

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL**

**ARNALDO HENRIQUE DE OLIVEIRA CARVALHO**

**ARRANJOS POPULACIONAIS PARA O CULTIVO DE  
YACON**

**ALEGRE - ES  
2018**

ARNALDO HENRIQUE DE OLIVEIRA CARVALHO

**ARRANJOS POPULACIONAIS PARA O CULTIVO DE YACON**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Produção Vegetal na área de concentração em Fitotecnia.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Luiz de Oliveira.  
Coorientador: Prof. Dr. Wallace Luís de Lima.

ALEGRE - ES  
2018

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)  
(Biblioteca Setorial Sul, Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

---

C331a Carvalho, Arnaldo Henrique de Oliveira, 1974-  
Arranjos populacionais para o cultivo de yacon / Arnaldo Henrique  
de Oliveira Carvalho. – 2018.  
81 f. : il.

Orientador: Fábio Luiz de Oliveira.  
Coorientador: Wallace Luís de Lima.  
Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Federal  
do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias.

1. Raiz tuberosa. 2. Cultivos agrícolas – Rendimento. 3. Yacon. I.  
Oliveira, Fábio Luiz de. II. Lima, Wallace Luís de. III. Universidade  
Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias e Engenharias.  
IV. Título.

CDU: 63

---

Bibliotecária: Lizzie de Almeida Chaves – CRB-6 ES-000871/O

# ARNALDO HENRIQUE DE OLIVEIRA CARVALHO

ARNALDO HENRIQUE DE OLIVEIRA CARVALHO

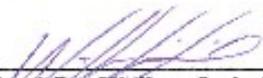
## ARRANJOS POPULACIONAIS PARA O CULTIVO DE YACON

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Produção Vegetal na área de concentração em Fitotecnia.

Aprovada em 22 de maio de 2018

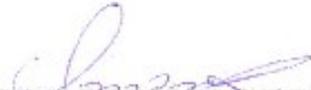
### COMISSÃO EXAMINADORA

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Fábio Luiz de Oliveira  
Universidade Federal do Espírito Santo  
Orientador

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Wallace Luis de Lima  
Instituto Federal do Espírito Santo  
Coorientador

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Leandro Pin Dalvi  
Universidade Federal do Espírito Santo  
Examinador interno ao PPGPV

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Cíntia dos Santos Bento  
Universidade Federal do Espírito Santo  
Examinador externo ao PPGPV

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Otacilio José Passos Rangel  
Instituto Federal do Espírito Santo  
Membro externo à UFES

A Deus, que iluminou o meu caminho.

A Thaiz e Valentina, pelo apoio e amor.

Aos meus pais, Maria das Graça e José Lopes, minha irmã Vânia Ágda que, por meio de palavras e atitudes, contribuíram para a realização desse sonho.

*"Todos nós sabemos  
alguma coisa.  
Todos nós ignoramos  
alguma coisa. Por isso,  
aprendemos sempre"*

Paulo Freire

*"O principal objetivo  
da educação é criar pessoas  
capazes de fazer coisas novas  
e não simplesmente repetir o  
que as outras gerações fizeram."*

Jean Piaget

*"Talvez não tenha conseguido fazer o melhor,  
mas lutei para que o melhor fosse feito.  
Não sou o que deveria ser,  
mas Graças a Deus, não sou o que era antes"*

Marthin Luther King

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pela vida, por ter me abençoado durante a realização desse curso e assim conquistar essa vitória;

A Thaiz e Valentina, pelo amor, pelo carinho, pelo incentivo e pela compreensão diante dessa etapa importante em nossas vidas;

A Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), pela oportunidade de realização do curso e pela contribuição à minha formação acadêmica;

Ao Instituto Federal do Espírito Santo - Ifes, Campus Ibatiba, por me permitir conciliar as atividades profissionais com as acadêmicas;

Ao amigo e professor Fábio Luiz de Oliveira que, durante esta caminhada, foi conselheiro, companheiro e exemplo; que, confiou no meu trabalho, dando-me liberdade para condução desta pesquisa, proporcionando a construção de um trabalho coletivo, contribuindo para o meu crescimento pessoal e profissional;

Ao professor Wallace Luís de Lima e aos amigos(as) e companheiros(as) de trabalho do setor de Agroecologia do Ifes, Daílton, Ariane, Mário, Rafael, Valdir, Fábio, Pedro, e do Laboratório de Fitotecnia da UFES, Diego, Mateus, Wellington, Cristiano, Magno, Ariany, pelo apoio e todo aprendizado, pela confiança e dedicação para realização deste trabalho;

Aos professores José Francisco Teixeira do Amaral e Edvaldo Fialho dos Reis pelo apoio na minha jornada acadêmica;

Aos demais professores e colegas do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal (PPGPV), pela contribuição na minha vida acadêmica e pessoal;

Ao Ifes - Campus de Alegre, a Célio Raposo e Evandro Guizard que contribuíram para realização deste trabalho;

A todos que, direta ou indiretamente, me ajudaram a conduzir com êxito este trabalho de tese.

## **BIOGRAFIA**

ARNALDO HENRIQUE DE OLIVEIRA CARVALHO, filho de Maria das Graças de Oliveira Carvalho e José Lopes de Carvalho, nasceu em 15 de agosto de 1974, na Cidade de Caratinga, Estado de Minas Gerais. Em 1994, ingressou no curso de Licenciatura Plena em Ciências Agrícolas, na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - UFRRJ, vindo a se graduar em dezembro de 1998, recebendo o título de Licenciado em Ciências Agrícolas. Em março de 2000, ingressou no curso de Pós-Graduação Lato Sensu em Ciências do Ambiente na Faculdade de Filosofia e Letras de Caratinga, vindo a se especializar em Ciências do Ambiente em dezembro de 2000, recebendo o título de especialista em Ciências do Ambiente. Em 2001, ingressou no curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Sustentabilidade do Centro Universitário de Caratinga, UNEC, recebendo o título de Mestre em Meio Ambiente e Sustentabilidade em 2004. Em 2010 ingressa como docente no Instituto Federal do Norte de Minas Gerais, IFNMG - Campus de Arinos, sendo redistribuído em 2011 para o Instituto Federal do Espírito Santo, Ifes - Campus Ibatiba. Em 2013 inicia as atividades do Núcleo de Estudos em Educação Ambiental e Agroecologia - NEA, projeto em desenvolvimento no Território do Caparaó-ES. Como docente tem desenvolvido atividades de iniciação científica proporcionando a inserção dos estudantes na vida acadêmica. Em 2015 ingressou como aluno regular no Programa de Pós Graduação em Produção Vegetal da UFES, na Linha de Pesquisa em Fitotecnia, submetendo-se à defesa de Doutorado em maio de 2018.

## RESUMO

CARVALHO, Arnaldo Henrique de Oliveira. **Arranjos populacionais para o cultivo de yacon**, 2018. 81f. (Tese – Doutorado em Produção Vegetal) – Centro de Ciências Agrárias e Engenharias, Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2018.

Originária dos Andes, a yacon, também conhecida como batata *diet*, é cultivada em diversos países, inclusive no Brasil. O interesse por essa cultura aumentou principalmente pela presença abundante de compostos fenólicos e fruto-oligossacarídeos, que oferecem benefícios à saúde visto que seu consumo fornece poucas calorias à dieta alimentar, ideal para diabéticos e para quem quer perder peso. Seu potencial nutracêutico despertou o interesse dos pesquisadores para investigação de técnicas que possam promover o desenvolvimento e o aprimoramento do seu sistema de produção. Dentre as demandas está a geração de conhecimento sobre o arranjo espacial de plantio para o melhor desenvolvimento da yacon. Dessa forma objetivou-se avaliar o desenvolvimento, a produtividade e a rentabilidade da yacon em três espaçamentos entre linhas e três espaçamentos entre plantas e, avaliar as correlações entre os caracteres morfológicos e os agrônômicos importantes na produção de yacon, através da análise de trilha, identificando critérios de seleção indireta para produtividade de yacon, a fim de gerar informações a respeito do sistema de produção de cultivo de yacon, na Microrregião do Caparaó, sul do Espírito Santo. Os experimentos foram conduzidos em dois locais, sendo um em Alegre e o outro em Muniz Freire, sob o delineamento experimental de blocos ao acaso, num esquema de parcela subdividida, cujos fatores foram três espaçamentos entre linhas (0,80; 1,00 e 1,20 m) e três espaçamentos entre plantas (0,40; 0,50 e 0,60 m), com quatro repetições. Ao longo do ciclo de cultivo da yacon foram realizadas avaliações morfológicas (altura da planta, diâmetro da haste, número de folhas e número de hastes) e por ocasião da colheita das raízes tuberosas foram realizadas avaliações relacionadas à produtividade da cultura e à rentabilidade econômica. Na região de Alegre, o arranjo espacial com 1,00 m entre linhas por 0,50 m entre plantas proporcionou maior produtividade e uma melhor relação benefício/custo em relação aos demais arranjos. Na região de Muniz Freire, o arranjo com 1,00 m entre linhas por 0,40 m entre plantas proporcionou maior produtividade, apesar de não ter fornecido a melhor relação benefício/custo. As baixas correlações entre as variáveis morfológicas e agrônômicas, nos dois locais, mostraram que as variáveis morfológicas não podem ser utilizadas como critério de seleção indireta para maiores produtividades de raízes tuberosas de yacon.

Palavras-chave: *Smallanthus sonchifolius*. Raiz tuberosa. Produtividade. Rentabilidade.

## ABSTRACT

CARVALHO, Arnaldo Henrique de Oliveira. **Population arrangements for the cultivation of yacon**, 2018. 81f. (Tese – Doutorado em Produção Vegetal) – Centro de Ciências Agrárias e Engenharias, Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2018.

Originally from the Andes, yacon is also known as diet potato, it is grown in several countries, including Brazil. Interest in this crop has been increased mainly by the abundant presence of phenolic compounds and fruit-oligosaccharides, which offer health benefits since its consumption provides few calories to the diet, ideal for diabetics and those who want to lose weight. Its nutraceutical potential has aroused researchers' interest in researching techniques that can promote the development and improvement of its production system. Among the demands is the generation of knowledge about the spatial arrangement of planting for the better development of yacon. The objective of this study was to evaluate the development, productivity and profitability of yacon in three spacings between rows and three spacings between plants and to evaluate the correlations between morphological and agronomic characters important in yacon production, through track analysis, and to identify indirect selection criteria for yacon yield in order to generate information about the yacon crop production system in the micro region of Caparaó, southern Espírito Santo. The experiments were conducted in two locations, one in Alegre (low altitude - 120 m) and the other in Muniz Freire (mountain - 1.146 m), under the experimental design of randomized blocks, in a subdivided plot scheme, whose factors were three spacings between rows and three spacings between plants, with four replications. Morphological evaluations (plant height, stem diameter, number of leaves and number of stems) were carried out along the yacon cultivation cycle, and at the time of harvesting the tuber roots, evaluations were carried out in relation to crop production and economic profitability. In the region of Alegre, the spatial arrangement with 1.00 m between rows by 0.50 m between plants provided higher productivity and a better benefit/cost relation than the other arrangements. In the region of Muniz Freire, the arrangement with 1.00 m between rows by 0.40 m between plants provided higher productivity, although it did not provide the best benefit/cost ratio. In general, the low correlation between the morphological and agronomic variables, in the two regions, showed that these can not be used as selection criterion for greater yields of yacon tuberous roots.

Keywords: *Smallanthus sonchifolius*. Tuberous root. Productivity. Profitability.

## LISTA DE TABELAS

### Capítulo 1.

1-	Atributos da camada de 0 a 20 cm do solo nos dois locais, Alegre/ES (baixada) e Muniz Freire/ES (montanha). Alegre e Muniz Freire, ES, 2014/2016.	31
2-	Caracterização química do adubo orgânico utilizado nos dois locais, Alegre/ES (baixada) e Muniz Freire/ES (montanha). Alegre e Muniz Freire, ES, 2014/2016.	31
3-	Parâmetros para seleção e classificação das raízes tuberosas.	33
4-	Acúmulo de biomassa seca na parte aérea e nas raízes tuberosas das plantas de yacon cultivadas em diferentes espaçamentos entre linha e entre plantas em Alegre (baixada). Alegre/ES. 2014.	37
5-	Produtividade de raízes tuberosas de yacon, total e por classe, cultivada em diferentes espaçamentos entre linhas e entre plantas em Alegre (baixada). Alegre/ES, 2014.	38
6-	Índice de colheita de raízes de yacon cultivada em diferentes espaçamentos entre linha e entre plantas em Alegre (baixada). Alegre/ES. 2014.	41
7-	Estimativa dos custos, em reais, para produção por hectare de yacon cultivada em diferentes espaçamentos entre linha e entre plantas em dois locais, em Alegre (baixada) e em Muniz Freire (montanha).	43
8-	Produtividade, renda bruta, custo de produção, lucro e relação benefício/custos de raízes comerciais de yacon cultivada em diferentes espaçamentos entre linha e entre plantas em Alegre (baixada). Alegre/ES. 2014.	46
9-	Acúmulo de biomassa seca das plantas de yacon cultivadas em diferentes espaçamentos entre linhas e entre plantas em Muniz Freire (montanha). Muniz Freire/ES. 2016.	50
10-	Produtividade de raízes tuberosas de yacon, total e por classe, cultivada em diferentes espaçamentos entre linhas e entre plantas em Muniz Freire (montanha). Muniz Freire/ES, 2016.	51
11-	Índice de colheita de raízes de yacon cultivada em diferentes espaçamentos entre linhas e entre plantas em Muniz Freire (montanha). Muniz Freire/ES. 2016.	54

- 12- Produtividade, renda bruta, custo de produção, lucro e relação benefício 55  
custos de raízes comerciais de yacon cultivada em diferentes  
espaçamentos, entre linhas e entre plantas, em região de montanha. Muniz  
Freire, ES. 2016.

## Capítulo 2.

- 1 - Coeficientes de correlações entre as variáveis morfoagronômicas avaliadas 69  
no cultivo de yacon em Alegre (baixada). Alegre/ES. 2014.
- 2 - Coeficientes de correlações entre as variáveis morfoagronômicas avaliadas 70  
no cultivo de yacon em Muniz Freire (montanha). Muniz Freire/ ES. 2016.
- 3 - Coeficientes de determinação e efeito residual das estimativas dos efeitos 71  
diretos e indiretos das variáveis explicativas morfológicas sobre a variável  
básica número de raízes, índice de colheita e produção total de yacon.  
Alegre/ES, 2014.
- 4 - Coeficientes de determinação e efeito residual das estimativas dos efeitos 74  
diretos e indiretos das variáveis explicativas sobre a variável básica  
número de raízes, índice de colheita e produção total de yacon. Muniz  
Freire/ES, 2016.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Médias mensais de precipitação (mm), de temperatura média e de temperaturas máxima e mínima (°C), observadas no período de maio a dezembro de 2014, em Alegre-ES. Fonte: INCAPER*, Sistema de Informações Meteorológicas, 2014.	29
Figura 2 -	Médias mensais de precipitação (mm), de temperatura média e de temperaturas máxima e mínima (°C), observadas no período de março de 2016 a fevereiro de 2017, em Muniz Freire-ES. Fonte: INCAPER, Sistema de Informações Meteorológicas, 2017.	30
Figura 3	Croqui representando um bloco na área experimental.	32
Figura 4 -	Altura das plantas de yacon cultivada em diferentes espaçamentos entre linhas e entre plantas na região de baixada. Alegre, ES 2014. Espaçamentos entre linha de 0,80 (A), 1,00 (B) e 1,20 m (C), com os respectivos espaçamentos entre plantas (0,40; 0,50 e 0,60 m).	36
Figura 5 -	Altura das plantas de yacon cultivada em diferentes espaçamentos, entre linhas e entre plantas, na região de montanha. Muniz Freire-ES, 2016. * Espaçamentos entre linha de 0,80 (A), 1,00 (B) e 1,20 m (C), com os respectivos espaçamentos entre plantas (0,40; 0,50 e 0,60 m).	48
Figura 6 -	Aspecto da planta de yacon cultivada em região de montanha. Planta com parte aérea morta (A). Rizóforos e raízes tuberosas com aparência saudável (B).	49

## LISTA DE SIGLAS

ALT - Altura das plantas

CEASA - Central Estadual de Abastecimento S/A

CTC - Capacidade de troca catiônica

DAP - Dias após o plantio

DH - Diâmetro das hastes

EL - Espaçamento entre linhas

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EP - Espaçamento entre plantas

FOS - Fruto-oligossacarídeos

IC - Índice de colheita

Ifes - Instituto Federal do Espírito Santo

INCAPER - Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural

INMET - Instituto Nacional de Metrologia

MSPA - Massa seca da parte aérea

NF - Número de folhas

NH - Número de hastes

NR - Número de raízes

RBC - Relação Benefício/custo

UFES - Universidade Federal do Espírito Santo

UFRRJ - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

UNEC - Centro Universitário de Caratinga

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	15
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	17
2.1. Aspectos relevantes sobre yacon.....	17
2.2. Relação dos arranjos espaciais de plantio com o rendimento das culturas.....	19
<b>2.3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	21
<b>3. CAPÍTULO 1: Desenvolvimento, produtividade e rentabilidade de yacon sob diferentes arranjos populacionais em dois locais de cultivo</b> .....	25
RESUMO.....	25
ABSTRACT.....	26
<b>3.1. INTRODUÇÃO</b> .....	27
<b>3.2. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	28
<b>3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	35
<b>3.3.1. Experimento 1:</b> Arranjos populacionais para o cultivo de yacon em Alegre, Microrregião do Caparaó, sul do Espírito Santo.....	35
<b>3.3.2. Experimento 2:</b> Arranjos populacionais para o cultivo de yacon em Muniz Freire, Microrregião do Caparaó, sul do Espírito Santo.....	47
<b>3.4. CONCLUSÕES</b> .....	56
<b>3.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	57
<b>4. CAPITULO 2: Correlações e análise de trilha entre os caracteres morfológicos e os agrônômicos relacionados a produção de yacon em dois locais de cultivo</b> .....	63
RESUMO.....	63
ABSTRACT.....	64
<b>4.1. INTRODUÇÃO</b> .....	65
<b>4.2. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	67
<b>4.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	69
<b>4.5. CONCLUSÕES</b> .....	76
<b>5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	76
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	81

## 1. INTRODUÇÃO

Nativa dos Andes, a yacon (*Smallanthus sonchifolius*) é cultivada em diferentes países, da Colômbia ao nordeste da Argentina. Seu cultivo expandiu-se para vários países, como Japão, Nova Zelândia e República Checa (VILHENA et al., 2000; GENTA et al., 2010), inclusive no Brasil, com introdução na década de 90 por descendentes de japoneses na região paulista de Capão Bonito, onde é conhecida como batata *diet* (VILHENA, 2001; SANTANA; CARDOSO, 2008).

Apesar da suculência e do sabor adocicado, a yacon apresenta um baixo valor energético (ŽIAROVSKÁ et al., 2013). Em razão disso, durante muito tempo foi preterida nas pesquisas em relação às culturas de maior valor calórico, como no caso da batata (*Solanum tuberosum*), hoje a terceira fonte alimentar da humanidade.

