotrons apoiados em cavaletes em ângulo de 45°. Pelotas-RS, 2018.

O delineamento experimental foi completamente casualizado, com duas repetições.

Avaliações do sistema radicular dos genótipos de batata foram realizadas aos 60 dias após o plantio. A avaliação constituiu na captura de imagens de cada unidade experimental (rizotron), utilizando-se câmera fotográfica digital semiprofissional. As imagens passaram por processo de triagem, sendo selecionadas aquelas com melhor resolução e nitidez. Após este processo foram analisadas no software WinRhizo, que, por associação, determina a quantidade de pixels relacionados às raízes, em cada imagem (cor branca). Por meio de calibração, o aplicativo converte a quantidade de pixels brancos em uma unidade métrica, expressa em centímetros. A partir destas estimativas são calculados o volume total de raízes (cm^3) (VOL), o comprimento total de raízes (cm) (COMP), a área superficial de raízes (cm^2) (ASR) e o diâmetro médio de raízes (mm) (DMR).

Para caracterização da parte aérea da planta, aos 75 dias após o plantio, no dia 24 de outubro de 2017, quando as raízes atingiram a base do rizotron, foram cortadas as hastes de cada planta sendo, após, destacadas as folhas. As folhas passaram pelo

medidor de área foliar. Para mensuração da área foliar (AF), expressa em mm², foi utilizado o integrador da Li-Cor modelo LI 3000 (Figura 2).

Para determinação da massa seca da parte aérea, o total de folhas e de hastes das plantas foram secos em estufa de circulação de ar forçado a temperatura de 65±5°C até peso constante, sendo obtido a massa seca de folhas (MSF) e a massa seca de hastes (MSH), ambos em gramas/planta.

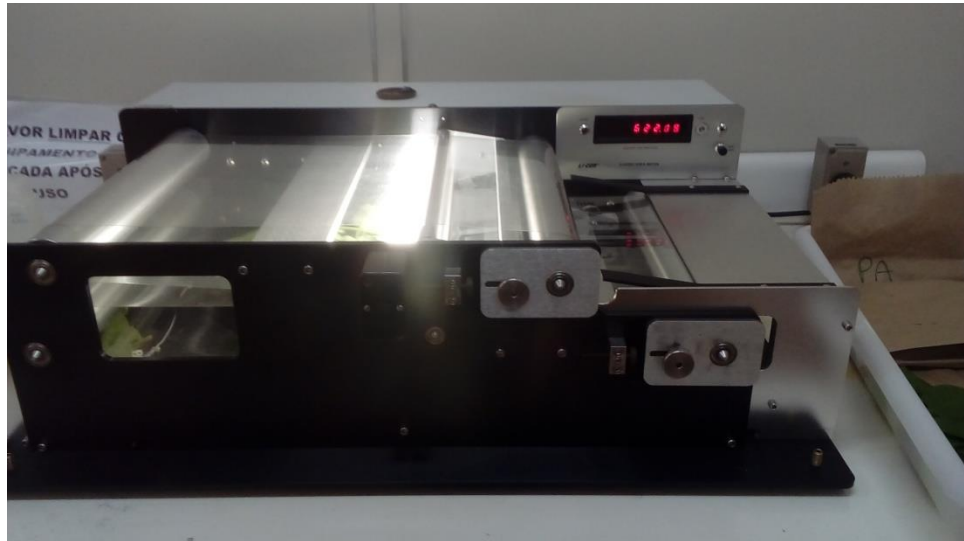


Figura 2. Mensuração da área foliar através do integrador LI-COR modelo LI 3000. Pelotas-RS, 2018.

Análise estatística:

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% da probabilidade de erro. Com base nas médias foi realizada a análise de correlação de Pearson para todas as variáveis mensuradas. As magnitudes dos coeficientes de correlação foram classificadas conforme Carvalho et al. (2004): $r = 0$ (nula); $0 < |r| \leq 0,30$ (fraca); $0,30 < |r| \leq 0,60$ (média); $0,60 < |r| \leq 0,90$ (forte); $0,90 < |r| \leq 1$ (fortíssima) e $|r| = 1$ (perfeita).