Recentemente, o interesse pela yacon aumentou visto que seu consumo fornece poucas calorias à dieta, ideal para diabéticos e para pessoas que querem perder peso (MARINQUE et al., 2014). Assim, vem sendo recomendada por especialistas da área de saúde graças ao seu conteúdo abundante de compostos fenólicos e fruto-oligossacarídeos (FOS), que oferecem diversos benefícios à saúde do consumidor (VANINI, et al., 2009; CAMPOS et al., 2012; ŽIAROVSKÁ et al., 2013; BERTOLO, 2017). O interesse em suas propriedades funcionais não é somente para o consumo *in natura* ou de mesa, mas também por parte da indústria alimentícia, para produção de adoçantes devido ao seu carboidrato de reserva à base de frutanos, principalmente inulina (QUINTEROS, 2000; BEZERRA et al., 2014; SOUSA et al., 2015).

O crescente hábito da população em consumir a yacon associada ao seu potencial nutracêutico, capaz de prevenir doenças como diabetes e câncer (SALDAÑA et al., 2014; GUSSO et al., 2015), despertou o interesse por parte dos pesquisadores para a investigação de técnicas que possam promover o desenvolvimento e o aprimoramento do seu sistema de produção, principalmente sobre os diferentes arranjos populacionais de cultivo.

O Estado de São Paulo se destaca como um dos maiores produtores de yacon, comercializando cerca de 1.828 t. No Espírito Santo a produção se concentra na região Serrana, principalmente no município de Santa Maria de Jetibá. Como a yacon tem sido pouco encontrada nos estabelecimentos comerciais, especialmente nas cidades interioranas do Espírito Santo, esses estudos também podem contribuir para ampliar as oportunidades de negócios para os agricultores, e assim, aumentar a geração de renda (OLIVEIRA et al., 2013).

Nos sistemas agrícolas de produção é essencial o conhecimento do arranjo espacial, ou seja, a distância entre as linhas e a distância das plantas dentro da linha, cuja definição do melhor arranjo será em função da finalidade do cultivo (PRIESNITZ et al., 2011). Relatos mostram que o manejo dos arranjos espaciais influenciaram a produtividade e a qualidade no cultivo de cenoura (LOPES et al., 2008; MOTA JÚNIOR et al., 2014), no cultivo de beterraba (HERÉDIA ZÁRATE et al., 2008), de taro (HERÉDIA ZÁRATE et al., 2009) e de mandioquinha-salsa (TORALES et al., 2015).

No cultivo da yacon a escolha do arranjo espacial pode influenciar seu desempenho produtivo, cuja finalidade principal é a produção de raízes tuberosas. Nesse caso, o que se tem observado nos cultivos é a adoção de arranjos espaciais variando de 0,60 a 1,40 m entre linhas e de 0,45 a 0,90 m entre plantas (DOO et al., 2001; AMAYA ROBLES, 2002; VALDERRAMA; DÍAZ; ACERO, 2005; TOKITA, et al., 2015). Tais combinações podem reduzir ou aumentar o rendimento de raízes tuberosas entre 16 e 100 t ha<sup>-1</sup> (SEMINARIO; VALDERRAMA; MANRIQUE, 2003), refletindo diferenças muito elevadas quanto à produtividade de raízes. Dessa forma, o maior ou menor rendimento da cultura é uma variável complexa e dependente, entre outros fatores, do arranjo entre plantas.

Assim, desenvolver estudos que permitam identificar um melhor arranjo de plantas por unidade de área é fundamental para o sucesso do cultivo, pois o que se tem observado são agricultores seguindo recomendações para outras culturas, como batata inglesa ou baroa.

Nesse sentido, objetiva-se com este trabalho avaliar o desenvolvimento, a produtividade e a rentabilidade da yacon em três espaçamentos entre linhas e três espaçamentos entre plantas, a fim de gerar informações a respeito do sistema de cultivo de yacon em dois locais, na microrregião do Caparaó, sul do Espírito Santo.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1. Aspectos relevantes sobre yacon

A yacon pertence à família Asteraceae, também denominada de Compositae, cujo nome científico é *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.). Foi originalmente classificada como pertencente ao gênero *Polymnia* (Compositae, Heliantheae, subtribo Melampodinae), criado por Linnaeus em 1751. Na primeira revisão moderna do gênero realizada por Wells (1967), a yacon foi mantida neste gênero e, posteriormente uma diferente perspectiva foi adotada por Robinson (1978), quando este determinou que muitas das espécies do gênero *Polymnia*, entre as quais se encontrava a yacon, na realidade, pertenciam a um gênero que Mackensie havia proposto em 1933, o gênero *Smallanthus* (SEMINARIO *et al.*, 2003).

Originário dos vales andinos, onde é muito cultivado desde a antiga civilização Inca, como por exemplo na Colômbia, na Bolívia e no Peru (MARTINS *et al.*, 2011), o gênero *Smallanthus* é utilizado na alimentação humana assim como para forragem (VILHENA *et al.*, 2000; KONKOROV; SIDOROVA, 2011).

O gênero *Smallanthus* (Asteraceae, Millerieae) inclui 24 espécies. Várias delas ocorrem no México (7 espécies) e Peru (8 espécies). O restante está distribuído na América do Norte (EUA), América Central (Costa Rica, El Salvador, Honduras, Nicarágua e Panamá) e América do Sul (Argentina, Bolívia, Brasil, Colômbia, Equador, Paraguai, Uruguai e Venezuela). As espécies de *Smallanthus* são herbáceas perenes, com folhas opostas, capítulo solitário ou arranjado em panículas (VITALI; BARRETO, 2014; VITALI *et al.*, 2015).

A yacon se tornou uma planta interessante devido aos seus múltiplos usos, atraindo assim a atenção para as suas vantagens e benefícios devido aos prebióticos e seu elevado teor de oligossacarídeos não digestíveis. Suas raízes, consumidas *in natura*, apresentam de 70 a 80% do massa seca em frutooligossacarídeos (FOS) (KAMIMURA, 2006; DELGADO *et al.*, 2013).

Além da importância na alimentação humana e animal, o gênero apresenta importância ecológica, uma vez que participa na regulação da umidade do solo, atuando como barreira do vento e fornecendo suporte de sombra para espécies de plantas de crescimento lento, atuando como atrativo de polinizadores e produzindo agentes repelentes (VITALI; BARRETO, 2014).

A planta de yacon apresenta eixos aéreos, com folhas e gemas vegetativas e florais, e um sistema subterrâneo espessado de natureza mista representado por rizóforos e raízes. Todo

sistema radicular é formado por raízes adventícias, sendo que algumas permanecem delgadas e outras sofrem intensa tuberização (MACHADO *et al.*, 2004).

A parte subterrânea da yacon apresenta dois tipos de raízes (raízes fibrosas e raízes tuberosas) além dos rizóforos. As raízes fibrosas são para absorção de água e nutrientes, as raízes tuberosas para armazenar oligofrutanos e os rizóforos, órgãos subterrâneos contendo gemas vegetativas formadas na base da haste, contém oligofrutanos e açúcar simples (SUMIYANTO *et al.*, 2012).

Com relação às diversas denominações atribuídas ao órgão espessado e comestível, principal fonte de frutano em *Smallanthus sonchifolius*, justifica-se apenas a utilização de raiz tuberosa, pois estudos anatômicos evidenciaram que a organização do sistema vascular deste órgão é típica de raiz. Em tubérculo e rizoma, os órgãos de reserva são de natureza caulinar (MACHADO *et al.*, 2004).

No que diz respeito às condições climáticas, o requerimento de chuva para o cultivo de yacon está entre 650 e 1000 mm nos cinco primeiros meses. Quanto à temperatura, desenvolve-se bem com temperaturas médias anuais de 14° a 20° C, sendo que temperaturas menores que 10°C retardam seu crescimento e alargam o período vegetativo, com diminuição dos rendimentos. Se a temperatura excede 26°C e a umidade do solo é insuficiente, a planta se estressa e murcha excessivamente, afetando seu desenvolvimento normal. Com relação à luz, a yacon tem um comportamento indiferente para a duração do dia e intensidade da luz, mas, no geral, o cultivo deve receber pelo menos 9 h de luz/dia. A espécie cresce bem na sombra de árvores de frutos e outros arbustos, e também em pleno sol. Da mesma forma, desenvolve-se bem associada ao milho, hortaliças e outros cultivos (VALDERRAMA *et al.*, 2005).

## 2.2. Relação dos arranjos espaciais de plantio com o rendimento das culturas

O arranjo espacial das plantas é definido pelo intervalo entre duas fileiras de semeadura e pela distância entre plantas na linha de semeadura (GONDIM *et al.*, 2014). Assim, o arranjo ideal para a cultura, decorrente da combinação do espaçamento e da densidade, é um dos primeiros pontos a se considerar na busca da otimização da produção e uma maneira óbvia de se tentar aumentar a produtividade é plantar-se um maior número de plantas por unidade de área (CORRÊA *et al.*, 2014).

A relação dos arranjos de plantio com o rendimento das culturas têm sido foco de muitos estudos. Acima de tudo, compreender como os arranjos de plantio interferem no rendimento das culturas é fundamental, pois permite definir a melhor disposição de plantas por área (ALVES *et al.*, 2014).

Estudos evidenciando a importância e ganho de produtividade com a redução do espaçamento entre planta de girassol foi demonstrado por Silva *et al.* (2009) e Alves *et al.* (2014). Estes últimos, avaliando o desenvolvimento do girassol sob diferentes espaçamentos entre linhas, observaram que o espaçamento menor (0,5 x 0,3 m) proporcionou a maior produtividade de aquênios (4,8 t ha<sup>-1</sup>), comprovando a viabilidade da adoção de espaçamentos reduzidos no cultivo dessa cultura. Ambos autores destacam que o uso de espaçamentos reduzidos proporciona sombreamento mais rápido entre linhas, diminuindo a perda da água por evaporação e o impacto das gotas da chuva na superfície do solo.

O uso de espaçamentos reduzidos proporciona vários benefícios, como melhor distribuição de plantas na área de cultivo e maior interceptação da luz pelas plantas, diminuindo a competição das plantas por recursos naturais (ALVES *et al.*, 2014). Entretanto, para a maioria das culturas, o aumento da produtividade por esse método tem um limite, considerando que o aumento da densidade há um aumento na competição entre plantas, e o desenvolvimento individual de cada planta é prejudicado, podendo, inclusive, ocorrer queda no rendimento e/ou na qualidade (MINAMI *et al.*, 1998).

Este fato foi observado por Mota Júnior *et al.* (2014), os quais avaliando o efeito de cinco densidades de plantio (10, 8, 6, 4 e 3 cm entre plantas) na cultura da cenoura, observaram que à medida há ampliação do espaçamento entre plantas (EP), há um incremento na avaliação do comprimento e diâmetro da raiz. Observaram também que à medida que se aumentou a densidade populacional, diminuindo o EP, houve um decréscimo no percentual de raízes médias e longas, incrementando o percentual de raízes curtas. Na avaliação da massa unitária (g), também foi observado incremento à medida que se aumentou o EP, sendo que no

espaçamento com 10 cm entre plantas, obtiveram-se as maiores médias (150,2 g) por unidade e no espaçamento com 3 cm as menores médias (35,24 g). Segundo os autores, este comportamento se deve provavelmente à competição intraespecífica causada pelo aumento da pressão populacional.

O desempenho produtivo de três cultivares de cenoura sob diferentes espaçamentos foi avaliado por Lopes *et al.* (2008), os quais verificaram que à medida que aumentou a população de plantas, houve um decréscimo no percentual de raízes médias e longas e um incremento no percentual de raízes curtas. Este comportamento se dá devido à competição entre plantas de cenoura por nutrientes, água e luz, resultantes da maior densidade populacional.

Avaliando o efeito do espaçamento entre linha (EL - 20 e 25 cm) e entre plantas (EP - 7,5; 10,0 e 12,5 cm) na produção de beterraba híbrido Boro (Bejo®), Corrêa *et al.* (2014) obtiveram maior produtividade (44,7 t.ha<sup>-1</sup>) no menor EP, porém, o EL não afetou a produtividade. Segundo os autores, esta maior produtividade no menor EP provavelmente é resultado da maior população, com média de 462.000 plantas ha<sup>-1</sup>.

Para Arf *et al.* (1996), o aumento do número de plantas de feijão na linha ocasionou redução na produção de matéria seca das plantas e no número de vagens e de sementes por planta, porém a produtividade foi aumentada, sendo o maior valor econômico na densidade de 16 plantas por metro.

A resposta produtiva de mandioquinha-salsa, cultivada sob duas e três fileiras de plantas foi estudada por Herédia Zárate *et al.* (2009). Nesse estudo, os autores obtiveram maiores produtividade de raízes comerciais (11,61 t ha<sup>-1</sup>) no tratamento com três fileiras de plantas, ou seja, com menor espaçamento.

A produção de raízes comerciais de mandioquinha-salsa em função do espaçamento entre plantas foi avaliada por Gomes *et al.* (2010). Trabalhando com 20 e 25 cm entre plantas, os autores obtiveram maior produção de raízes comerciais com cultivo no espaçamento de 25 cm entre plantas, mostrando que houve menor competição.

As propostas de espaçamento e densidade de plantio, para as culturas em geral, têm procurado atender às necessidades dos tratamentos culturais e a melhoria da produtividade (CORRÊA *et al.*, 2014). Todavia, alterações em espaçamento e densidade induzem uma série de modificações no crescimento e desenvolvimento das plantas e necessitam de melhores esclarecimentos.

### 3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, G. M. R.; ALEIDA, A. E. S.; MAGALHÃES, I. D.; COSTA, F. E.; COSTA, L. R.; SOARES, C. S. Cultivo do girassol sob diferentes espaçamentos entre linhas no semiárido paraibano. **Revista de Biologia e Farmácia**. v.10, n.03, p.14-19, 2014.
- AMAYA ROBLES, J. E. **Desenvolvimento de yacón (*Polymnia sonchifolia* Poep. & Endl.) a partir de rizóforos e de gemas axilares, em diferentes espaçamentos**. 2002. 89f. Tese (Doutorado em Agronomia/Horticultura). Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista. Botucatu, 2002.
- ARF, O.; SÁ, M. E.; OKITA, C. S.; TIBA, M. A.; NETO, G. G.; OGASSAWARA, F. Y. Efeito de diferentes espaçamentos e densidade de semeadura sobre o desenvolvimento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.31, n.9, p.629–634, 1996.
- BERTOLO, A. P. Batata yacon : caracterização e inativação. **Revista CSBEA**. v.1, p.1–5, 2017.
- BEZERRA, F. T. C. et al. Comportamento vegetativo e produtividade de girassol em função do arranjo espacial das plantas. **Revista Ciencia Agronomica**, v.45, n.2, p. 335–343, 2014.
- CAMPOS, D. BETALLELUZ-PALLARDEL, I; CHIRINOS, R.; AGUILAR-GALVEZ, A.; NORATTO, G.; PEDRCHI, R. Prebiotic effects of yacon (*Smallanthus sonchifolius* Porp & Endl), a source of fructooligosaccharides and phenolic compounds with antioxidant activity. **Food Chemistry**. v. 135, p.1592-1599, 2012.
- CHOQUE DELGADO, G. T. et al. Yacon (*Smallanthus sonchifolius*): A Functional Food. **Plant Foods for Human Nutrition**, v.68, n.3, p. 222–228, 2013.
- CORRÊA, C. V., et al. Produção de beterraba em função do espaçamento. **Horticultura Brasileira**, v. 32, n. 1, p. 111–114, 2014.
- GENTA, S.B.; CABRERA, W.M.; MERCADO, M.I.; GRAU, A.; CATALÁN, C.A.; SÁNCHEZ, S.S. Hypoglycemic activity of leaf organic extracts from *Smallanthus sonchifolius*: constituents of the most active fractions. **Chemico-Biological Interactions**, 185: 143–152, 2010.
- GOMES, H. E.; HEREDIA ZÁRATE, N. A.; VIEIRA, M. C.; GASSI, R. P.; TORALES, E. P.; MACEDO, R. V. Produção de mudas e de raízes comerciais de mandioquinha-salsa ‘Amarela de Carandaí’ em função de espaçamentos e amontoa. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 31, p. 1121-1132, 2010.
- GONDIM, T. M. de S., et al. Plasticidade fenotípica da mamoneira precoce sob diferentes arranjos espaciais em consórcio com feijão caupi. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 45, n. 1, p. 128–137, 2014.
- GUSSO, A. P.; MATTANNA, P.; RICHARDS, N. Yacon : benefícios à saúde e aplicações tecnológicas. **Ciência Rural**, p. 912–919, 2015.

HERDIA ZÁRATE, N. A. et al. Número de fileiras no canteiro e espaçamento entre plantas na produção e na rentabilidade da beterraba em Dourados, estado do Mato Grosso do Sul. **Acta Scientiarum - Agronomy**, v. 30, n. 3, p. 397–401, 2008.

HEREDIA ZÁRATE, N. A.; VIEIRA, M. C.; GRACIANO, J. D.; FIGUEIREDO, P. G.; BLANS, N. B.; CURIONI, B. M. Produtividade de mandioquinha-salsa sob diferentes densidades de plantio e tamanho de mudas. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, n. 1, Lavras, p. 139-143, 2009.

HEREDIA ZÁRATE, N. A. et al. Produção e renda bruta de quatro clones de taro cultivados em Dourados, Estado do Mato Grosso do Sul. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 31, n. 2, p. 301–305, 2009.

KAKIHARA, T.S.; CÂMARA, F.L.A.; VILHENA, S.M.C.; RIERA, L. Cultivo e industrialização de yacon (*Polymnia sonchifolia*): uma experiência brasileira. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE RAÍZES TROPICAIS 1 e CONGRESSO BRASILEIRO DE MANDIOCA 9, São Pedro. **Anais...** Botucatu: Centro de Raízes Tropicais, sociedade Brasileira de Mandioca, 1996. s.p. (resumo 148). 1996.

KAMIMURA, G. K. F. **Isolamento, purificação e caracterização da peroxidase de yacon (*Smallanthus sonchifollius*)**. 2006. 100f. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição)– Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2006.

KONKOROV, P F; SIDOROVA, N V. Use of growth regulatons during introducing of yacon in the Now-chernozem zone of Russia. **Russian Agricultural Science**, v.37, n.3, p. 209-211, 2011.

LOPES, W. A. R.; NEGREIROS, M. Z.; TEÓFILO, T. M. S.; ALVES, S. S. V.; MARTINS, C. M.; NUNES, G. H. S.; GRANGEIRO, L. C. Produtividade de cultivares de cenoura sob diferentes densidades de plantio. **Ceres**. v. 55, n. 5, p.482-487, 2008.

MACHADO, S. R. et al. Morfoanatomia do sistema subterrâneo de *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Robinson (Asteraceae). **Revista Brasileira de Botânica**, v. 27, n. 1, p. 115–123, 2004.