As análises foram realizadas com uso do pacote estatístico Genes (CRUZ, 2013).

2.3 Resultados e Discussão

Para todas as variáveis analisadas foi significativa a diferença entre os genótipos ($P < 0,05$). Para os caracteres relacionados ao sistema radicular, ao analisar o volume das raízes (VOL) foi constatado que as cultivares Atlantic, BRS Ana e o clone F88-01-05 apresentaram os maiores volumes de raízes, diferindo das cultivares Agata e Perola. Os demais clones apresentaram valores intermediários (Tabela 2). O volume de raízes é um indicativo do bom desenvolvimento do sistema radicular, logo, genótipos com maiores volumes possuem maiores campos de absorção de água e sais minerais, uma vez que o sistema radicular é o responsável por este processo (STALHAM; ALLEN, 2001).

Segundo estudo de Battilani et al. (2008), o crescimento, a distribuição e o volume das raízes de batata são resultados de suas características genóticas e da sua interação com o ambiente. Assim, genótipos com raízes capazes de ocuparem maiores volumes respondem melhor às adversidades, pois apresentam maior potencial em alongar-se e procurar novas fontes de nutrientes ou água.

Tabela 2 - Volume de raízes (VOL) em cm³, comprimento de raízes (COMP) em cm, área total da superfície de raízes (ASR) em cm², diâmetro médio de raízes (DMR) em mm, avaliados aos 60 dias após o plantio e avaliação da massa seca de folhas (MSF), massa seca de hastes (MSH), em grama/planta, e área foliar (AF), em mm², mensuradas aos 75 dias após o plantio, de 11 genótipos de batata cultivados em estufa plástica em placas do tipo rizotron. Pelotas, 2018.

Genótipos	Variáveis						
	VOL	COMP	ASR	DMR	MSF	MSH	AF
Agata	20,65 c	3276,59 bc	922,01 b	0,90 de	4,97 c	1,35 d	2029,94 bc
Asterix	31,69 abc	4029,33 ab	1266,68 ab	1,00 bcd	5,09 c	1,68 cd	1692,86 c
C2337-18-02	27,45 abc	3186,77 bc	1048,36 ab	1,05 bc	12,24 abc	3,97 cd	4107,36 abc
Ana	42,00ab	3429,2 abc	1345,28 ab	1,25 a	18,49 a	9,02 ab	5782,70 ab
Bel	33,17 abc	4312,92 ab	1338,73 ab	0,98 cde	8,97 abc	5,77 bcd	3361,83 abc
Camila	35,85 abc	4652,84 a	1445,88 ab	0,99 cd	7,26 abc	2,72 cd	2649,62 abc
Desiree	25,24 bc	2479,09 c	886,77 b	1,14 ab	12,59 abc	6,32 abc	4417,28 abc
Pérola	21,86 c	3950,2 ab	1041,6 ab	0,84 e	6,34 bc	3,32 cd	2992,22 abc
F183-08-01	39,35 abc	3269,55 bc	1271,56 ab	1,24 a	18,10ab	10,83 a	6129,51 a
Atlantic	44,57 a	4333,5 ab	1557,83 a	1,14 ab	16,81 abc	5,23 bcd	5291,39 abc
F88-01-05	41,25 ab	4601,01 a	1544,42 a	1,07 bc	13,74 abc	4,37 bcd	3715,55 abc
Médias	33	3774,63	1242,64	1,05	11,32	4,96	3833,66
CV (%)	14,47	8,64	11,84	3,31	26,28	24,74	25,45

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente entre si ($p \leq 0,05$).

Para a variável comprimento de raiz foi observado que a cultivar BRS F63 (Camila), o clone F88-01-05, seguido respectivamente das cultivares Atlantic, BRS Bel, Asterix e Perola, apresentaram os maiores valores, diferindo da cultivar Desiree. Os demais clones apresentaram valores intermediários (Tabela 2). Genótipos que apresentam raízes mais longas apresentam potencial para buscar mais profundamente os nutrientes requeridos (QIAO, 2009), assim como água (BATTILANI et al., 2008).

Zarzynska et al. (2017), ao avaliar o comprimento das raízes de cinco genótipos de batata, observou que os valores desta variável variaram de 80.000 a 140.000 cm², em rizotrons com 1m de altura e 40 cm de largura, identificando uma variação no comprimento total de raízes de mais de 40% entre os clones avaliados. No presente estudo, foi observada uma variação 87,65%, indicando grande variabilidade para esta característica no germoplasma avaliado.

Em relação à área superficial de raízes (ASR), a cultivar Atlantic e o clone F88-01-05 apresentaram maiores valores, diferindo significativamente das cultivares Agata e Desiree. Os demais genótipos apresentaram valores intermediários (Tabela 2). A ramificação das raízes é essencial para aumentar a possibilidade da planta em procurar, em diferentes camadas do solo, água e nutrientes, além de melhorar a ancoragem das raízes no solo (JOSHI et al., 2016).

Quando avaliado o diâmetro médio de raízes (DMR) foi observado que a cultivar BRS Ana e o clone F183-08-01, juntamente com as cultivares Desiree e Atlantic, diferiram estatisticamente das cultivares BRS F63 (Camila), BRSIPR Bel, Agata e Perola. Os demais genótipos formaram um grupo intermediário (Tabela 2). O diâmetro médio de raízes é uma característica muito importante, pois permite identificar genótipos com maior capacidade de tolerar adversidades ambientais, principalmente às associadas ao estresse hídrico. Em batata, é observado que para a manutenção da produção de tubérculos mediante situação adversa, é imprescindível pequenos diâmetros de raízes na faixa mais superficial do solo, ou seja, até 20cm de profundidade. A disponibilidade de nutrientes e água na camada superficial do solo é mais abundante, sendo mais interessante maior número de raízes, com menor diâmetro, no lugar de um menor número de raízes de diâmetros maiores (IWAMA, 2008). Em contrapartida, é preferencial para a cultura da batata maiores diâmetros médios de raízes, em raízes localizadas mais profundamente, maiores DMR nas raízes mais compridas, visto que, possuirão maior calibre para absorver água e nutrientes disponíveis em camadas mais inferiores do solo (IWAMA, 1998).

Para os caracteres relacionados à parte aérea, com relação à variável massa seca de folhas (MSF) a cultivar BRS Ana e o clone F183-08-01 apresentaram os maiores valores, diferindo das cultivares Perola, Asterix e Agata, que apresentaram a menor produção de MSF. Em consideração à massa seca de hastes (MSH), a cultivar BRS Ana e o clone F183-08-01 apresentaram os maiores valores, diferindo das cultivares Perola, BRS F63 (Camila), Asterix, Agata e do clone C2337-18-02 (Tabela 2). Estes mesmos genótipos, que apresentaram maiores MSF e MSH, apresentaram maiores volume e comprimento de raízes.

O clone F183-08-01 apresentou a maior área foliar (AF), seguido da cultivar BRS Ana, ambos diferiram estatisticamente da cultivar Asterix, sendo que o clone F183-08-01 também diferiu da cultivar Agata. Os demais genótipos apresentaram valores intermediários (Tabela 2). Assim como no presente estudo, Lenz (2017), ao avaliar cinco genótipos de batata, observou a menor área foliar para a cultivar Asterix.

A compreensão das características do sistema radicular e do desenvolvimento da parte aérea da batata, bem como as relações estabelecidas no seu crescimento, permite o entendimento da partição de assimilados. Para aumentar a produção e potencializar a produção de tubérculos, que é o órgão de maior interesse comercial da batata, se faz necessário atingir a produção potencial de assimilados, a nível integral da planta, e direcionar para os tubérculos a maior porcentagem possível de assimilados (DELLAI, 2007; VREUGDENHIL et al., 2007). No entanto, o transporte destes assimilados para os tubérculos dependerá da força do dreno (SCHVAMBACH et al., 2002). Contudo, a fixação de biomassa por uma cultura dependerá da radiação solar recebida durante seu ciclo e de condições ambientais adequadas (COCKSHULL et al., 1992).