MANRIQUE, I.; GONZALES, R.; VALLADOLID, A.; BLAS, R.; LIZÁRRAGA, L. Producción de semillas en yacón (*Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.)) mediante técnicas de polinización controladas. **Ecologia Aplicada**. v.13, n.2, p.135-145, 2014.

MARTINS, M L R; DELMASHIO, K L; CORDEIRO, A A. Efeitos da utilização de *Smallanthus sonchifolius* (yacon) no tratamento de indivíduos com *Diabets Mellitus*. **Ceres**. v.6, n.1, p.35-43, 2011.

MINAMI, K.; CARDOSO, A. I. I.; COSTA, F.; DUARTE, F. R. Efeito do espaçamento sobre a produção em rabanete. **Bragantia**, Campinas v.57, n.1, 1998.

MOTA JÚNIOR, C. V.; OLIVEIRA, J. M.; MOTA, L. C. B. M. Avaliação da qualidade e produtividade da cenoura com diferentes densidades de plantio. **Gl. Sci Technol**, v.7, n.1, p.1–6, 2014.

OLIVEIRA, R. B. et al. Topical anti-inflammatory activity of yacon leaf extracts. **Brazilian Journal of Pharmacognosy**, v.23, n.3, p.497–505, 2013.

PRIESNITZ, R. et al. Espaçamento entre linhas na produtividade de biomassa e de grãos em genótipos de milho pérola. **Semina: Ciências Agrárias**, v.32, n.2, p. 485–494, 2011.

QUINTEROS, E. T. T. **Produção com tratamento enzimático e avaliação do suco de yacon**. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos). Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 164 f., 2000.

SALDAÑA, E. et al. Measurement parameter of color on yacon (*Smallanthus sonchifolius*) slices using a computer vision system. **LWT - Food Science and Technology**, v.59, n.2, p. 1220–1226, 2014.

SANTANA, I; CARDOSO, M.H. Raiz Tuberosa de yacon (*Smallanthus sonchifolius*): potencialidade de cultivo, aspectos tecnológicos e nutricionais. **Ciência Rural**. V.58, n.3, p. 898-905.2008.

SEMINARIO, J.; VALDERRAMA, M.; MANRIQUE, I. **El yacon: fundamentos para el aprovechamiento de un recurso promisorio**. Lima, Peru: Centro Internacional de la Papa (CIP), Universidad Nacional de Cajamarca, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE), 2003. 60p.

SILVA, A. G. et al. Efeitos Do Espaçamento entre linhas nos caracteres agrônômicos de três híbridos de girassol cultivados na safrinha. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 39, n. 2, p. 105–110, 2009.

SOUSA, S. et al. In vitro evaluation of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) tuber flour prebiotic potential. **Food and Bioproducts Processing**, v. 95, p. 96–105, 2015.

SUMIYANTO, J. et al. Oligofructans content and yield of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) cultivated in Mississippi. **Scientia Horticulturae**, v. 148, p. 83–88, 2012.

VALDERRAMA, M.; DÍAZ, A.; ACERO, A. Cultivo de Yacón: experiências de introdução e gerenciamento técnico no Vale do Condebamba. PYMAGROS rodutores PYMAGROS e mercados agrícolas da serra, convenio MINAG - COSUDE. Cajamarca, Perú. 2005, 47 p.

VANINI, M. et al. A relação do tubérculo andino yacon com a saúde humana. **Ciência Cuidado e Saúde**, v.8, p.92-96, 2009.

VILHENA, S. M. C. *Cultivo do yacón (Polymnia sonchifolia Poep Endl.) no Brasil*. In: Workshop de yacón: bases racionais para a utilização de uma nova cultura, 1997, Botucatu. **Anais...** Botucatu: Faculdade de ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, 1997.

VILHENA, S. M. C.; CÂMARA, F. L. A.; KAKIHARA, S. T. O cultivo de yacon no Brasil. **Horticultura Brasileira**, Brasília. v.18, n.1,p. 5-8, 2000.

VILHENA, S. M. C. **Ciclo de cultivo e técnicas de pós colheita de yacon (*Polymnia sonchifolia* Poep. Endl) em função do conteúdo de frutose total nos órgãos subterrâneos.** Tese (Doutorado em Agronomia). Faculdade de Ciências Agrônomas. UNESP. 2001.

VITALI, M. S.; BARRETO, J. N. V. Phylogenetic studies in *Smallanthus* (Millerieae, Asteraceae): A contribution from morphology. **Phytotaxa**, v. 159, n. 2, p. 77–94, 2014.

VITALI, M. S.; SANCHO, G.; KATINAS, L. A revision of *Smallanthus* (Asteraceae, millerieae), the “yacón” genus. **Phytotaxa**, v. 214, n. 1, p. 1–84, 2015.

ŽIAROVSKÁ, J.; FERNÁNDEZ, E. C.; MILLELA, L. A revised its nucleotide sequence gives a specificity for *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) and its products identification. **GENETIKA**. v. 45, n. 1. p. 217-226. 2013.

### 3. CAPÍTULO 1: DESENVOLVIMENTO, PRODUTIVIDADE E RENTABILIDADE DE YACON SOB DIFERENTES ARRANJOS POPULACIONAIS EM DOIS LOCAIS DE CULTIVO NA MICRORREGIÃO DO CAPARAÓ, ES.

#### RESUMO

Rica em compostos bioativos que oferecem benefícios à saúde do consumidor, a yacon (*Smallanthus sonchifolius*) é uma planta de considerável valor nutricional, cujo interesse destaca-se pelos seus efeitos antidiabéticos. Pesquisas têm aumentado o interesse pela cultura e, com isso, gerado uma demanda de informações sobre o seu cultivo, principalmente com intuito de promover o aprimoramento do sistema de produção. Dentre as demandas, estão estudos sobre os diferentes arranjos espaciais para potencializar a produção da cultura. Assim, objetivou-se avaliar o desenvolvimento vegetativo, a capacidade produtiva e a rentabilidade da yacon cultivada em diferentes espaçamentos entre linhas e entre plantas, em dois locais de cultivo, na microrregião do Caparaó, sul do Espírito Santo. Foram realizados dois experimentos, um em Alegre, a 120 m de altitude e, outro em Muniz Freire a 1.146 m de altitude, ambos conduzidos num delineamento experimental em blocos casualizados, em esquema de parcelas subdivididas, sendo as parcelas compostas por três espaçamentos entre linhas (0,80; 1,0 e 1,20 metros) e as subparcelas por três espaçamentos entre plantas (0,40; 0,50 e 0,60 metros), com quatro repetições. Durante o desenvolvimento da cultura, foram realizadas as avaliações morfológicas (altura da planta, diâmetro da haste, número de folhas e número de hastes) e por ocasião da colheita foram realizadas avaliações relacionadas à produção da cultura (raízes tuberosas, rizóforos e índice de colheita). Os resultados de produção foram submetidos à análise econômica, estimando-se o custo operacional e a utilização de indicadores de análise de rentabilidade como a receita bruta, o saldo líquido e a relação benefício/custo. Na região de Alegre, os arranjos de 0,80 x 0,40 m e 1,00 x 0,50 m promoveram maiores produtividades de raízes tuberosas (37,5 e 39,8 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente), porém o arranjo 1,00 x 0,50 m forneceu maior renda bruta (R\$ 69.850,00) e melhor relação benefício/custo (4,9). Na região de Muniz Freire, a produtividade foi menor, devido ao menor tempo no ciclo da cultura influenciado por alterações nas condições climáticas, principalmente falta de água e baixa precipitação na fase de formação das raízes tuberosas. Nessas condições, o arranjo que promoveu maior produtividade (31,5 t ha<sup>-1</sup>) foi o que utilizou 1,00 x 0,40 m, que permitiu maior renda bruta (R\$ 55.125,00) apesar de não ter fornecido a melhor relação benefício/custo (3,8). Assim, o melhor arranjo para a região de Alegre é o que utiliza 1,00 x 0,50 m enquanto na região de Muniz Freire foi com 1,00 x 0,40 m, com populações de 20.000 e 25.000 plantas/ha, respectivamente.

Palavras-chave: *Smallanthus sonchifolius*. Raízes tuberosas. Rendimento. Relação Benefício/Custo.

## ABSTRACT

### **DEVELOPMENT, PRODUCTIVITY AND PROFITABILITY OF YACON UNDER DIFFERENT POPULATION ARRANGEMENTS AT TWO CULTIVATION PLACES IN THE MICRORREGIÃO DO CAPARAÓ, ES.**

Rich in bioactive compounds that offer health benefits to the consumer, yacon is a plant of considerable nutritional value, whose interest stands out for its anti-diabetic effects. Research has increased the interest in the culture and, with this, generated a demand for information about its cultivation mainly in order to promote the improvement of the production system. Among the demands, are studies on the productivity and profitability of yacon from different spatial arrangements. The objective of this study was to evaluate the vegetative development, yield capacity and yield of yacon cultivated in different row spacings and between plants, in two places of cultivation, in the micro region of Caparaó, south of Espírito Santo. Two experiments were carried out, one in Alegre, at 120 m altitude and another in Muniz Freire at 1,146 m altitude, both conducted in an experimental design in randomized blocks, in a subdivided plots scheme, the plots being composed of three spacings between lines (0.80; 1.00 and 1.20 meters) and the subplots three spacings between plants (0.40, 0.50 and 0.60 meters), in four replications. During the development of the crop, the morphological evaluations (plant height, stem diameter, number of leaves and number of stems) were performed at 90, 120, 150, 180 and 210 DAP, and at the time of harvest, of the crop (tuberous roots, rhizophores, harvest index), the production results were submitted to economic analysis, through the operational cost with gross revenue, net balance and benefit / cost ratio. In the lowland region, the arrangements using 0.80 x 0.40 m and 1.00 x 0.50 m promoted higher yields of tuberous roots (37.5 and 39.8 t ha<sup>-1</sup>, respectively), arrangement 1.00 x 0.50 m provided higher gross income (R \$ 69,850.00) and better benefit / cost ratio. In the mountain region, productivity was lower due to less time in the crop cycle provided by changes in climatic conditions, mainly lack of water and low precipitation in the phase of tuberosal root formation. Thus, the arrangement that promoted higher productivity (31.5 t ha<sup>-1</sup>) was the one that used 1.00 x 0.40 m, allowing higher gross (R\$ 55,125.00) income despite not providing the best benefit/cost ratio (3.8). Thus, the best arrangement for the Alegre region is what it uses 1.00 x 0.50 m while in the region of Muniz Freire it was with 1.00 x 0.40 m, with populations of 20.000 and 25.000 plants/ha, respectively..

Keywords: *Smallanthus sonchifolius*. Tuberous roots. Yield. Relationship Benefit /Cost.

### 3.1. INTRODUÇÃO

Planta de considerável valor nutricional, a yacon (*Smallanthus sonchifolius*) é um alimento funcional com grande potencial para exploração pois apresenta em sua composição compostos bioativos que oferecem benefícios à saúde do consumidor (OJANSIVU *et al.*, 2011; PAULA *et al.*, 2013; GUSSO *et al.*, 2015; BERTOLO, 2017). O interesse das indústrias alimentícia e farmacêutica se concentram, principalmente em seu efeito antidiabético modulador da concentração de insulina no plasma sanguíneo (SALDAÑA *et al.*, 2014).

Estudos recentes têm associado a combinação da raiz de yacon com índice glicêmico reduzido (FERNANDEZ *et al.*, 2007; LEONE *et al.*, 2017), justificado pelos efeitos que têm sobre a saúde (VITALI; BARRETO, 2014; VITALI *et al.*, 2015). Além do mais, a yacon tem outras propriedades interessantes, tais como ações antimicrobianas e anti-inflamatórias (OLIVEIRA *et al.*, 2013), se tornando uma cultura expressiva devido seu potencial nutracêutico.

Essas pesquisas têm aumentado o interesse pela cultura e, com isso, gerado uma demanda de informações sobre o seu cultivo principalmente com intuito de promover o aprimoramento do sistema de produção. Dentre as demandas, estão estudos sobre a produtividade e rentabilidade de yacon a partir de diferentes arranjos espaciais de plantio. Os estudos sobre arranjos espaciais de cultivo permitirão definir a melhor forma de organização das plantas no espaço, de maneira a reduzir a competição por recursos ambientais, o que também poderá contribuir para uma maior produtividade e eficiência do cultivo (ALMEIDA *et al.*, 2000; BEZERRA *et al.*, 2014).

A maior eficiência no uso dos recursos durante o cultivo, obtido com o arranjo ideal de plantio, poderá refletir diretamente no rendimento da cultura e, portanto, na lucratividade da lavoura de yacon. Nesse sentido, há relatos que mostram que os arranjos espaciais têm influenciado a produtividade e a rentabilidade no cultivo do taro (HERÉDIA ZÁRATE *et al.*, 2009; HERÉDIA ZÁRATE *et al.*, 2012), da mandioquinha-salsa (GOMES *et al.*, 2010; TORALES *et al.*, 2015), da beterraba (HERÉDIA ZÁRATE *et al.*, 2008) e da cenoura (LOPES *et al.*, 2008; MOTA JÚNIOR *et al.*, 2014).

A yacon tem sido cultivada sob diferentes arranjos, os quais tem variado de 0,60 a 1,40 m entre linhas e de 0,45 a 0,90 m entre plantas (DOO *et al.*, 2001; AMAYA ROBLES, 2002; SEMINARIO *et al.*, 2003; VALDERRAMA *et al.*, 2005; TOKITA, *et al.*, 2015). No

entanto, o arranjo ideal para os cultivos, sobretudo no Brasil, ainda não está definido (KAKIHARA *et al.*, 1996; VILHENA, 1997; AMAYA ROBLES, 2002).

Essa situação evidencia a necessidade de pesquisas sobre o assunto por meio da avaliação do melhor arranjo de plantas, ou seja, o espaçamento entre linhas e a distribuição de plantas na linha, o qual permitirá definir a melhor distância entre plantas na área de cultivo (ARGENTA, *et al.*, 2001; ALVES *et al.*, 2014).

Igualmente, é a escassez de estudo sobre rentabilidade e o acompanhamento de custos para a cultura da yacon, que são essenciais para o sucesso da sua produção como hortaliça não convencional, tendo em vista sua aplicabilidade como espécie inovadora de renda e interesse social para compor os agrossistemas (TORALES *et al.*, 2015).

Assim, pelo exposto, objetivou-se com este trabalho avaliar o desenvolvimento vegetativo, a capacidade produtiva e a rentabilidade da yacon cultivada em diferentes espaçamentos entre linhas e entre plantas, em dois locais, na microrregião do Caparaó, ES.

### 3.2. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido em dois locais diferentes de cultivo, o experimento I em Alegre (baixada) e o experimento II em Muniz Freire (montanha), ambas na Microrregião do Caparaó, no sul do Espírito Santo.

O experimento I, foi instalado em maio e colhido em dezembro de 2014 na área experimental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo (Ifes), Campus de Alegre, localizado no distrito de Rive, município de Alegre-ES (baixada), altitude de 120 m, coordenadas 20° 45' de latitude Sul e 41° 27' de longitude Oeste, no período compreendido entre maio a dezembro de 2014.

Essa região foi caracterizada como de baixada, por estar localizada no vale do Rio Itapemirim, uma microrregião tropical quente (terras baixas), com temperaturas mais elevadas (PEZZOPANE *et al.*, 2012). A temperatura média mensal variou de 22°C a 26°C, e a precipitação pluvial alcançou 850 mm durante os meses em que o experimento foi conduzido (Figura 1).

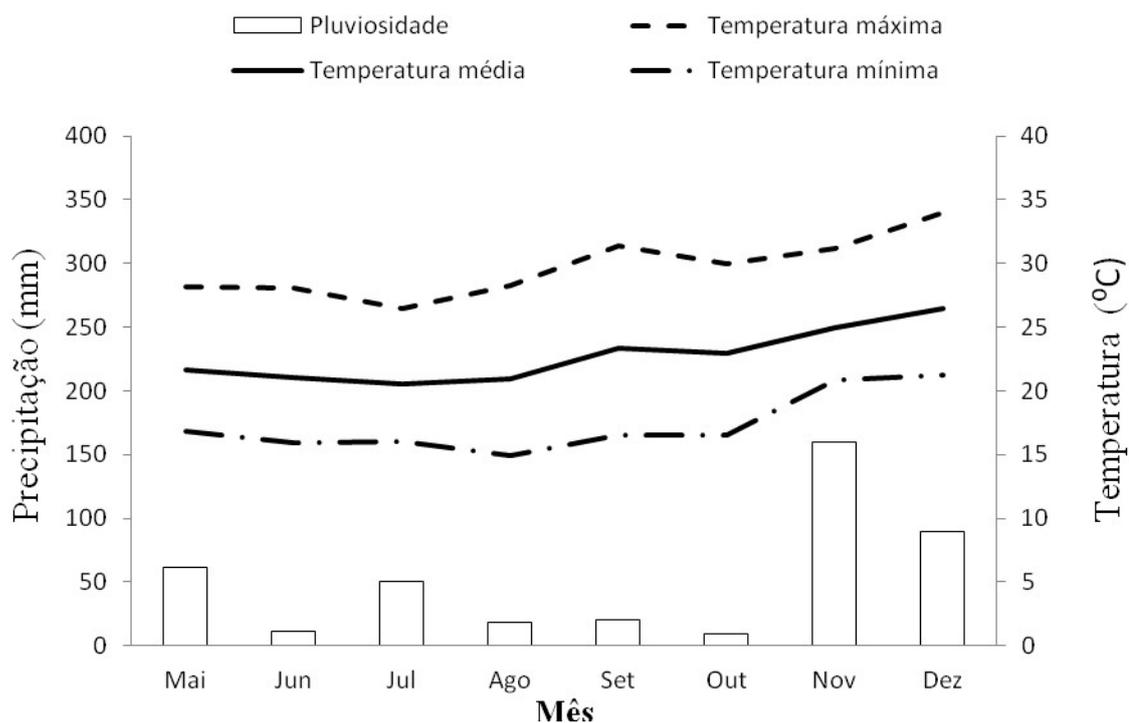


Figura 1: Médias mensais de precipitação (mm), de temperatura média e de temperaturas máxima e mínima (°C), observadas no período de maio a dezembro de 2014, em Alegre-ES. Fonte: INCAPER\*, Sistema de Informações Meteorológicas, 2014.

O experimento II foi instalado em março de 2016 e colhido em fevereiro de 2017 numa área cedida por um agricultor, localizada no distrito Alto Norte, município de Muniz Freire/ES (montanha), a 1.146 m de altitude, coordenadas 20° 14' de latitude sul e 41° 24' de longitude oeste, no período compreendido entre março de 2016 e fevereiro de 2017.

Microrregião que se caracteriza pelo clima de montanha (tropical de altitude), com temperaturas mais amenas e um melhor volume de chuvas (PEZZOPANE *et al.*, 2012). A temperatura média mensal variou de 17 a 26°C e a precipitação pluvial alcançou 1.296 mm durante os meses em que o experimento foi conduzido (Figura 2). Cabe ressaltar que houve, durante a execução desse experimento, uma seca intensa com baixa precipitação em maio de 2016, comprometendo inclusive a irrigação pela falta de água. Associado a esse fato, foi registrado temperaturas mínimas absolutas baixas numa fase crucial para o desenvolvimento das plantas.

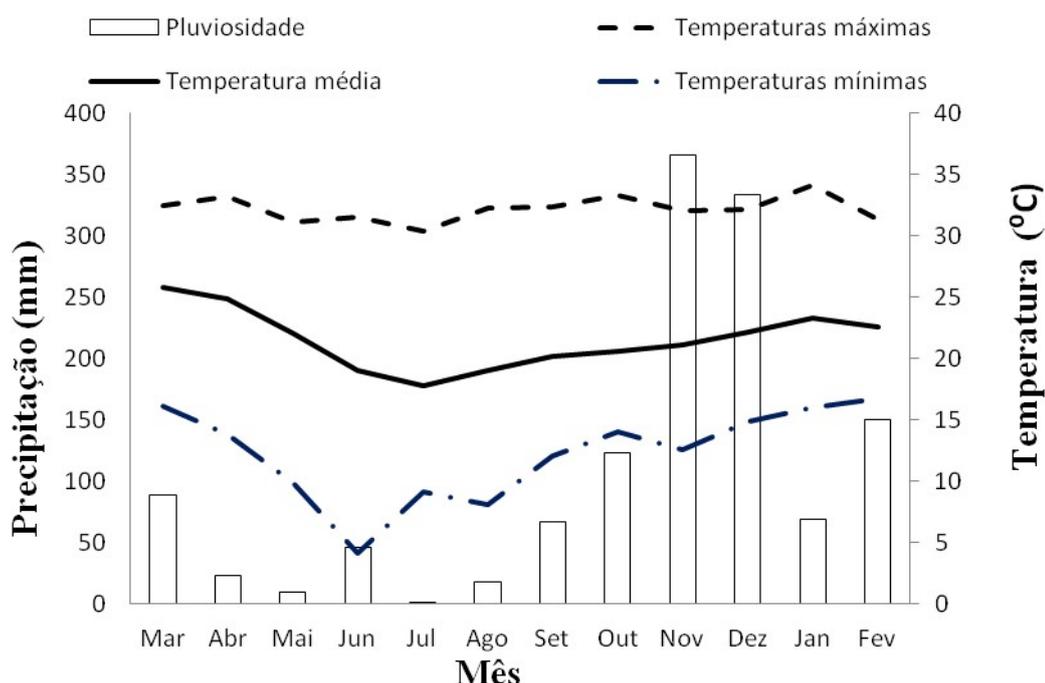


Figura 2: Médias mensais de precipitação (mm), de temperatura média e de temperaturas máxima e mínima (°C), observadas no período de março de 2016 a fevereiro de 2017, em Muniz Freire-ES. Fonte: INCAPER, Sistema de Informações Meteorológicas, 2017.

Nos dois locais o solo foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo, textura média (EMBRAPA, 2014), cujas amostras, coletadas de 0-20 cm de profundidade foram submetidas ao Laboratório de Solos do CCAE/UFES para análises química e física (Tabela 1). O solo foi preparado por meio de aração seguida de gradagem. A calagem não foi realizada nos locais de plantio.

O plantio nos dois locais foi realizado em covas de aproximadamente 15 x 15 x 15 cm, utilizando-se mudas com três pares de folhas, aproximadamente 10 cm de altura, preparadas em sacolinhas plásticas (10 x 18 cm) preenchidas com substrato a base de terra de barranco e esterco bovino na proporção 2:1. As mudas foram produzidas a partir de rizóforos provenientes de um mesmo genótipo.

Foi realizada adubação orgânica utilizando-se esterco bovino curtido na quantidade de 15 t ha<sup>-1</sup> (Tabela 2). A aplicação foi em cobertura parcelada em três vezes iguais, sendo a primeira realizada no plantio; a segunda 30 dias após o plantio e a terceira 60 dias após o plantio.

Tabela 1: Atributos da camada de 0 a 20 cm do solo nos dois locais, Alegre/ES (baixada) e Muniz Freire/ES (montanha). Alegre e Muniz Freire, ES, 2014/2016.

Atributos do solo	Local	
	Alegre	Muniz Freire
pH (água)	5,9	5,4
Fósforo Mehlich 1 ( $\text{mg dm}^{-3}$ )	39,80	51,97
Potássio ( $\text{mg dm}^{-3}$ )	69	111
Cálcio ( $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ )	1,35	2,91
Magnésio ( $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ )	0,49	0,71
Alumínio ( $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ )	0,0	0,25
H + Al ( $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ )	1,80	5,20
Soma de bases ( $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ )	1,97	3,90
CTC ( $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ )	3,77	9,10
Saturação por bases (%)	52,25	42,86
Carbono orgânico total (%)	1,40	3,96
Areia (%)	60	57
Silte (%)	5	14
Argila (%)	35	29

Laboratório CCAE/UFES. Embrapa, 2011.

Tabela 2: Caracterização química do adubo orgânico utilizado nos dois locais, Alegre/ES (baixada) e Muniz Freire/ES (montanha). Alegre e Muniz Freire, ES, 2014/2016.

Elementos químicos	Local	
	Alegre	Muniz Freire
Nitrogênio - $\text{g kg}^{-1}$	14,00	18,20
Fósforo - $\text{g kg}^{-1}$	3,10	2,50
Potássio - $\text{g kg}^{-1}$	11,80	15,40
Cálcio - $\text{g kg}^{-1}$	8,40	4,90
Magnésio - $\text{g kg}^{-1}$	4,10	2,90
Enxofre - $\text{g kg}^{-1}$	2,50	2,20
Boro - $\text{mg kg}^{-1}$	70,81	58,57
Zinco - $\text{mg kg}^{-1}$	41,30	34,0
Manganês - $\text{mg kg}^{-1}$	250,10	149,40
Ferro - $\text{mg kg}^{-1}$	300,0	1280,0
Cobre - $\text{mg kg}^{-1}$	15,30	11,75

Laboratório Labominas. MAPA, 2014.

Ao longo do ciclo de cultivo foi realizado controle manual das plantas espontâneas e irrigação por aspersão convencional. Na área experimental da região de montanha, a irrigação foi interrompido 60 dias após o plantio devido à problemas estruturais no reservatório de água e ao longo período de estiagem que a região passou. Sendo assim, não foi possível mantê-la funcionando, situação que se normalizou no mês de setembro de 2016, com o aumento da precipitação.

O delineamento experimental adotado para ambos experimentos, em Alegre (baixada) e em Muniz Freire (montanha), foi em blocos casualizados em esquema de parcelas subdivididas, sendo as parcelas compostas por três espaçamentos entre linhas (0,80; 1,00 e 1,20 metros) e as subparcelas por três espaçamentos entre plantas (0,40; 0,50 e 0,60 metros), com quatro repetições.

Cada parcela experimental foi constituída por 4 linhas com 7 plantas em cada linha, totalizando 28 plantas por parcela, sendo consideradas como plantas úteis para as avaliações as 10 plantas mais centrais, dispostas nas duas linhas centrais, e as demais consideradas bordadura (Figura 3). A área total de cada experimento compreendeu 400 m<sup>2</sup>, aproximadamente.

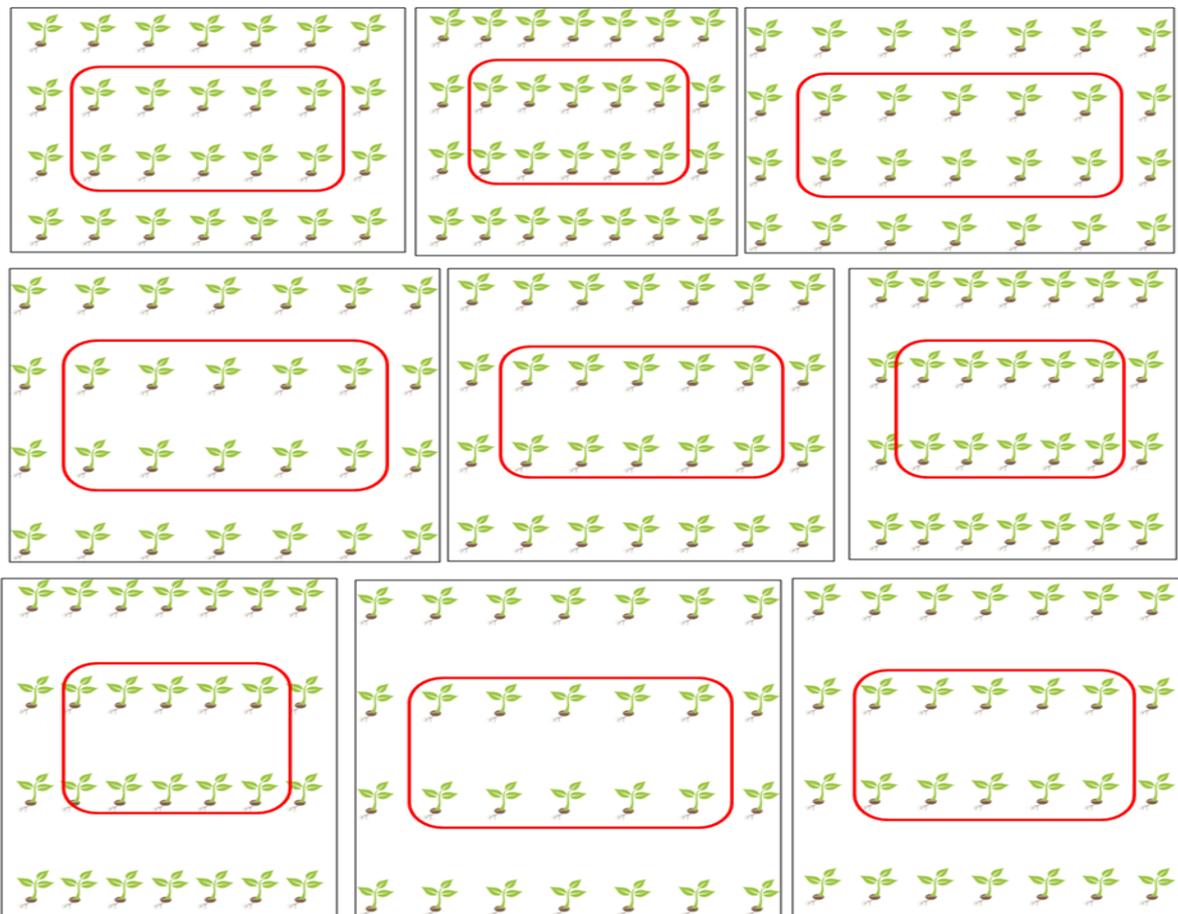


Figura 3: Croqui representando um bloco na área experimental.

Durante o desenvolvimento da cultura, foram realizadas avaliações aos 90; 120; 150; 180 e 210 dias após o plantio - DAP. Nessas avaliações mensurou-se:

- Altura de planta (cm): foi avaliada medindo-se a distância compreendida entre o colo da planta e o ápice foliar da maior haste da planta, utilizando-se uma fita métrica.

- Número de folhas e de hastes: foi realizada uma média das contagens de folhas e hastes das plantas da área útil em cada parcela.

- Diâmetro das hastes: o diâmetro das hastes foi determinado com o auxílio de um paquímetro medindo-se na base da haste principal.

Aos 210 DAP, considerou-se como ponto de fechamento do ciclo, em função do início do florescimento e do início da morte da parte aérea das plantas. Nesse momento foram realizadas as avaliações relacionadas à produção da cultura:

1. Desenvolvimento das raízes: produção de raízes tuberosas (número, peso, diâmetro e comprimento). O número foi obtido por contagem de todas as plantas úteis nas parcelas e feita uma média de número de raízes por planta. A massa foi obtida por pesagem de todas as plantas úteis nas parcelas fazendo uma média do peso de raízes.

2. Acúmulo de massa seca por parte da planta. A parte aérea da planta foi destacada do sistema radicular. O sistema radicular foi separado em rizóforos e em raízes tuberosas (excluídas as raízes fibrosas) e ambas pesadas separadamente para obtenção do acúmulo de massa seca em cada parte. A partir de amostras secas em estufa com circulação de ar forçada à temperatura de 65°C. A massa de matéria seca foi obtida em balança digital, com precisão de 0,01 g.

As raízes tuberosas foram selecionadas e classificadas seguindo a proposta de Seminario *et al.* (2003) e Oliveira (2016), de tal forma que se tenha a produção em número, peso, diâmetro e tamanho (Tabela 3).

Tabela 3: Parâmetros para seleção e classificação das raízes tuberosas

Raiz	Peso (g)	Diâmetro (cm)	Comprimento (cm)	Classificação*
Primeira	> 300	Entre 7 e 10	> 20	1A
Segunda	Entre 120 e 300	Entre 5 e 6	Entre 12 e 20	2A
Terceira	< 120	< 5	< 12	3A

Fonte: Adaptado de Seminario, Valderrama e Marinque (2003). \*Oliveira, 2016.

O índice de colheita (IC) normalmente é utilizado para indicar a eficiência das plantas na conversão de assimilados em produtos de importância econômica (AMARAL *et al.*, 2009). É definido como a relação entre a massa da matéria seca da fração econômica produzida ( $W_e$ ) (raízes tuberosas) e a massa da matéria seca total da planta ( $W$ ) (BEADLE, 1993), conforme a

$$\text{seguinte: } IC = \frac{W_e}{W} \cdot 100.$$

Em que: IC = índice de colheita;  $W_e$  = massa da matéria seca da fração econômica produzida; W = massa da matéria seca total da planta.

Com os dados de produção, realizou-se uma análise econômica de cada arranjo espacial. Os dados e informações referentes aos preços e coeficientes técnicos de todos os custos de produção foram produzidos através da montagem do experimento, consulta à central de vendas e diálogo com produtores. A metodologia do cálculo do custo de produção e os indicadores de análise e resultados de rentabilidade utilizados foram os mesmos apresentados por Furlaneto e Esperancini (2010).

As estruturas consideradas no sistema produtivo foram o custo operacional efetivo (COE), que envolve as despesas efetuadas com mão de obra, operações de máquinas/equipamentos e materiais consumidos ao longo do ciclo de cultivo, e o custo operacional total (COT), que nesse estudo é o COE acrescido com apenas a contribuição de seguridade social (2,3% sobre a renda bruta).

Os indicadores de análise de rentabilidade foram:

- Renda Bruta (RB): receita esperada para determinada produção por hectare, para o preço de venda praticado na CEASA/ES, ou seja,  $RB = Pr \times Pu$ , onde Pr = produção da yacon por unidade de área e Pu = preço unitário do quilograma da yacon (R\$/kg);
- Lucro operacional (LO): diferença entre a receita bruta e o custo operacional por hectare ( $LO = RB - COT$ , onde o COT é o custo operacional total);
- Relação Benefício/Custo (RBC): é a relação entre a receita esperada e o custo operacional, ou seja,  $RBC = RB/COT$ .

Para composição dos custos de produção, foi estimado o valor pago pelos agricultores referente ao valor unitário de cada rizóforo, preço em reais (R\$), sendo estimado R\$ 0,20 reais (vinte centavos de real) a unidade de 50g. O cálculo do custo de mão-de-obra foi estimado tendo como base o equivalente a 27 dias/homem (D/H) para implantar um hectare (1ha) com 20.000 plantas, espaçamento 0,80 x 0,50m, informação obtida com agricultores. O custo de adubo orgânico foi estimado com base no trabalho de Garcia e Souza (2015). Para cada arranjo populacional de plantio foram estimados os custos, os quais estão apresentados na Tabela 7.

Os dados foram submetidos à análise de variância com auxílio do Software SISVAR (FERREIRA, 2011). Nos casos de interação entre os fatores, realizou-se o desdobramento das subparcelas dentro de cada parcela. Variáveis de desenvolvimento vegetativo, foram avaliadas no tempo (90; 120; 150; 180 e 210 DAP) e por isso a análise da variância desses dados foi no esquema de parcelas sub-subdivididas, cujo efeito dos tratamentos foi estudado por meio da

análise de regressão. As médias dos tratamentos, quando significativas pelo Teste F, foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

### 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.3.1. Experimento 1: Arranjos populacionais para o cultivo de yacon em Alegre, Microrregião do Caparaó, sul do Espírito Santo.

Por meio da análise de variância se observou que não houve interação significativa entre os fatores em estudo para o diâmetro das hastes, número de folhas e o número de hastes.

Houve um crescimento linear ao longo do ciclo em todos os tratamentos para a altura das plantas (Figura 4). Quando a yacon foi cultivada no espaçamento de 0,80 m entre linhas, o destaque negativo fica para as plantas cultivadas com o espaçamento entre plantas de 0,60 m, por apresentarem as menores alturas de planta, ao longo do ciclo (Figura 4A). Quando se trabalha com o espaçamento de 1,00 m entre linhas, destaca-se o espaçamento entre plantas de 0,50 m, onde as plantas apresentaram maiores alturas o longo do ciclo (Figura 4B). Já com espaçamento de 1,20 m entre linhas, pode se considerar que as plantas apresentaram alturas semelhantes ao longo do ciclo (Figura 4C).

Nos arranjos que utilizaram 0,50 m entre plantas, tanto com 0,80 quanto 1,00 m entre linhas, as plantas atingiram maior altura, pode estar relacionado a uma condição de melhor distribuição na área, ou seja, estavam mais equidistantes, possibilitando assim, melhor utilização de luz, água e nutrientes nesses arranjos de cultivo (DEMÉTRIO *et al.*, 2008; BRACHTVOGEL *et al.*, 2012).

Normalmente a altura das plantas sofre pouca influência do arranjo de plantio, a não ser que haja uma limitação espacial que provoque o estiolamento (KAPPES *et al.*, 2011; DALCHIAVON *et al.*, 2012). Amaya Robles (2002) fez a mesma reflexão ao relatar que os arranjos de plantio pouco influenciaram sobre a altura das plantas de yacon, sendo verificado que os arranjos mais abertos (com espaçamentos de 1,40 m entre linhas e 1,00 m entre plantas) e que os arranjos mais fechados (espaçamento de 1,00 m entre linhas e 0,80 m entre plantas), contribuíram para as mesmas alturas de plantas (2,04 m).