Mediante os resultados encontrados, para as características de raízes avaliadas, as cultivares BRS Ana e Atlantic mostram-se como genótipos de grande interesse para os programas de melhoramento, pois apresentaram sistema radicular com maiores volumes, comprimento, área superficial e diâmetro médio de raízes. Para as características relacionadas a parte aérea da planta, a cultivar BRS Ana apresentou os maiores valores de massa seca de folhas e de hastes, assim como a maior área foliar. Esta observação sugere que seu potencial fotossintético, através do seu desenvolvimento da parte aérea, pode estar associados a sua capacidade de absorção de nutrientes e água pelas raízes (BATTILANI et al., 2008).

Por outro lado, a cultivar Perola apresentou os valores mais baixos para as variáveis volume, diâmetro médio de raízes, massa seca de folhas e massa seca de hastes. As cultivares Agata e Desiree, também apresentaram valores baixos para o volume, comprimento e área superficial de raízes. Sendo que, a cultivar Agata, ainda apresentou os valores mais baixos para as variáveis de diâmetro médio de raízes e todas as variáveis associadas à parte aérea.

No presente estudo, não foi avaliada a produção de tubérculos, visto que a capacidade de produção de tubérculos é inibida pela área disponível no rizotron para o desenvolvimento dos tubérculos. Porém, as informações obtidas auxiliam na escolha de genótipos que apresentam caracteres de interesse com potencial de contribuir positivamente para a produção de tubérculos.

Com relação aos coeficientes de correlação apresentados na Tabela 3, entre as variáveis analisadas, foram observadas dez correlações significativas com diferentes sentidos e magnitudes.

Tabela 3 - Coeficientes de correlação simples de Pearson entre os caracteres volume (VOL) em cm³, comprimento de raízes (COMP) em cm, área total da superfície de raízes (ASR) em cm², diâmetro médio de raízes (DMR) em mm, massa seca de folhas (MSF) e massa seca de hastes (MSH), em gramas/planta, e área foliar (AF) em mm² de 11 genótipos de batata. Pelotas, 2018.

	VOL	COMP	ASR	DMR	MSF	MSH	AF
VOL	1						
COMP	0,461	1					
ASR	0,900**	0,799**	1				
DMR	0,695**	-0,31	0,319	1			
MSF	0,714*	-0,201	0,379	0,913**	1		
MSH	0,52	-0,331	0,177	0,832**	0,854**	1	
AF	0,590	-0,305	0,240	0,865**	0,968**	0,911**	1

(*) e (**) significativo em 5% e 1% de probabilidade de erro.

A variável volume apresentou correlação positiva forte com as variáveis área superficial de raízes ($r=0,900$), diâmetro médio de raízes ($r=0,695$) e massa seca de folhas ($r=0,714$). A correlação forte entre volume e área superficial de raízes e diâmetro médio de raízes é observada também em outros trabalhos que realizaram experimentos similares em batata (IWAMA, 2008, JOSHI et al., 2016), e é explicada de modo que o aumento do volume, resulta em um aumento da área superficial de raízes e, por consequência desta expansão, aumenta o diâmetro médio das raízes nas extremidades.

Quando observada as correlações estabelecidas com a variável comprimento foi evidenciada correlação forte com área superficial de raízes ($r=0,799$), indicando que, havendo um maior comprimento de raízes, conseqüentemente haverá maior área superficial de raízes, o que está em concordância com outros estudos também realizados com batata (IWAMA, 1998; JOSHI et al., 2016; LAHLOU; LEDENT, 2005; SILBERBUSH, 2013; WISHART et al., 2012).