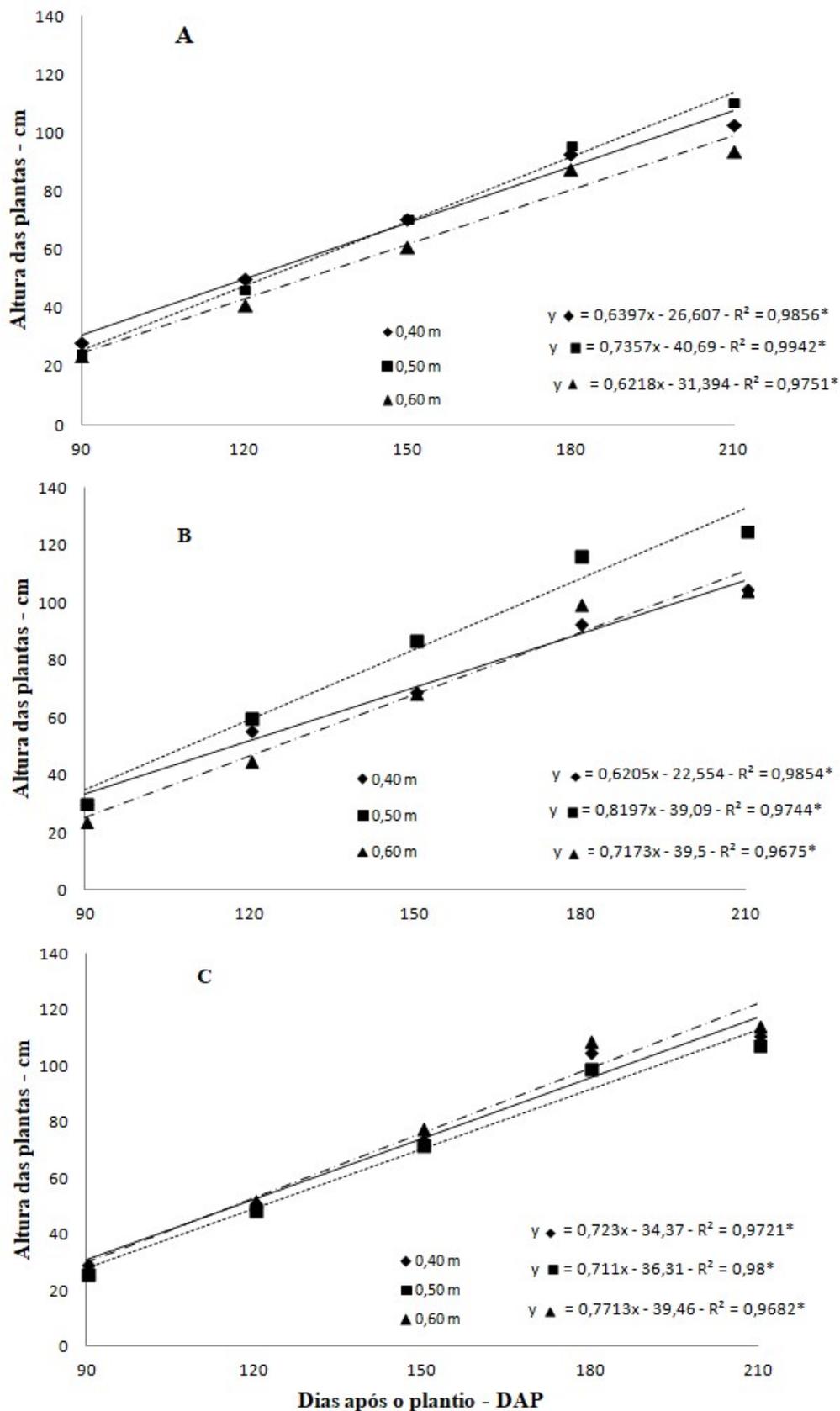


Figura 4: Altura das plantas de yacon cultivada em diferentes espaçamentos entre linhas e entre plantas em Alegre/ES (baixada) 2014. (\*significativo -  $p \leq 0,05$ ). Espaçamentos entre linha de 0,80 (A), 1,00 (B) e 1,20 m (C), com os respectivos espaçamentos entre plantas (0,40; 0,50 e 0,60 m).

À medida que aumenta o espaçamento entre linhas diminui o efeito do espaçamento entre plantas. Com 1,20 m entre linhas praticamente não há diferença na altura entre os espaçamentos entre plantas.

O acúmulo de biomassa seca foi influenciado pelos arranjos na região de baixada. Nota-se que quando se trabalhou com o espaçamento de 0,80 m entre linhas, houve aumento no acúmulo de biomassa na parte aérea quando se aumentou o espaçamento entre plantas (0,60 m – maior acúmulo observado). Situação semelhante ocorreu com o espaçamento entre linhas de 1,20 e 1,00 m (nesse, já notada com espaçamento de 0,50 m entre plantas) (Tabela 4).

Tabela 4: Acúmulo de biomassa seca na parte aérea e nas raízes tuberosas das plantas de yacon cultivadas em diferentes espaçamentos entre linha e entre plantas em Alegre (baixada). Alegre/ES. 2014.

<b>Parte Aérea - g pl<sup>-1</sup></b>			
Espaçamento entre plantas - m	Espaçamento entre linhas - m		
	0,80	1,00	1,20
0,40	80,44 b	84,4 b	94,3 b
0,50	86,50 b	130,1 a	99,3 b
0,60	107,1 a	128,9 a	131,3 a
CV% <sup>2</sup>	12,93		
<b>Raízes - g pl<sup>-1</sup></b>			
Espaçamento entre plantas - m	Espaçamento entre linhas - m		
	0,80	1,00	1,20
0,40	103,5 a	83,0 c	105,2 a
0,50	76,8 b	185,7 a	119,9 a
0,60	66,4 b	115,9 b	103,3 a
CV% <sup>2</sup>	13,11		

<sup>1</sup>Médias seguidas de mesma letra nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

<sup>2</sup>CV - coeficiente de variação - %.

Observa-se que quando se trabalhou com espaçamento de 0,80 m entre linha o acúmulo em biomassa nas raízes foi inversamente proporcional ao da parte aérea, ou seja, as plantas com maior acúmulo de biomassa em parte aérea apresentaram menor acúmulo em raízes. Comportamento que não se repetiu para o espaçamento de 1,00 e 1,20 entre linhas. Quando se trabalha com 1,00 m entre linhas, obtém-se maior acúmulo de massa seca de raízes com 0,50 m entre plantas. E adotando-se o espaçamento de 1,20 m entre linhas, não se nota diferenças (Tabela 4).

O acúmulo de matéria seca nos rizóforos não foi influenciado pelos arranjos estudados e, de forma geral, as plantas apresentaram biomassa de rizóforos variando de 23 a 40 g pl<sup>-1</sup>.

A produtividade em raízes tuberosas refletiu o acúmulo de massa seca, pois observa-se que quando se trabalhou com espaçamento de 0,80 m entre linha, as maiores produtividades de raízes tuberosas foram observadas no menor espaçamento entre plantas (0,40 m). Já quando se trabalha com espaçamento de 1,00 m entre linhas, maiores produtividades de raízes tuberosas foram observadas para o espaçamento entre plantas de 0,50 m. E adotando-se o espaçamento de 1,20 m entre linhas, não se notam diferenças (Tabela 5).

Tabela 5: Produtividade de raízes tuberosas de yacon, total e por classe, cultivada em diferentes espaçamentos entre linhas e entre plantas em Alegre (baixada). Alegre/ES, 2014.

Espaçamento entre plantas (m)	Espaçamento entre linhas (m)		
	0,80	1,00	1,20
Produção total de raízes tuberosas (t ha <sup>-1</sup> )			
0,40	37,5 a <sup>1</sup>	25,0 b	22,1 a
0,50	26,4 b	39,8 a	22,2 a
0,60	20,3 c	20,9 b	18,5 a
CV% <sup>2</sup>	13,15		
Produção de raízes tuberosas na Classe 1A (t ha <sup>-1</sup> )			
0,40	14,2 a	5,9 b	10,1 a
0,50	8,2 b	15,2 a	6,3 b
0,60	5,3 c	6,2 b	4,8 b
CV% <sup>2</sup>	11,72		
Produção de raízes tuberosas na Classe 2A (t ha <sup>-1</sup> )			
0,40	17,9 a	13,9 b	9,5 a
0,50	13,9 ab	19,3 a	11,6 a
0,60	10,3 b	10,2 b	10,2 a
CV% <sup>2</sup>	19,51		
Produção de raízes tuberosas na Classe 3A (t ha <sup>-1</sup> )			
0,40	5,3 a	5,2 a	2,4 b
0,50	4,3 a	5,3 a	4,4 a
0,60	4,7 a	4,5 a	3,4 ab
CV% <sup>2</sup>	20,24		

<sup>1</sup>Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p ≤ 0,05).

<sup>2</sup>CV - coeficiente de variação

De maneira geral, a produtividade de yacon é muito variada. No estado de São Paulo foram relatadas produtividades entre 30 e 62,5 t ha<sup>-1</sup> (AMAYA ROBLES, 2002; KRUGER, 2003; OLIVEIRA; NISHIMOTO, 2004). Já no Espírito Santo, Silva (2015) obteve produtividades entre 60,6 e 97,5 t ha<sup>-1</sup>, nos municípios de Alegre e Ibatiba, respectivamente, em plantio de outono.

Dessa forma, pode-se considerar que as produtividades de raízes tuberosas obtidas nos arranjos de 0,80 x 0,40 m ( $37,5 \text{ t ha}^{-1}$ ) e 1,00 x 0,50 m ( $39,8 \text{ t ha}^{-1}$ ), estariam dentro da faixa observada com a cultura. Já as obtidas com os espaçamentos de 1,20 m entre linhas, independente do espaçamento entre plantas estudado, ficou abaixo do esperado.

A distribuição das plantas por área, em função dos diferentes arranjos espaciais, pode ser um indicativo de melhor produtividade em função da melhoria na eficiência da interceptação da radiação solar a qual propiciaria aumento da taxa assimilatória líquida e, conseqüentemente resultando em incrementos na produção (KVITSCHAL *et al.*, 2010).

Nota-se que no espaçamento entre linhas de 1,00 m, o arranjo com 0,60 m entre plantas foi mais eficiente na interceptação da radiação solar por ter apresentado produtividade semelhante ao arranjo com 0,40 m entre plantas, mesmo com uma diferença no número de plantas (8.334 plantas). O mesmo nota-se no arranjo com espaçamento entre linhas de 1,20 m no qual todos os espaçamentos entre plantas apresentaram produtividade semelhante, evidenciando que o arranjo com 0,60 m entre plantas foi mais eficiente também.

Pode-se obter benefícios com o uso de espaçamentos reduzidos, desde que não promovam competição entre as plantas, por ser uma alternativa ecológica interessante no sentido de diminuir a perda de água por evaporação e reduzir o impacto da gota de chuva na superfície do solo, proporcionado pelo sombreamento mais rápido entre linhas (SILVA *et al.*, 2009b).

A produtividade da yacon é influenciada por uma série de fatores como a origem do material propagativo, pela adubação, espaçamento, condições edafoclimáticas e épocas de plantio (AMAYA ROBLES, 2002; KRUGER, 2003; SILVA, 2015). Por isso alguns trabalhos avaliando diferentes espaçamentos de plantio apresentam variações, como exemplo de Amaya Robles (2002) que obteve produtividade de  $65,8 \text{ t ha}^{-1}$  de raízes tuberosas com espaçamento de 1,00 m entre linhas por 0,80 m entre plantas e  $45,3 \text{ t ha}^{-1}$  utilizando espaçamento de 1,40 m entre linhas por 1,00 m entre plantas. Sumyianto *et al.* (2012), trabalhando com três plantas por metro linear ( $30.303 \text{ plantas ha}^{-1}$ ) obtiveram produtividade de  $26 \text{ t ha}^{-1}$  de raízes tuberosas, enquanto que Silva (2015) trabalhando com espaçamento de 1,00 m entre linha por 0,50 m entre plantas obteve  $60 \text{ t ha}^{-1}$  (em plantio de outono) e  $29 \text{ t ha}^{-1}$  (plantio de inverno).

Outro fator que está associado às variações na produtividade é a forma e o tipo de propagação utilizada. Nesse trabalho a lavoura foi implantada a partir de mudas oriundas de rizóforos pre-brotados, que segundo Tsukihashi *et al.* (1991) promoveram menor rendimento ( $27,8 \text{ t ha}^{-1}$ ) em relação a plantas do plantio direto de rizóforos ( $46,8 \text{ t ha}^{-1}$ ).

Outrossim, a alteração da produção por planta também influencia na produtividade final. Dividindo-se a produtividade de cada arranjo pelo número de plantas, obtém-se a produtividade média por planta. No arranjo com 0,80 m entre linhas por 0,40 m entre plantas a produção de raízes tuberosas por planta foi menor ( $1.200 \text{ g pl}^{-1}$ ), enquanto que no arranjo com 1,00 m entre linhas por 0,50 m entre plantas, as plantas produzem em média 1.990 g de raízes. Isso pode ser uma forma de compensação da planta, efeito da sua capacidade adaptativa.

Em relação às categorias de raízes produzidas, observa-se que o comportamento foi semelhante ao ocorrido com a produtividade total. Para o espaçamento entre linhas de 0,80 m, há maior quantidade de raízes da classe 1A e 2A, quando se adotou o espaçamento entre plantas de 0,40 m. Já quando se trabalhou com 1,0 m entre linhas, as maiores quantidades de raízes nas melhores classes (1A e 2A) foram observadas para o espaçamento entre plantas de 0,50 m. Quando se trabalhou com o espaçamento entre linhas de 1,20 m, só na classe 1A houve diferenças, observando maiores produtividades quando o espaçamento entre plantas foi de 0,40 m (Tabela 5).

É interessante notar que os arranjos que apresentaram maior produtividade total também apresentaram maior rendimento produtivo nas classes de raízes de maior valor comercial. O arranjo de 0,80 m x 0,40 m proporcionou rendimentos de 38% e 48%, nas classes 1A e 2A, respectivamente. Esse mesmo rendimento nas melhores classes (1A e 2A) foi observado no arranjo de 1,00 x 0,50 m. Esse é um resultado interessante tendo em vista que essas duas categorias de raízes atendem à demanda de mercado, pois são as de maior valor comercial (SEMINARIO *et al.*, 2003).

Nota-se que a quantidade de raízes produzidas na classe 3A foi menor que nas demais classes, independente do arranjo adotado, e que a produtividade de raízes na classe 3A praticamente não muda em função dos arranjos adotados, exceto para o espaçamento entre linhas de 1,20 m, que apresentou menor quantidade de raízes nessa classe, quando o plantio foi realizado com 0,4 m entre plantas (Tabela 5). A menor produção de raízes nessa categoria é interessante, do ponto de vista econômico, principalmente para o mercado de raízes “*in natura*”, já que essas são denominadas “refugo” pelo baixo valor comercial, no entanto podem ser destinadas para a indústria ou alimentação animal (AMAYA ROBLES, 2002).

Para o índice de colheita (IC) nota-se comportamento semelhante ao observado nas produtividades. Quando se trabalhou com o espaçamento entre linhas de 0,80 m, nota-se que o espaçamento entre plantas de 0,40 e 050 m promoveram os maiores IC. Para o espaçamento de 1,0 m entre linhas, o espaçamento entre plantas de 0,50 m foi o que apresentou maior IC.

Já para o espaçamento de 1,20 m entre linhas, não há diferenças em produtividade variando-se os espaçamentos entre plantas (Tabela 6).

Tabela 6: Índice de colheita de raízes de yacon cultivada em diferentes espaçamentos entre linha e entre plantas em Alegre (baixada). Alegre/ES. 2014.

Espaçamento entre plantas (m)	Espaçamento entre linhas (m)		
	0,80	1,00	1,20
	Índice de colheita - %		
0,40	49,43 a <sup>1</sup>	40,83 ab	39,24 a
0,50	46,20 a	49,66 a	48,33 a
0,60	34,33 b	36,89 b	45,49 a
<sup>2</sup> CV%	13,81		

<sup>1</sup>Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

<sup>2</sup> CV - coeficiente de variação.

Sendo o IC uma medida de eficiência do transporte de fotoassimilados para a raiz, teoricamente o maior IC observado por um tratamento demonstra maior eficiência de conversão de produtos sintetizados em material de importância econômica (DURÃES *et al.*, 2002). Dessa forma, o IC apontou que os arranjos com 0,80 m entre linhas por 0,40 e 0,50 m entre plantas e o arranjo com 1,00 m entre linhas por 0,50 m entre plantas foram os que apresentaram maiores taxas de conversão de assimilados em produtos de importância econômica, no caso, raízes tuberosas.

Entretanto, nem sempre o maior IC está associado à maior produtividade de raízes tuberosas. Este fato foi observado também por Durães *et al.* (2002). Por exemplo, no espaçamento entre linha de 0,80 m no qual os espaçamentos entre plantas 0,40 e 0,50m apresentam IC, estatisticamente, semelhante, porém com produtividades diferentes, no qual o espaçamento entre plantas com 0,50 m apresentou produtividade bem menor do que no espaçamento de 0,40 m entre plantas.

Considerando o valor do IC satisfatório acima de 50% (PEIXOTO *et al.*, 2005), somente o arranjo com espaçamento de 0,80 m entre linhas por 0,40 m entre plantas e o arranjo com 1,00 m entre linhas por 0,50 m entre plantas são considerados satisfatórios por se aproximarem desse valor, refletindo em diferenças no padrão de produção de matéria seca relacionada com o rendimento final, conforme apontado por Durães *et al.* (2002). O IC alcançado com a yacon pode ser considerado satisfatório se comparado com outras culturas produtoras de raízes tuberosas, como a madioca, que teve índice de colheita entre 44 a 51,3% aos 360 DAP (SILVA *et al.*, 2009a).

Com relação ao custo de produção estimado para produzir 1,0 hectare de yacon, em Alegre (baixada) e em Muniz Freire (montanha), houve variação em R\$ 9.439,38 entre o

menor custo (R\$ 10.080,42), que correspondeu ao espaçamento de 1,20 m entre linhas e 0,60 m entre plantas, e o maior custo (R\$ 19.519,80) que foi o tratamento com espaçamento de 0,80 m entre linhas e 0,40 m entre plantas (Tabela 7). Esses resultados mostram que o número de plantas utilizadas influencia diretamente no custo de produção da lavoura, sendo que a maior quantidade de plantas demanda maior quantidade de mudas e mão de obra alterando o custo de produção.

Do custo total de produção, os custos com rizóforos, material propagativo (mudas), representam 27,5% para o arranjo com menor número de plantas e 32% para o arranjo com maior número de plantas, respectivamente. Para todos os arranjos, a maior parte dos custos será com serviços (variando de 54% a 57%).

Cultivos propagados vegetativamente apresentam um custo com material de propagação que contribui muito para o custo total de produção da lavoura, o que demanda atenção com esse componente da produção. No cultivo de mandioquinha-salsa, o custo de aquisição de material propagativo representou 36% do total da produção (TORALES *et al.*, 2015), e na produção de taro, o custo com material propagativo, considerando somente os custos variáveis, foi de 45% do total da produção (HEREDIA ZÁRATE *et al.*, 2012).

Tabela 7: Estimativa dos custos, em reais, para produção por hectare de yacon cultivada em diferentes espaçamentos entre linha e entre plantas em dois locais, em Alegre (baixada) e em Muniz Freire (montanha).