A variável diâmetro médio de raízes apresentou correlação positiva fortíssima com massa seca de folhas ($r=0,913$) e forte com massa seca de hastes ($r=0,832$) e com área foliar ($r=0,865$). O diâmetro médio de raízes em batata costuma ser maior em raízes mais superficiais, pois contribui com a ancoragem da planta ao solo e também pelo fato de aumentar o calibre das extremidades das raízes para absorver água e nutrientes mais superficiais (JOSHI et al., 2016). Logo, sua correlação com variáveis de parte aérea como massa seca de folhas, massa seca de hastes e área foliar é um indicativo de que a absorção de água e nutrientes está ocorrendo de forma que a planta, através de seu sistema de condução, está direcionando e particionando para todas as estruturas do vegetal (VREUGDENHIL, 2007).

Já a variável massa seca de folhas apresentou correlação positiva forte com massa seca de hastes ($r=0,854$) e fortíssima com área foliar ($r=0,968$). Esta correlação é explicada pelo fato de quanto maior a quantidade de folhas, maior deverá ser a quantidade de hastes para sustentar esta estrutura aérea, o que expressará uma maior área foliar, quando avaliado estas folhas em um medidor de área foliar. Logo, a correlação positiva fortíssima da variável massa seca de hastes com área foliar ($r=0,911$), se explica da mesma forma.

Ribeiro (2014), ao avaliar em rizotrons raízes de algodão observou que o comprimento total de raízes correlacionou-se positivamente com a área superficial de raízes ($r=0,94$) e o volume total de raízes ($0,71$), revelando que as plantas com maior comprimento de raízes também possuíam, em média, maior área e maior volume de raízes. E entre área superficial de raízes e volume de raízes também foi positiva e de alta magnitude a correlação ($r=0,79$) indicando que plantas com maior área superficial de raízes tendem a apresentar também maior volume de raízes, estes dados corroboram com o que foi encontrado no presente trabalho. Bai et al. (2013), ao avaliar o desenvolvimento radicular de trigo também encontrou correlações positivas e de similar magnitude entre o volume total de raízes e diâmetro médio de raízes ($r=0,95$).

Considerando o painel de mudança climática global, genótipos de batata tolerantes à seca e capazes de produzir rendimentos estáveis independente das condições ambientais se tornarão cada vez mais importantes (COMAS et al., 2013; HIJMANS, 2003). O desenvolvimento de novas cultivares com melhores características radiculares para absorver água de regiões mais profundas do solo é necessário. Assim como em estudos anteriores, que mostraram que as cultivares de batata diferem no tamanho total da massa radicular e na distribuição das raízes das camadas individuais do solo (BATTILIANI et al. 2008; JOSHI et al. 2016; OPENA; PORTER 1999; STALHAM; ALLEN 2001), no presente trabalho também foi detectada esta variabilidade com relação ao sistema radicular, e para produção de biomassa de parte aérea no germoplasma avaliado. Estes resultados corroboram para o desenvolvimento de cultivares com maior adaptação às condições adversas de cultivo.

2.4 Conclusões

Foram observadas diferenças significativas no germoplasma de batata avaliado com relação ao sistema radicular e ao desenvolvimento da parte aérea.

As cultivares BRS Ana e Atlantic apresentaram os melhores valores para as variáveis de raiz. Já o clone F183-08-01 e as cultivares Desiree e BRS Ana apresentaram os melhores valores para as variáveis de parte aérea.

2.5 Referências

BAI, C.; LIANG, Y.; HAWKESFORD, M. J. Identification of QTLs associated with seedling root traits and their correlation with plant height in wheat. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 64, n. 6, p. 1745-1753, 2013.

BATTILANI, A.; PLAUBORG, F.L.; HANSEN, S.; DOLEŽAL, F.; MAZURCZYK, W.; BIZIK, J. Root development model for potato management. In: **Proceedings of the Vth IS on Irrigation of Horticulture Crops Acta Horticulture**, v. 792, p. 69-75. 2008.