Item	Un.	Valor Unit. (R\$)	Custos por arranjo populacional - R\$					
			0,80 x 0,40 m		0,80 x 0,50 m		0,80 x 0,60 m	
			Qde	Total	Qde	Total	Qde	Total
<b>1-Insumos</b>								
Esterco bovino	t	70,00	15	1.050,00	15	1.050,00	15	1.050,00
Mudas	un.	0,20	31.250	6.250,00	25.000	5.000,00	20.833	4.166,67
<b>2-Serviços</b>								
Aração/gradagem	H/T	60,00	6	360,00	6	360,00	6	360,00
Plantio	D/H	50,00	42	2.100,00	34	1.700,00	28	1.400,00
Capinas	D/H	50,00	34	1.700,00	28	1.400,00	23	1.150,00
Adubação	D/H	50,00	47	2.350,00	13	650,00	31	1.550,00
Colheita	D/H	50,00	42	2.100,00	34	1.700,00	28	1.400,00
Classificação	D/H	50,00	42	2.100,00	34	1.700,00	28	1.400,00
Irrigações	D/H	50,00	10	500,00	10	500,00	10	500,00
Custo operacional efetivo (COE)				18.010,00		13.560,00		12.476,67
<b>3-Encargos</b>								
Contribuição social		2,3% da RB		1.509,80		1.005,00		887,50
Custo operacional total (COT)				19.519,80		14.565,00		13.364,17

continua .....

continuação da Tabela 7

Item	Un.	Valor Unitário (R\$)	Custos por arranjo populacional - R\$					
			1,00 x 0,40 m		1,00 x 0,50 m		1,00 x 0,60 m	
			Qde	Total	Qde	Total	Qde	Total
<b>1-Insumos</b>								
Esterco bovino	t	70,00	15	1.050,00	15	1.050,00	15	1.050,00
Mudas	un.	0,20	25.000	5.000,00	20.000	4.000,00	16.667	3.333,33
<b>2-Serviços</b>								
Aração/gradagem	H/T	60,00	6	360,00	6	360,00	6	360,00
Plantio	D/H	50,00	34	1.700,00	27	1.350,00	23	1.150,00
Capinas	D/H	50,00	28	1.400,00	22	1.100,00	18	900,00
Adubação	D/H	50,00	13	650,00	30	1.500,00	25	1.250,00
Colheita	D/H	50,00	34	1.700,00	27	1.350,00	23	1.150,00
Classificação	D/H	50,00	34	1.700,00	27	1.350,00	23	1.150,00
Irrigações	D/H	50,00	10	500,00	10	500,00	10	500,00
<b>Custo operacional efetivo (COE)</b>				<b>13.560,00</b>		<b>12.560,00</b>		<b>9.693,33</b>
<b>3-Encargos</b>								
Contribuição social		2,3% da RB		1.060,60		1.600,00		893,60
<b>Custo operacional total (COT)</b>				<b>14.620,60</b>		<b>14.160,00</b>		<b>10.586,93</b>

continua .....

continuação da Tabela 7

Item	Un.	Valor Unitário (R\$)	Custos por arranjo populacional - R\$					
			1,20 x 0,40 m		1,2 0 x 0,50 m		1,20 x 0,60 m	
			Qde	Total	Qde	Total	Qde	Total
<b>1-Insumos</b>								
Esterco bovino	t	70,00	15	1.050,00	15	1.050,00	15	1.050,00
Mudas	un.	0,20	20.833	4.166,67	16.667	3.333,33	13.889	2.777,80
<b>2-Serviços</b>								
Aração/gradagem	H/T	60,00	6	360,00	6	360,00	6	360,00
Plantio	D/H	50,00	28	1.400,00	23	1.150,00	19	950,00
Capinas	D/H	50,00	23	1.150,00	18	900,00	15	750,00
Adubação	D/H	50,00	31	1.550,00	25	1.250,00	21	1.050,00
Colheita	D/H	50,00	28	1.400,00	23	1.150,00	19	950,00
Classificação	D/H	50,00	28	1.400,00	23	1.150,00	19	950,00
Irrigações	D/H	50,00	10	500,00	10	500,00	10	500,00
<b>Custo operacional efetivo (COE)</b>				<b>12.476,67</b>		<b>9.693,33</b>		<b>9.337,80</b>
<b>3-Encargos</b>								
Contribuição social		2,3% da RB		816,70		840,00		742,62
<b>Custo operacional total (COT)</b>				<b>13.293,37</b>		<b>10.533,33</b>		<b>10.080,42</b>

Quanto à rentabilidade do cultivo de yacon em função dos espaçamentos adotados, notou-se que o melhor lucro foi alcançado utilizando espaçamento de 1,00 m entre linhas e 0,50 m entre plantas (R\$ 55.420,00). Também foi o arranjo no qual se obteve a melhor relação benefício/custo (RBC = 4,9) (Tabela 8). As maiores produtividades alcançadas, somado ao menor gasto com mudas, com esse arranjo (1,00 x 0,50 m) contribuiu significativamente para esses valores de RBC. A RBC encontrada nesses arranjos foi superior à obtida por Huaycho *et al.* (2016) (4,53), com diferentes variedades de yacon utilizadas por agricultores nos vales interandinos da Bolívia.

O arranjo 0,80 x 0,40 m, que também obteve um bom desempenho produtivo (a segunda maior produtividade, 37,51 t ha<sup>-1</sup>), apresentou o maior custo de produção, por ser mais adensado e necessitar de um maior número de mudas e mais mão de obra, diminuindo a sua relação benefício/custo (RBC = 3,4), mostrando que nesse arranjo seria menor o retorno do investimento.

Como a relação benefício/custo (RBC) refere-se ao quanto se espera auferir para cada real investido, se RBC for maior que 1 (um), aceita-se o investimento. Dessa forma nota-se que todos os arranjos espaciais utilizados respondem positivamente e apresentariam retorno econômico, no entanto, a RBC do espaçamento 1,00 m entre linhas e 0,50 m entre plantas (4,9) mostra que nesse arranjo a cultura seria mais rentável que os demais.

Tabela 8: Produtividade, renda bruta, custo de produção, lucro e relação benefício/custos de raízes comerciais de yacon cultivada em diferentes espaçamentos entre linha e entre plantas em Alegre (baixada). Alegre/ES. 2014.

<b>Arranjos (m)</b>	<b>Nº plantas ha<sup>-1</sup></b>	<b>Produtividade (t ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Renda Bruta<sup>1</sup> (R\$)</b>	<b>Custos<sup>2</sup> (R\$)</b>	<b>Lucro (R\$)</b>	<b>Relação Benefício/ Custo (RBC)</b>
0,80 x 0,40	31.250	37.51	65.642,50	19.519,80	46.122,70	3,4
0,80 x 0,50	25.000	24.97	43.697,50	14.565,00	29.132,50	3,0
0,80 x 0,60	20.833	22.05	38.587,50	13.364,17	25.223,33	2,9
1,00 x 0,40	25.000	26.35	46.112,50	14.620,00	31.492,50	3,2
1,00 x 0,50	20.000	39.76	69.580,00	14.160,00	55.420,00	4,9
1,00 x 0,60	16.666	22.20	38.850,00	10.586,93	28.263,07	3,7
1,20 x 0,40	20.833	20.29	35.507,50	13.293,37	22.214,13	2,7
1,20 x 0,50	16.666	20.87	36.522,50	10.533,33	25.989,17	3,5
1,20 x 0,60	13.888	18.45	32.287,50	10.080,42	22.207,08	3,2

<sup>1</sup> R\$ 1,75.kg<sup>-1</sup>. Preço pago ao produtor de yacon na CEASA-ES, dia 20/02/2018. <sup>2</sup>Custo de produção de um hectare de yacon.

Tendo em vista a melhor produtividade e a maior relação benefício/custo (RBC) e a possibilidade de menores custos de produção, pela menor demanda na quantidade de material propagativo, o espaçamento de 1,00 x 0,50 m seria o mais recomendado para o cultivo de yacon em regiões de baixada.

### **3.3.2. Experimento 2: Arranjos populacionais para o cultivo de yacon em Muniz Freire, Microrregião do Caparaó, sul do Espírito Santo.**

Houve uma diminuição drástica no ganho de crescimento (altura das plantas) no momento inicial do ciclo, em todos os tratamentos, chegando a ausência total de parte aérea durante o período dos 120 aos 180 DAP e que após 210 DAP observou-se que as mesmas voltaram a crescer.

Houve um crescimento linear após esse período em todos os tratamentos para a altura das plantas (Figura 5). Nota-se que quando a yacon foi cultivada no espaçamento de 0,80 e 1,00 m entre linhas, as maiores alturas de plantas são observadas para o espaçamento entre plantas de 0,50 m, ao final do ciclo (300 dias após o plantio – DAP) (Figura 5A e B). Já quando se cultivou com espaçamento entre linhas de 1,20 m, as maiores alturas foram observadas para o espaçamento de 0,40 m entre linhas (Figura 5C).

Acredita-se que a diminuição de parte aérea no momento inicial do ciclo esteja relacionada com o estresse sofrido pelas plantas, devido à um período de seca (Figura 2), ao ponto que nos meses de abril e maio (2016) se registrarem precipitações de apenas 20 e 10 mm, respectivamente, associado às baixas temperaturas registradas, chegando à mínima absoluta de 3°C. A falta de umidade no solo, considerado o fator principal para formação de raízes tuberosas, foi limitante nesse estágio fenológico da cultura, momento de maior ramificação (crescimento da parte aérea) e início da formação das raízes tuberosas, como observado por Fernández *et al.* (2006).

Após os 180 DAP iniciou-se novo período de desenvolvimento vegetativo e que após 210 DAP as plantas apresentaram um crescimento acelerado. Esse fato pode ser explicado em decorrência do aumento da temperatura e da precipitação (Figura 2). Acima de 10°C o processo germinativo é acelerado, com isso a taxa de germinação dos rizóforos aumenta exponencialmente contribuindo para que a planta recupere rapidamente a taxa de crescimento (LARCHER, 2000).

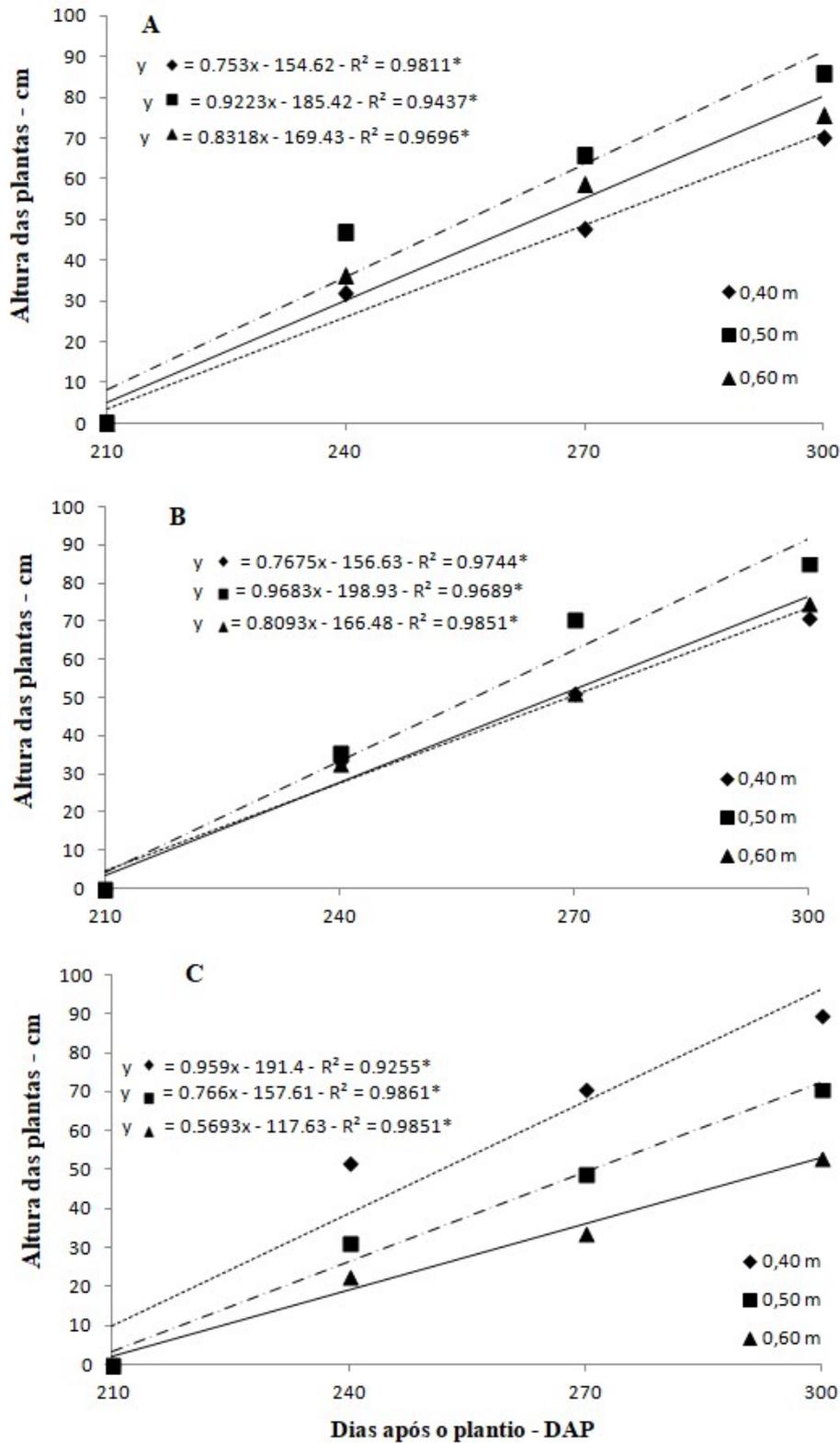


Figura 5: Altura das plantas de yacon cultivada em diferentes espaçamentos entre linhas e entre plantas em Muniz Freire/ES (montanha), 2016. (\*significativo -  $p \leq 0,05$ ). Espaçamentos entre linha de 0,80 (A), 1,00 (B) e 1,20 m (C), com os respectivos espaçamentos entre plantas (0,40; 0,50 e 0,60 m).

Apesar de se tratar de uma planta Andina, relativamente tolerante a temperaturas baixas, há relatos que a ocorrência de temperaturas menores que 10°C interrompem o desenvolvimento vegetativo da yacon (GRAU; REA, 1997; DOUGLAS *et al.*, 2005; FERNÁNDEZ *et al.*, 2007; TOKITA *et al.*, 2015), retomando o crescimento quando houver condições ideais. Seria uma forma de hibernação da planta, talvez uma estratégia de defesa e adaptação que a planta apresenta ao extremo frio, que é normal em regiões andinas.

Sugere-se que as plantas tenham se comportado dessa forma no presente trabalho, pois nota-se que as estruturas de reservas da planta, rizóforos e raízes, se mantiveram vivas (Figura 6) de modo a ter capacidade de emitir novas partes aéreas com condições ideais.



Figura 6: Aspecto da planta de yacon cultivada em região de montanha (90 DAP), após a seca. Planta com parte aérea morta (A). Rizóforos e raízes tuberosas com aparência saudável (B).

Aparentemente, a altura de plantas sofreu pouca influência quanto aos arranjos estudados e, de forma geral, as plantas crescidas em regiões de baixada apresentaram alturas finais um pouco maiores, variando de 1,00 a 1,20 m, e as plantas crescidas em regiões de montanha, um pouco menores, variando de 0,60 a 0,90 m. Esse fato também foi registrado por Silva (2015), que notou que as plantas crescidas em regiões de montanha apresentaram alturas menores (1,73 m) quando comparada com as plantas crescidas em regiões de baixada (2,04 m).

O diâmetro médio das hastes e o número de hastes não apresentaram alterações com os arranjos estudados, sendo que, em média, todas as plantas apresentaram caules com diâmetros entre 11 e 14 mm e de 3 a 5 hastes.

O acúmulo de matéria seca nos rizóforos não foi influenciado quanto aos arranjos realizados, e de forma geral as plantas crescidas nas regiões de montanha apresentaram valores de biomassa seca de rizóforos variando de 8 a 19 g pl<sup>-1</sup>, conforme também foi apontado por Silva (2015).

Já o acúmulo de biomassa seca de parte aérea e de raízes foi influenciado pelos arranjos. Porém, notou-se pouca diferença entre os tratamentos, destacando-se que quando se trabalhou com o espaçamento de 0,80 m entre linhas, apenas o espaçamento de 0,40 m entre plantas apresentou menor acúmulo de massa na parte aérea. Quando se trabalhou com o espaçamento de 1,00 m entre linhas, não houve diferenças. E quando se trabalhou com 1,20 m entre linhas, apenas as plantas crescidas no espaçamento de 0,60 m entre plantas que tiveram menor acúmulo de massa seca na parte aérea (Tabela 9).

Tabela 9: Acúmulo de biomassa seca das plantas de yacon cultivadas em diferentes espaçamentos entre linhas e entre plantas em Muniz Freire (montanha). Muniz Freire/ES. 2016.

Espaçamento entre plantas - m	Parte Aérea - g pl <sup>-1</sup>		
	Espaçamento entre linhas - m		
	0,80	1,00	1,20
0,40	22,50 b	36,5 ab	30,1 a
0,50	33,2 a	32,3 b	35,8 a
0,60	36,0 a	43,7 a	18,5 b
CV% <sup>2</sup>	12,89		
Espaçamento entre plantas - m	Raízes - g pl <sup>-1</sup>		
	Espaçamento entre linhas - m		
	0,80	1,00	1,20
0,40	8,01 b	20,8 a	18,6 a
0,50	14,3 a	21,3 a	19,8 a
0,60	11,0 ab	22,9 a	4,0 b
CV% <sup>2</sup>	17,22		

<sup>1</sup>Médias seguidas de mesma letra nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

<sup>2</sup> CV - coeficiente de variação.

Observando o acúmulo de biomassa seca de raízes notou-se comportamento semelhante ao da parte aérea. Porém, para o espaçamento de 0,80 m entre linhas, o maior acúmulo de massa foi nas plantas espaçadas em 0,50 m. Quando se trabalhou com o espaçamento de 1,00 m entre linhas, as plantas tiveram acúmulo de massa em raízes estatisticamente semelhante para os espaçamentos entre plantas. No espaçamento com 1,20 m

entre linhas, apenas as plantas crescidas no espaçamento de 0,60 m apresentaram menor acúmulo de massa seca em raízes (Tabela 9).

A produtividade total de raízes foi influenciada pelo arranjo de plantio. Quando se utilizou o espaçamento de 0,80 m entre linhas, verificou-se maior produtividade, os quais foram semelhantes nos espaçamentos de 0,40 e 0,50 m entre plantas. O mesmo ocorreu quando se realizou o plantio com 1,20 m entre linhas. Já quando trabalhou-se com espaçamento de 1,00 m entre linhas, as maiores produtividades foram notadas apenas com espaçamentos de 0,40 m entre planta (Tabela 10).

Tabela 10: Produtividade de raízes tuberosas de yacon, total e por classe, cultivada em diferentes espaçamentos entre linhas e entre plantas em Muniz Freire (montanha). Muniz Freire/ES, 2016.

Espaçamento entre plantas (m)	Espaçamento entre linhas (m)		
	0,80	1,00	1,20
Produção total de raízes tuberosas (t ha <sup>-1</sup> )			
0,40	22,5 a <sup>1</sup>	31,5 a	24,8 a
0,50	25,0 a	24,0 b	23,9 a
0,60	17,1 b	21,7 b	11,3 b
CV% <sup>2</sup>	12,25		
Produção de raízes tuberosas na Classe 1A (t ha <sup>-1</sup> )			
0,40	4,9 a	10,7 a	7,3 b
0,50	3,3 b	7,7 b	8,9 a
0,60	2,9 b	5,9 c	0,0 c
CV% <sup>2</sup>	8,49		
Produção de raízes tuberosas na Classe 2A (t ha <sup>-1</sup> )			
0,40	4,8 b	6,0 a	5,9 a
0,50	8,7 a	6,6 a	5,5 a
0,60	3,3 b	5,7 a	3,1 b
CV% <sup>2</sup>	15,06		
Produção de raízes tuberosas na Classe 3A (t ha <sup>-1</sup> )			
0,40	12,8 a	14,9 a	11,6 a
0,50	12,9 a	9,7 b	9,6 a
0,60	10,9 b	10,1 b	8,2 b
CV% <sup>2</sup>	7,33		

<sup>1</sup>Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

<sup>2</sup>CV - coeficiente de variação

De maneira geral, a produtividade total de raízes tuberosas, em região de montanha, ficou abaixo do esperado, tendo em vista as alcançadas por Silva (2015) (97,50 t ha<sup>-1</sup>) com plantio em época semelhante (outono/2015), em condição montanhosa município de Ibatiba/ES. Como a yacon precisa de cerca de 200 dias com condições adequadas para que as raízes tuberosas estejam prontas para a colheita (FERNANDÉZ *et al.*, 2007), acredita-se que a

menor produtividade possa ser reflexo de um tempo menor no ciclo das plantas, cerca de 90 dias após o estresse (dos 210 aos 300 DAP), enquanto que as produtividades alcançadas por Silva (2015) foram obtidas em plantas com 210 dias de ciclo.

Outra possibilidade para a produtividade menor seria relacionada à fertilização, que pode ter sido inferior à demanda da planta. Contudo, o fertilizante orgânico utilizado (esterco bovino), na dosagem de 15 t ha<sup>-1</sup>, mostrou-se satisfatório quando comparamos com a produção de 25,51 t ha<sup>-1</sup> de raízes tuberosas obtidas por Fernández *et al.* (2006) no cultivo de yacon espaçadas em 0,70 x 0,70 m, no qual aplicou-se 20 t ha<sup>-1</sup> de esterco bovino. Porém, no presente estudo não foi realizado uma calagem para elevar a saturação de bases, o que pode ter contribuído para uma resposta inferior na produtividade. Silva (2015) obteve produtividade de até 97,5 t ha<sup>-1</sup> de raízes tuberosas em solo com saturação de bases de 64%, aplicando-se 180 g de esterco bovino curtido por planta. Nesse mesmo sentido, Amaya Robles (2002) aplicou 750 kg de calcário ha<sup>-1</sup> para elevar a saturação de bases a 70%, obtendo dessa forma uma produtividade de 44,8 t ha<sup>-1</sup> de raízes tuberosas.

A planta de yacon é capaz de fornecer altos rendimentos sob condições favoráveis (KRUGER, 2003). Nesse sentido, a prática da calagem além de elevar a saturação de bases, vai reduzir a acidez do solo, contribuindo para proporcionar uma condição favorável ao desenvolvimento da yacon, uma vez que ela não tolera acidez do solo elevada (pH < 5,0).

Assim, a baixa produtividade também pode ter sido influenciada pela acidez que o solo apresentava (5,4), uma vez que Nieto (1991) relatou que as plantas de yacon no Equador apresentaram baixa produção (41,54 t ha<sup>-1</sup>) de raízes tuberosas nessa faixa de pH. Vilhena *et al.* (2000) relatam que o ideal seria manter o pH do solo por volta de 6,0, para evitar problemas dessa natureza, o que parece ser o mais indicado.

As melhores produtividades foram obtidas com espaçamentos mais curtos entre plantas (0,40 e 0,50 m) para todos os espaçamentos entre linhas (Tabela 10). Assim, mesmo que as plantas apresentem melhores produtividades médias individualmente, significa que nem sempre o espaçamento maior entre as plantas será mais eficaz para se obter maiores rendimentos de raízes, como relatado por Ronchi *et al.* (2015).

Esse fato foi relatado por Tokita *et al.* (2015), que produziram 18,9 t ha<sup>-1</sup>, com média de 1.517 g de raízes por planta arranjas com 1,00 m entre linhas por 0,80 m entre plantas, e 22,2 t ha<sup>-1</sup> de raízes tuberosas, com média 1.064 g de raízes por planta, em arranjo de 0,80 m entre linhas por 0,60 m entre plantas. Esse comportamento também foi relatado por Fernández *et al.* (2006), que produziram em média 1,0 kg de raiz tuberosa por planta espaçadas num arranjo com 0,90 x 0,30 m e uma média maior, 1,250 kg de raízes por planta, num arranjo de

0,70 x 0,70 m. Assim, a maior produtividade pode ser explicada pelo maior número de plantas por unidade de área.

Dessa forma, fica nítido que o arranjo espacial (espaçamento) adotado para o plantio da yacon influencia na produtividade final das plantas, principalmente por se relacionar diretamente com o uso dos recursos de produção como água, luz e nutrientes. No entanto, podem haver outros fatores envolvidos que promovem uma variação na resposta da planta a cada condição específica ao cultivo (KAPPES *et al.*, 2011).

Observando a produtividade por classe, notou-se que quando foi adotado o espaçamento de 0,80 m entre linhas, houve maior produtividade na classe 1A, para o espaçamento de 0,40 m entre plantas. O mesmo ocorreu com o espaçamento de 1,00 m entre linhas. Já para o espaçamento de 1,20 entre linhas, a maior produtividade na classe 1A ocorreu com o espaçamento de 0,50 m entre plantas (Tabela 10).

Já na classe 2A, observa-se quando foi adotado o espaçamento de 0,80 m entre linhas, houve maior produtividade com o espaçamento de 0,50 m entre plantas. Para o espaçamento de 1,00 m entre linhas não há diferenças. E para o espaçamento de 1,20 entre linhas, a maior produtividade na classe 2A ocorreu com o espaçamento de 0,40 e 0,50 m entre plantas, que foram semelhantes (Tabela 10).

Independentemente do espaçamento utilizado, observou-se maiores volumes de raízes na classe 3 A (raízes pequenas, < 120 g), que ocorreu por consequência das plantas terem menor tempo para o acúmulo de reserva nas raízes, conforme já citado. Tomando como referência a produção de raízes nas classes 1 A e 2 A, que tem melhor valor comercial, quando se cultivou com 0,80 m entre linhas, para todos os espaçamentos entre plantas (0,40; 0,50 e 0,60 m) a produção de raízes nessas classes não ultrapassou os 50% do volume de raízes produzidas (43%, 48% e 36%, respectivamente). Nos plantios com 1,00 entre linhas, o percentual foi maior em todos os espaçamentos entre plantas (0,40; 0,50 e 0,60 m) sendo 53%, 59% e 53%, respectivamente. Para 1,20 m entre linhas, o percentual foi maior para os espaçamentos entre plantas de 0,40 (53%) e 0,50 (60%).

O índice de colheita (IC) de raízes de yacon, quando se trabalha com 0,80 m entre plantas, não apresenta diferenças para os espaçamentos entre plantas estudados. Já quando se trabalha no espaçamento entre linhas de 1,00 m, os melhores IC foram observados com os espaçamentos entre plantas de 0,50 e 0,60 m. Enquanto para o espaçamento entre linhas de 1,20 m, os melhores IC foram observados com os espaçamentos entre plantas de 0,40 e 0,50 m (Tabela 11).

Tabela 11: Índice de colheita de raízes de yacon cultivada em diferentes espaçamentos entre linhas e entre plantas em Muniz Freire (montanha). Muniz Freire/ES. 2016.

Espaçamento entre plantas (m)	Espaçamento entre linhas (m)		
	0,80	1,00	1,20
	Índice de colheita - %		
0,40	34,51 a <sup>1</sup>	37,97 b	44,22 a
0,50	41,03 a	48,70 a	47,56 a
0,60	34,24 a	48,21 a	28,57 b
CV%	11,19		

<sup>1</sup>Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

<sup>2</sup> CV - coeficiente de variação.

Sendo o IC uma medida de eficiência do transporte de fotoassimilados para a raiz, teoricamente, o maior IC observado por um tratamento demonstra maior eficiência de conversão de produtos sintetizados em material de importância econômica (DURÃES *et al.*, 2002).

Dessa forma, o IC apontou que nos arranjos com 0,80 m entre linhas todos os espaçamentos entre plantas não diferem na conversão de assimilados. No arranjo com 1,00 m entre linhas, tanto 0,50, quanto 0,60 m entre plantas, apresentaram maiores taxas de conversão de assimilados em produtos de importância econômica, no caso, raízes tuberosas, e quando se utilizou 1,20 m entre linhas, os melhores IC foram alcançados com o arranjo de 0,40 ou 0,50 m entre plantas.

Considerando o valor do IC satisfatório quando acima de 50% (PEIXOTO *et al.*, 2005), somente o arranjo com espaçamento de 1,00 m entre linhas, com 0,50 ou 0,60 m entre plantas, aproximaram do valor satisfatório, porém não refletiu em diferenças no padrão de produção de matéria seca relacionada com o rendimento final, conforme apontado por Durães *et al.* (2002). No entanto, comparando-se com a mandioca, que apresentou índice de colheita entre 44 e 51,3% aos 360 DAP (SILVA *et al.*, 2009a), a yacon ficou muito próximo do ótimo, com IC de 48,7 % para o espaçamento de 1,00 x 0,50 m.

Quanto a rentabilidade do cultivo de yacon em função dos espaçamentos adotados, notou-se que em Muniz Freire (montanha) o melhor saldo foi alcançado utilizando espaçamento 1,00 m entre linhas e 0,40 m entre plantas (R\$ 40.505,00), apesar do IC de 37,9%. No entanto, esse arranjo apresentou a segunda melhor RBC (3,8), ficando um pouco abaixo do obtido com o arranjo de 1,20 x 0,50 m (4,0) (Tabela 12).

A maior RBC obtida com o arranjo de 1,20 x 0,50 m está relacionado com os menores gastos com o material propagativo (segundo menor custo de produção – R\$ 10.533,33) que permitiu uma melhor relação com o investimento, apesar da produtividade não ter aparecido

entre as mais elevadas. Nesse espaçamento de plantio observou-se o melhor retorno para cada real (R\$ 1,00) investido.

Já o arranjo de 1,00 x 0,40 m, que apresentou a segunda melhor RBC (3,8), apesar de apresentar a maior produtividade, com uma renda bruta maior, também apresentou um maior custo de produção, devido a maiores gastos com o material propagativo (segundo maior custo de produção – R\$ 14.620,00) o que diminuiu a sua RBC, mostrando que o retorno ao investimento com esse arranjo seria menor, por cada real (R\$ 1,00) investido.

Tabela 12: Produtividade, renda bruta, custo de produção, lucro e relação benefício custos de raízes comerciais de yacon cultivada em diferentes espaçamentos, entre linhas e entre plantas, em região de montanha. Muniz Freire, ES. 2016.

<b>Arranjos (m)</b>	Nº pl ha <sup>-1</sup>	Produtividade (t ha <sup>-1</sup> )	Renda Bruta <sup>1</sup> (R\$)	Custos <sup>2</sup> (R\$)	Lucro (R\$)	Relação Benefício/ Custo (RBC)
0,80 x 0,40	31.250	22,5	39.375,00	19.519,80	19.852,20	2,0
0,80 x 0,50	25.000	25,0	43.750,00	14.565,00	29.185,00	3,0
0,80 x 0,60	20.833	17,1	29.925,00	13.364,17	16.560,83	2,2
1,00 x 0,40	25.000	31,5	55.125,00	14.620,00	40.505,00	3,8
1,00 x 0,50	20.000	24,0	42.000,00	14.160,00	27.840,00	3,0
1,00 x 0,60	16.666	21,7	37.975,00	10.586,93	27.388,07	3,6
1,20 x 0,40	20.833	24,8	43.400,00	13.293,37	30.106,63	3,3
1,20 x 0,50	16.666	23,9	41.825,00	10.533,33	31.291,67	4,0
1,20 x 0,60	13.888	11,3	19.775,00	10.080,42	9.694,58	2,0

<sup>1</sup> R\$ 1,75.kg<sup>-1</sup>. Preço pago ao produtor de yacon na CEASA-ES, dia 20/02/2018. <sup>2</sup>Custo de produção de um hectare de yacon (referência Tabela 7).

Esses resultados indicam que a análise econômica, isto é, a determinação de alguns índices do resultado econômico, deve ser feita para se conhecer com detalhes a estrutura produtiva da atividade e realizar ações necessárias ao aumento de sua eficiência (PEREZ JÚNIOR *et al.*, 2006).

A rentabilidade é influenciada também pelas leis do comércio, ou seja, atualmente a oferta de yacon no mercado está muito reduzida e a procura está em franca expansão (consumo “*in natura*” para tratamento do diabetes), contribuindo para a elevação do preço-venda, o que pode aumentar a rentabilidade dessa planta, e com isso mudar a RBC. Se a renda bruta aumentar, mas o custo se mantiver, pode ser que os arranjos com maior produtividade possam também ser os mais rentáveis. Principalmente no caso do arranjo de

1,00 x 0,40 m que apresentou as melhores produtividades e com a segunda maior RBC, muito próximo da melhor (4,0) obtida com o arranjo de 1,20 x 0,50 m.

Além do potencial com a comercialização de raízes tuberosas, uma alternativa pode ser a comercialização dos rizóforos. Mesmo não tendo havido diferença significativa entre os arranjos para a produção de rizóforos, em média produziu entre 13 e 16 t ha<sup>-1</sup> de rizóforos. A comercialização desse material pode ser interessante uma vez que representa parte importante dos custos de produção. Assim, o agricultor pode utilizar esse material para vender o que aumentaria sua receita bruta e/ou utilizar seus rizóforos como insumo na safra seguinte, reduzindo seus custos variáveis com a aquisição de material propagativo, o que possibilitaria maiores saldos, sendo pela redução de custos ou pelo aumento da receita.

Tendo em vista a melhor produtividade e o maior lucro, e a real possibilidade de aumento na relação benefício/custo, o espaçamento de 1,00 entre linhas por 0,40 entre plantas seria o mais recomendado para o cultivo de yacon, em região de montanha.

### **3.4. CONCLUSÕES**

Em Alegre (baixada), o arranjo com 1,00 m entre linhas por 0,50 m entre plantas (população de 20.000 plantas), proporcionou maior produtividade, maior renda bruta, maior lucro e uma melhor relação benefício/custo em relação aos demais arranjos populacionais, sendo o mais indicado para essas condições de cultivo.

Em Muniz Freire (montanha), o arranjo com 1,00 m entre linhas por 0,40 m entre plantas (população de 25.000 plantas), proporcionou maior produtividade, maior renda bruta e maior lucro em relação aos demais arranjos populacionais, o qual deverá ser indicado para essas condições de cultivo, apesar de não ter fornecido a melhor relação benefício/custo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, M.L.; MEROTTO JUNIOR, A.; SANGOI, L.; ENDER, M.; GUIDON, A. Incremento na densidade de plantas: uma alternativa para aumentar o rendimento de grãos de milho em regiões de curta estação estival de crescimento. **Ciência Rural**, v.30, n.1, p.23-29, 2000.
- ALVES, G. M. R.; ALEIDA, A. E. S.; MAGALHÃES, I. D.; COSTA, F. E.; COSTA, L. R.; SOARES, C. S. Cultivo do girassol sob diferentes espaçamentos entre linhas no semiárido paraibano. **Revista de Biologia e Farmácia**. v.10, n.03, p.14-19, 2014.
- AMARAL, J. A. T. ; AMARAL, J. F. T. ; SCHILDT, E. R.; COELHO, R. I. Métodos de análise quantitativa do crescimento de plantas. In: Adésio Ferreira; Andreia B. P. Lima; Frederico de P. Matta; José Augusto Teixeira do Amaral; José Carlos Lopes; José Eduardo M. Pezzopane; Marcia F. da S. Ferreira; Ricardo A. Polanczyk; Tais C. B. Soares. (Org.). Tópicos especiais em produção vegetal I. 1ed. Alegre, ES: UFES, Centro de Ciências Agrárias, 2009, 1v., p. 259-276.
- AMAYA ROBLES, J. E. **Desenvolvimento de yacón (*Polymnia sonchifolia* Poep. & Endl.) a partir de rizóforos e de gemas axilares, em diferentes espaçamentos**. 2002. xix, 89f. Tese (Doutorado em Agronomia/Horticultura)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista. Botucatu, 2002.
- ARGENTA, G.; SILVA, P.R F. da; SANGOI, L. Arranjo de plantas em milho: análise do estado-da-arte. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 31, n. 6, p.1075-1084, 2001.
- ASSIS, G. A. et al. Correlação entre crescimento e produtividade do cafeeiro em função do regime hídrico e densidade de plantio. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 3, p. 666–675, 2014.
- BEADLE, C. L. Growth analysis. In: HALL, D. O.; SCURLOCK, J. M. O.; BOLHR-NORDENKAMPF, H. R.; LEEGOOD, R. C.; LONG, S. P. (Eds.). **Photosynthesis and production in a changing environment: a field and laboratory manual**. London: Chapman & Hall, 1993. p. 36-46.
- BERTOLO, A. P. Batata yacon : caracterização e inativação. **Revista CSBEA**. v.1, p.1–5, 2017.
- BEZERRA, F. T. C. et al. Comportamento vegetativo e produtividade de girassol em função do arranjo espacial das plantas. **Revista Ciencia Agronomica**, v. 45, n. 2, p. 335–343, 2014.
- BRACHTVOGEL, E. L. et al. População , arranjo de plantas uniforme e a competição intraespecífica em milho. **Revista Trópica**, v. 6, n. 1, p. 75–83, 2012.
- DALCHIAVON, M. P. et al. Comportamento de altura de plantas de *Crambe abyssynica* em função da variação de densidade de plantio. **Acta Iguazu**, v. 1, n. 3, p. 33–43, 2012.
- DEMÉTRIO, C. S.; FILHO, D. F.; CAZETTA, J. O.; CAZETTA, D. A. Desempenho de híbridos de milho submetidos a diferentes espaçamentos e densidades populacionais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.43, n.12, p.1691-1697, 2008.

DOO, H.S.; RYU, J.H.; LEE, K.S.; CHOI, S.Y. Effect of plant density on growth responses and yield in yacon. **Korean J. Crop Sci.**, v. 46, n. 5, p. 407–410, 2001.

DOUGLAS, J.A.; DOUGLAS, M.H.; DEO, B.; FOLLETT, J.M.; SCHEFFER, J.J.C.; SIMS, I.M.; WELCH, R.A.S. Research and Development of Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) Production in New Zealand. **Acta Hort.** 670, ISHS 2005.