CARVALHO, F. I. F. et I. **Estimativas e aplicações da correlação no melhoramento vegetal**. Pelotas, Ed. Universitária da UFPEL, 2004. 142p.

COCKSHULL, K. E.; GRAVES, C. J.; CAVE, C. R. J. The influence of shading on yield of glasshouse tomatoes. **Journal of Horticulture Science**, v. 67, p.11-24, 1992.

COMAS, L. H.; BECKER, S. R.; CRUZ, V. M. V.; BYRNE, P. F.; DIERIG, D. A. Root traits contributing to plant productivity under drought. **Frontiers in Plant Science**, v. 4, p. 1-16, 2013.

COSTA, C.; DWYER, L. M.; HAMILTON, R. I.; HAMEL, C.; NANTAIS, L.; SMITH, D. A sampling method for measurement of large root systems with scanner-based image analysis. **Agronomy Journal**, v. 92, p.621–627, 2000.

CRUZ, C.D. GENES - A software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum**, v.35, n.3, p.271-276, 2013.

DELLAI, Jacso. **Densidade de plantio e poda de parte aérea na partição de massa seca de plantas de batata em hidroponia**. 2007. 56f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Produção vegetal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Rio Grande do Sul. 2007.

FELDMAN, L. J. Regulation of root development. **Annual Review Plant Physiology**, v. 35, p. 223-242, 1984.

GREGORY, P. J; SIMMONDS, L. P. Water relations and growth of potatoes. **The potato crop**, p. 214-246, 1992.

HIJMANS, R. J. The effect of climate change on global potato production. **American Journal of Potato Research**, v.80, p. 271–280, 2003.

IWAMA, K. Physiology of the potato: New insights into root system and repercussions for crop management. **Potato Research**, v. 51, p. 333–353, 2008.

IWAMA, K.; UEMURA, T.; UMEMURA, Y. A simple method for selection of potato lines with a higher root/ total ratio at an early stage in the seedling generation. **Plant Production Science**, v.1, n.4, p.286-287, 1998.

JOSHI, M.; FOGELMAN, E.; BELAUSOV, E.; GINZBERG, I. Potato root system development and factors that determine its architecture. **Journal of Plant Physiology**, v. 205, p. 113–123, 2016.

KRAMER, P. J.; BOYER, J. S. **Water relations of plants and soils**. Academic Press, Inc., 1995. 495 p.

LAHLOU, O.; LEDENT, J. F. Root mass and depth, stolons and root formed on stolons in four cultivars of potato under water stress. **European Journal of Agronomy**, v. 22, p.159–173, 2005.

LENZ, Emerson Andrei. **Crescimento e partição de assimilados em batata, avaliação de clones-elite e correlação entre caracteres de aparência de tubérculo nas primeiras gerações de seleção**. 2017. 78f. Dissertação (Mestrado em Agronomia- Melhoramento genético de plantas) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, Rio Grande do Sul. 2017.

MCMICHAEL, B. L.; PERSSON, H. (eds,.). **Plant roots and their environment**. Elsevier, Amsterdam, 1991.

MILAGRES, Carla do Carmo. **Crescimento do sistema radicular, índices de nitrogênio e produtividade de tubérculos de batata, em função do modo de aplicar nitrogênio**. 2015. 86f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais. 2015 .

OPENA, G. B.; PORTER, G. A. Soil management and supplemental irrigation effects on potato: II. Root growth. **Agronomy Journal**, v. 91, p. 426–431, 1999.

QIAO, Yazhen. **Root Characteristics of Potato Crops under Different Levels of Organic Nitrogen Treatments**. 2009. 29f. Tese (Doutorado em Sistemas de agricultura biológica)- Universidade Wageningen, Província de Guéldria, Países Baixos. 2009.

REGENT INSTRUMENTS. **User Guide**, Mac/ WinRHIZO, v.4, n. 1, 2000.

RIBEIRO, Victor Alves. **Caracterização genética de atributos do desenvolvimento radicular em algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L.)**.

2014. 66p. Dissertação (Mestrado em Genética e melhoramento de plantas) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Goiás. 66p.

ROHR, Angela. **Parâmetros genéticos associados ao déficit hídrico e estrutura populacional em germoplasma de batata (*Solanum tuberosum* L.)**. 2016. 129f. Tese (Doutorado em Agronomia- Melhoramento genético de plantas) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, Rio Grande do Sul. 2016.

SCHVAMBACH, J. L.; ANDRIOLO, J. L.; HELDWEIN, A. B. Produção e distribuição da massa seca de pepino para conserva em diferentes populações de plantas. **Ciência Rural**, v. 32, n.1, p.35-41, 2002.

SILBERBUSH, M. Root study: Why is it behind other plant studies? **American Journal of Plant Sciences**, v.4, p. 197–202, 2013.

STALHAM, M. A.; ALLEN, E. J. Effect of variety, irrigation regime and planting date on depth, rate, duration and density of root growth in the potato (*Solanum tuberosum*) **Crop. Journal of Agricultural Science**, v. 137, p. 251–270, 2001.

TRACY, S. R.; BLACK, C. R.; ROBERTS, J.A.; MOONEY, S. J. Soil compaction: A review of past and present techniques for investigating effects on root growth. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.91, p. 1528–1537, 2011.

VAN LOON, C. D. The effect of water stress on potato growth, development, and yield. **American Potato Journal**, v. 58, p. 51-69, 1981.

VREUGDENHIL, D. (editor). **Potato biology and biotechnology- Advances and perspectives**. Elsevier, 2007. 857p.

WISHART, J.; George, T.S.; Brown, L.K.; Ramsay, G.; Bradshaw, J. E. White, P.J.; Gregory, P.J. Measuring variation in potato roots in both field and glasshouse: The search for useful yield predictors and a simple screen for root traits. **Plant and Soil**, v. 368, p.231–249, 2012.

ZARZYNSKA, K.; BOGUSZEWSKA-MAŃKOWSKA, D.; NOSALEWICZ, A. Differences in size and architecture of the potato cultivars root system and their tolerance to drought stress. **Plant, Soil and Environment**, v.63, n. 4, p.159-164, 2017.

Considerações finais

Mediante as novas condições climáticas globais e a grande suscetibilidade da batata à seca, o presente trabalho contribui com a geração de conhecimento acerca da caracterização morfológica, agronômica e fisiológica, bem como do sistema radicular de alguns genótipos que estão sendo usados pelo programa de melhoramento genético da Embrapa para o desenvolvimento de germoplasma mais adaptado a essa nova demanda. Como pontos principais a serem considerados destaca-se:

No trabalho desenvolvido foi mostrado que a resposta de cultivares e clones avançados de batata ao déficit hídrico é dependente do genótipo. Dessa forma, os genótipos considerados tolerantes, ou genótipos que apresentaram os melhores resultados quando avaliados na condição de déficit neste trabalho, poderão ser utilizados como genitores para compor os blocos de cruzamento visando o desenvolvimento de cultivares que apresentem tolerância à seca.

Outra consideração importante a se fazer, é quanto à utilização de índices de tolerância que consideram a produção de tubérculos em situações de estresse e de controle e foram de grande importância para a determinação de genótipos mais tolerantes a essa adversidade.

Dentre os caracteres avaliados, destaca-se a variável morfológica e agronômica de peso seco total de tubérculos que está diretamente relacionada com a produção de tubérculos e a variável de conteúdo de clorofila que pode ser utilizada como critério para seleção indireta para tolerância a seca.

A caracterização do sistema radicular permitiu identificar os genótipos com caracteres de interesse.

Este trabalho de dissertação é relevante, pois contribui para entender os mecanismos adotados pela batata em situação de déficit hídrico, assim como, para conhecer o sistema radicular dos genótipos. Logo, um importante passo foi dado para avançar nos estudos de tolerância à seca e implementar essa informação no programa de melhoramento genético de batata, visando a tolerância à seca.

Referências Introdução geral

ANITHAKUMARI, A. M. **Genetic dissection of drought tolerance in potato**. Thesis (Doctor in plant breeding). 2011. 152f. Wageningen University, Wageningen, 2011.

CABELLO, R.; MONNEVEUX, P.; BONIERBALE, M.; KHAN, M. A. Heritability of yield components under irrigated and drought conditions in andigenum potatoes. **American Journal of Potato Research**, v. 91, p. 492-499, 2014.

DEBLONDE, P. M. K.; LEDENT, J. F. Effects of moderate drought conditions on green leaf number, stem height, leaf length and tuber yield of potato cultivars. **European Journal of Agronomy**, v.14, p. 31-41, 2001

GLENNON, L. The potato in the food business – past to present. Disponível em: mar 2000 <[http:// www.potato.congress.org/article](http://www.potato.congress.org/article)>. Acesso em 20 de janeiro de 2018.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. In: Levantamento sistemático da produção agrícola: Pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil. Disponível em: <[ftp://ftp.ibge.gov.br/.../Producao_agricola/Levantamento_sistemático_da_produção_agricola_\[mensal\]/Fasciculo.zip](ftp://ftp.ibge.gov.br/.../Producao_agricola/Levantamento_sistemático_da_produção_agricola_[mensal]/Fasciculo.zip)> . Acesso em 19 de janeiro de 2018.

IWAMA, K. Physiology of the potato: New insights into root system and repercussions for crop management. **Potato Research**, v. 51, p. 333–353, 2008.

JEFFERIES, R.A.; MACKERRON, D.K.L. Thermal time as a non-destructive method of estimating tuber initiation in potatoes. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v.108, p.249-252, 1987.

LOPES , M. S.; ARAUS, J. L.; VAN HEERDEN, P. D. R.; FOYER, C. H. Enhancing drought tolerance in *C₄* crop. **Journal of Experimental Botany**, v. 62, n.9, p.3135-3153, 2011.

LYNCH, J. P. Roots of the second green revolution. **Australian Journal of Botany**, v. 55, p. 493-512, 2007.

MAMANI, P. Herbicides. An alternative for the control of *Spergula arvensis* weed in potato cultivation in Bolivia. **Revista Latino-americana de la Papa**, v.12, p. 35-48, 2000.

MARTÍNEZ, C. A. ; MORENO, U. Expresiones fisiológicas de resistencia a la sequia en dos variedades de papa sometidas a estrés hídrico en condiciones de campo. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 4, n.1, p. 33-38, 1992.

MONNEVEUX, P.; RAMÍREZ, D. A; PINO, M.T. Drought tolerance in potato (*Solanum tuberosum* L.): Can we learn from drought tolerance research in cereals? **Plant Science**, v. 205, p. 76-86, 2013.

PENNISI, E. The blue revolution, drop by drop, gene by gene. **Science**, v.320, p.171-173. 2008.

PEREIRA, A. S.; DANIELS, J. **O cultivo da batata na região Sul do Brasil**. Embrapa, Brasília, DF, 2003. 567 p.

SILVA, J.; PIRES, R. C. M.; SAKAI, E.; SILVA, T. J. A, ANDRADE, J. E.; ARRUDA, F. B.; CALHEIROS, R. O. Desenvolvimento e produtividade da cultura da batata irrigada por gotejamento em dois sistemas de cultivo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n.2, p.354-362, 2007.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. Tradução: Armando Molina Divan Junior et al., 5ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918p.

TOURNEUX C., DEVAUX A., CAMACHO M.R., MAMANI P., LEDENT J.F., Effect of water shortage on six potato genotypes: morphological parameters, growth and yield in the highlands of Bolivia (I), **Agronomie**, v.23, p.169–179, 2003.

YUAN, B.Z.; NISHIYAMA, S.; KANG, Y. Effects of different irrigation regimes on the growth and yield of drip-irrigated potato. **Agriculture and Water Management**, v.63, p.153-167, 2003.