DURÃES, F. O. M.; MAGALHÃES, P. C.; OLIVEIRA, A. C. de. Índice de colheita genético e as possibilidades da genética fisiológica para melhoramento do rendimento de milho. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*. v. 1, n. 1, p. 33-40, 2002.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 4.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2014. 376 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA - EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo – 2. ed. – Brasília, DF : Embrapa, 2011. 230 p.

FERNÁNDEZ, E. C. et al. Yacon [*Smallanthus sonchifolius* (Poeppig & Endlicher) H. Robinson]: A new crop in the Central Europe. **Plant, Soil and Environment**, v. 52, n. 12, p. 564–570, 2006.

FERNÁNDEZ, C. E. et al. The cultivation and phenological growth stages of yacon [*Smallanthus sonchifolius* (Poepp. et Endl.) H. Robinson]. **Agricultura Tropica et Subtropica**, v. 40, n. 3, p. 71–77, 2007.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia (UFLA)**, v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011.

FURLANETO, F. D. P. B.; ESPERANCINI, M. S. T. Custo de produção e indicadores de rentabilidade da cultura do milho safrinha. **Pesquisa Agropecuaria Tropical**, v. 40, n. 3, p. 297–303, 2010.

GARCIA, R. D. C.; SOUZA, J. L. Desempenho econômico de cultivos orgânicos. In: SOUZA, J. L. (Org.) *Agricultura orgânica: tecnologias para a produção de alimentos saudáveis*. Vitória, ES: Incaper, 3v.; p.283-333, 2015.

GOMES, H. E.; HEREDIA ZÁRATE, N. A.; VIEIRA, M. C.; GASSI, R. P.; TORALES, E. P.; MACEDO, R. V. Produção de mudas e de raízes comerciais de mandioca-salsa ‘Amarela de Carandaí’ em função de espaçamentos e amontoa. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 31, p. 1121-1132, 2010.

GONDIM, T. M. DE S. et al. Plasticidade fenotípica da mamoneira precoce sob diferentes arranjos espaciais em consórcio com feijão caupi. **Revista Ciencia Agronomica**, v. 45, n. 1, p. 128–137, 2014.

GRACIANO, J. D.; HEREDIA ZÁRATE, N. A.; VIEIRA, M. C.; ROSA, Y. B. C. J.; SEDIYAMA, M. A. N. Espaçamentos entre fileiras e entre plantas na produção da mandioca-salsa "Branca". **Ciência e Agrotecnologia**. v. 31, n. 6, p. 1688-1695, 2007.

GRAU, A.; REA, J. Yacon *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Robinson. In: HERMANN, M.; HELLER, J. (Eds.). *Andean roots and tubers: Ahipa, arracacha, maca and yacon. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops*. Rome: IPK, Gatersleben / IPGRI, 1997. p. 199- 256.

GUSSO, A. P.; MATTANNA, P.; RICHARDS, N. Yacon : benefícios à saúde e aplicações tecnológicas. **Ciência Rural**, v. 45, n. 5, p. 912–919, 2015.

HERDIA ZÁRATE, N. A. et al. Número de fileiras no canteiro e espaçamento entre plantas na produção e na rentabilidade da beterraba em Dourados, estado do Mato Grosso do Sul. **Acta Scientiarum - Agronomy**, v. 30, n. 3, p. 397–401, 2008.

HEREDIA ZÁRATE, N. A. et al. Produção e renda bruta de quatro clones de taro cultivados em Dourados, Estado do Mato Grosso do Sul. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 31, n. 2, p. 301–305, 2009.

HEREDIA ZÁRATE, N. A. et al. Produção agroeconômica de taro em função do número de amontoas. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, n. 5, p. 1673–1680, 2012.

HUAYCHO, H. et al. Conocimientos tradicionales en yacón o aricoma ( *Smallanthus sonchifolius* ) en comunidades de Mocomoco , Coroico e Irupana de La Paz. **Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales**, v. 3, n. 2, p. 152–165, 2016.

INSTITUTO CAPIXABA DE PESQUISA, ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL - INCAPER. Disponível em: <<http://hidrometeorologia.incaper.es.gov.br/?pagina=bol>> Acesso em 20 dez. 2014. Acesso em 20 fev. 2017.

KAKIHARA, T.S.; CÂMARA, F.L.A.; VILHENA, S.M.C.; RIERA, L. Cultivo e industrialização de yacon (*Polymnia sonchifolia*): uma experiência brasileira. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE RAÍZES TROPICAIS 1 e CONGRESSO BRASILEIRO DE MANDIOCA 9, São Pedro. **Anais...** Botucatu: Centro de Raízes Tropicais, sociedade Brasileira de Mandioca, 1996. s.p. (resumo 148). 1996.

KAPPES, C.; ANDRADE, J. A. da C.; ARF, O.; OLIVEIRA, A. C.; ARF, M. V.; FERREIRA, JP. Desempenho de híbridos de milho em diferentes arranjos espaciais de plantas. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 2, p.334-343, 2011.

KRUGER, F. G. Q. **Adubação mineral, orgânica e biodinâmica de yaco (*Polymnia sonchifolia* Poep. & Endl): rendimento, qualidade e armazenamento**. Tese - (Doutorado em Agronomia/ Horticultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. 211f. 2003.

KVITSCHAL, M. V.; MANTINE, E.; VIDIGAL FILHO, P. S.; VIDIGAL, M. C. G.; SCAPIM, C. A. Arranjo de plantas e produção de dois híbridos simples de milho. **Revista Ciência Agrônômica**. v. 41, n. 1, p.122-131, 2010.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. Tradução de Carlos Henrique Britto de Assis Prado. São Carlos: RiMa, 2000. 531p.

LEONE, R. de S. et al. Evaluation of dried yacon (*Smallanthus sonchifolius*) as an efficient probiotic carrier of *Lactobacillus casei* LC-01. **LWT - Food Science and Technology**, v. 75, p. 220–226, 2017.

LOPES, W. A. R.; NEGREIROS, M. Z.; TEÓFILO, T. M. S.; ALVES, S. S. V.; MARTINS, C. M.; NUNES, G. H. S.; GRANGEIRO, L. C. Produtividade de cultivares de cenoura sob diferentes densidades de plantio. **Ceres**. v. 55, n. 5, p.482-487, 2008.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes minerais, orgânicos, organominerais e corretivos / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Coordenação-Geral de Apoio Laboratorial; Murilo Carlos Muniz Veras (Org.) – Brasília : MAPA/ SDA/CGAL, 2014. 220 p.

MOTA JÚNIOR, C. V.; OLIVEIRA, J. M.; MOTA, L. C. B. M. Avaliação da qualidade e produtividade da cenoura com diferentes densidades de plantio. **Gl. Sci Technol**, v.7, n.1, p.1–6, 2014.

NIETO, C.C. Estudios agronomicos y bromatologicos en “jicama” (*Polymnia sonchifolia* Poepp. Endl.). **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, v.41, n.2, p.213-221, 1991.

OLIVEIRA, R. B. et al. Topical anti-inflammatory activity of yacon leaf extracts. **Brazilian Journal of Pharmacognosy**, v. 23, n. 3, p. 497–505, 2013.

OLIVERA, M. A.; NISHIMOTO, E. K. Evaluation of the development of yacon plants (*Polymnia sonchifolia*) and characterization of the carbohydrates by HPLC. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 7, n. 2, p. 215–220, 2004.

OLIVEIRA, T. Classificação de batata yacon na CEAGESP. Boletim do Centro de Qualidade, Pesquisa & Desenvolvimento da CEAGESP, SP, v 1, n 4, 2016.

OJANSIVU, I.; LUCIA, C. F.; SALMINEN, S. Yacon , a new source of prebiotic oligosaccharides with a history of safe use. **Trends in Food Science & Technology**, v. 22, n. 1, p. 40–46, 2011.

PAULA, H. A. A.; ABRANCHES, M. V.; FERREIRA, C. L. L. F. Yacon (*Smallanthus sonchifolius*): a food with multiple functions. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**. v.55, n.1, p. 32-40, 2013.

PEIXOTO, J.R.; BERNARDES, S.R.; SANTOS, C.M. dos; BONNAS, D.S.; FIALHO, J. de. F.; OLIVEIRA, J.A. de. Desempenho agrônômico de variedades de mandioca mansa em Uberlândia, MG. **Revista Brasileira de Mandioca**, v.18, p.19-24, 2005.

PEREZ JÚNIOR, J. H.; OLIVEIRA, L. M.; COSTA, R. G. Gestão estratégica de custos. 5ed. São Paulo: Atlas, 2006, 378p.

PEZZOPANE, J. E. M.; CASTRO, F. S.; PEZZOPANE, J. R. M.; CECÍLIO, R. A. **Agrometeorologia**: Aplicações para o Espírito Santo. Alegre, ES: CAUFES, 2012. 174p.

RONCHI, C. P.; SOUSA JÚNIOR, J. M.; AMEIDA, W. L.; SOUZA, D. S.; SILVA, N. O.; OLIVEIRA, L. B.; GUERRA, A. M. N. M.; FERREIRA, P. A. Morfologia radicular de

cultivares de café arábica submetidas a diferentes arranjos espaciais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.50, n.3, p.187-195, 2015.

SALDAÑA, E. et al. Measurement parameter of color on yacon (*Smallanthus sonchifolius*) slices using a computer vision system. **LWT - Food Science and Technology**, v. 59, n. 2P2, p. 1220–1226, 2014.

SEMINARIO, J.; VALDERRAMA, M.; MANRIQUE, I. **El yacon: fundamentos para el aprovechamiento de un recurso promisorio**. Lima, Peru: Centro Internacional de la Papa (CIP), Universidad Nacional de Cajamarca, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE), 2003. 60p.

SILVA, A. F. et al. Produção de diferentes variedades de mandioca em sistema agroecológico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 1, p. 33–38, 2009a.

SILVA, A. G. et al. Desempenho de híbridos de girassol em espaçamentos reduzidos. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 30, n. 1, p. 31–38, 2009b.

SILVA, D. M. N. da. Cultivo de yacon em duas condições edafoclimáticas e épocas de plantio no Sul do Espírito Santo, 2015. 86f. (Tese–Doutorado em Produção Vegetal)–Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2015.

SUMIYANTO, J. et al. Oligofructans content and yield of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) cultivated in Mississippi. **Scientia Horticulturae**, v. 148, p. 83–88, 2012.

TOKITA, N. et al. Effects of planting density and fertilizer type on growth and yield of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) tubers. **Asian Journal of Plant Science and Research**, v. 5, n. 11, p. 38–41, 2015.

TORALES, E. P. et al. Produtividade da mandioquinha-salsa em resposta aos espaçamentos entre plantas e peso de mudas. **Biosci. J.**, v. 31, n. 2, p. 433–444, 2015.

TSUKIHASHI, T.; MIYAMOTO, M.; SUZUKI, N.; UTSUGI, Y.; ASAMI, T.; MINAMISAWA, K. . Effect of the planting methods on the growth and yield of yacon (*Polymnia sonchifolia*), **Japanese Journal of Farm Work Research**, v.25, n.3, p.185-189, 1991.

VALDERRAMA, M.; DÍAZ, A.; ACERO, A. Cultivo de Yacón: experiências de introdução e gerenciamento técnico no Vale do Condebamba. PYMAGROS rodutores PYMAGROS e mercados agrícolas da serra, convenio MINAG - COSUDE. Cajamarca, Perú. 2005, 47 p.

VILHENA, S. M. C. *Cultivo do yacón (Polymnia sonchifolia* Poep Endl.) no Brasil. In: Workshop de yacón: bases racionais para a utilização de uma nova cultura, 1997, Botucatu. **Anais...** Botucatu: Faculdade de ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, 1997.

VILHENA, S. M. C.; CÂMARA, F. L. A.; KADIHARA, S.T. O cultivo do yacon no Brasil. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 18, n. 1, p .5-8, 2000.

VITALI, M. S.; BARRETO, J. N. V. Phylogenetic studies in *Smallanthus* (Millerieae, Asteraceae): A contribution from morphology. **Phytotaxa**, v. 159, n. 2, p. 77–94, 2014.

VITALI, M. S.; SANCHO, G.; KATINAS, L. A revision of *Smallanthus* (Asteraceae, millerieae), the “yacón” genus. **Phytotaxa**, v. 214, n. 1, p. 1–84, 2015.

ZANINE, A. M.; SANTOS, E. M. Competição entre espécies de plantas – uma revisão. **Revista da FZVA**. v.11, n.1, p. 10-30. 2004.

#### 4. CAPITULO 2: CORRELAÇÕES E ANÁLISE DE TRILHA ENTRE OS CARACTERES MORFOLÓGICOS E OS AGRONÔMICOS RELACIONADOS A PRODUÇÃO DE YACON EM DOIS LOCAIS DE CULTIVO.

##### RESUMO

A observação dos coeficientes de correlação, assim como o desdobramento das correlações em efeitos diretos e indiretos, através do método de análise de trilha, permite medir a influência direta de uma variável sobre a outra, independente das demais, ou a sua influência indireta, através de outra variável. O estudo dessas relações de causa/efeito tem uma aplicabilidade prática na determinação de que variáveis morfológicas da planta poderiam ser analisadas para se realizar uma estimativa de produção final de um determinado cultivo. Dessa forma, objetivou-se avaliar as correlações, através da análise de trilha, entre os caracteres morfológicos e os agronômicos importantes na produção de yacon, em duas localidades de cultivo. Os caracteres morfológicos avaliados foram altura da planta, diâmetro da haste, número de folhas, número de hastes e massa seca da parte aérea. Os caracteres agronômicos avaliados foram número de raízes, índice de colheita e produtividade total. Os dados foram tomados em dois experimentos de campo. O primeiro experimento foi instalado na área experimental do Ifes, Campus de Alegre/ES (baixada) altitude de 120 m. O segundo experimento foi instalado na área cedida por um agricultor, localizada no distrito Alto Norte, município de Muniz Freire/ES (montanha), a 1.146 m de altitude. As análises de correlações de Pearson foram estimadas entre o grupo de variáveis constituído pelos caracteres morfológicos (variáveis explicativas – independentes) e os agronômicos (variáveis básicas – dependentes). A análise de trilha foi realizada em cadeia única, considerando-se um único diagrama causal como hipótese, para cada variável básica. Os resultados permitiram concluir que a baixa correlação entre as variáveis morfológicas e as agronômicas relacionadas à produção de yacon, tanto em Alegre (baixada) quanto em Muniz Freire (montanha), mostrou que as variáveis morfológicas não podem ser utilizadas como critério de seleção para o aumento na produção de raízes tuberosas de yacon, uma vez que os efeitos diretos e/ou indiretos foram baixos.

Palavras-chave: *Smallanthus sonchifolius*. Análise de Caminhamento. Associação. Efeito direto e indireto.

## ABSTRACT

### **CORRELATIONS AND PATH ANALYSIS AMONG MORPHOLOGICAL AND AGRONOMIC CHARACTERS RELATED TO YACON PRODUCTION IN TWO CULTURAL PLACES.**

The observation of correlation coefficients, as well as the unfolding of correlations in direct and indirect effects, through the method of track analysis, allows to measure the direct influence of one variable on the other, independent of the others, or its indirect influence, through of another variable. The study of these cause/effect relationships has a practical applicability in determining which plant morphological variables could be analyzed to make an estimate of the final production of a given crop. The objective of this study was to evaluate the correlation between the morphological and agronomic traits of yacon production in two crop regions. The evaluated morphological characters were plant height, stem diameter, number of leaves, number of stems and dry mass of shoot. The evaluated agronomic characteristics were number of roots, harvest index and total productivity. The data were taken from two field experiments. The first experiment was installed in the experimental area of the Ifes, Campus de Alegre/ES (low) altitude of 120 m. The second experiment was installed in the area provided by a farmer, located in the Alto Norte district, municipality of Muniz Freire/ES (mountain), at 1.146 m altitude. Pearson's correlation analyzes were estimated between the group of variables consisting of morphological (explanatory - independent variables) and agronomic (basic - dependent variables) variables. Path analysis was performed in a single chain considering a single causal diagram as a hypothesis for each basic variable. The results allowed to conclude that the low correlation between morphological and agronomic variables related to yacon production, both in the lowland region and in the mountain region, showed that these morphological variables can not be used as a selection criterion for the increase in production of yacon tuberous roots, since the direct and/or indirect effects were low.

Keywords: *Smallanthus sonchifolius*. Path analysis. Association. Direct and indirect effect.

#### 4.1. INTRODUÇÃO

O estudo das relações, ou correlações, entre caracteres morfológicos e agronômicos, por meio de seus coeficientes, são muito importantes e têm auxiliado nas pesquisas agronômicas (SALLA *et al.*, 2015), cujos principais objetivos sejam a previsão, ou estimativa, da capacidade produtiva de um cultivo, ainda durante o desenvolvimento da planta (OLIVEIRA *et al.*, 2011). Através do conhecimento da magnitude do desempenho de uma variável, pode-se avaliar a influência sobre outra, que seja de interesse (SILVA *et al.*, 2016).

Tais coeficientes são apropriados para avaliar a associação entre caracteres porque são adimensionais e permitem a comparação entre diferentes pares de características (GONÇALVES *et al.*, 2008), por meio da estimativa da magnitude e do sentido linear das associações entre dois caracteres, desconsiderando a influência de outros (SALLA *et al.*, 2015). Assim, o conhecimento da magnitude e valor das correlações, não são suficientes para esclarecer as relações entre as variáveis estudadas (SANTOS *et al.*, 2000).

Como muitas características são levadas em consideração no processo produtivo, as correlações entre características podem influenciar positiva ou negativamente, devendo ser avaliadas para otimização dos ganhos (OLIVEIRA *et al.*, 2011). É nesse sentido que se percebe a aplicabilidade da análise de trilha ou análise de caminamento (SANTOS *et al.*, 2000), situação que permite identificar a direção e a intensidade das relações, ou correlações, entre as variáveis (CRUZ; REGAZZI, 1997).

Essa técnica consiste no desdobramento das correlações em efeitos diretos e indiretos, permitindo medir a influência direta de uma variável, independente das demais, sobre a outra, onde as estimativas (coeficientes de trilha ou caminho) que quantificam esses efeitos são obtidos por meio de equações de regressão, em que as variáveis são previamente padronizadas (CRUZ *et al.*, 2004), ampliando-se o entendimento das relações de causa e efeito entre as variáveis estudadas.

Dada a importância da análise de trilha na detecção dos efeitos diretos e indiretos das relações entre caracteres morfológicos e a produção de plantas, verifica-se na literatura estudos demonstrando sua aplicabilidade na detecção de relação entre as variáveis. Esta aplicabilidade foi demonstrada para culturas do milho (*Zea mays*) por Silva (2014), por Toebe e Cargnelutti Filho (2013) e por Nascimento Júnior (2015); do trigo (*Triticum aestivum*) por Gondim *et al.* (2008); do arroz (*Oryza sativa* L.) por Menezes *et al.* (2011); do girassol (*Helianthus annuus* L.) por Amorim *et al.* (2008); do feijão caupi (*Vigna unguiculata*) por Sobral (2009), por Guimarães *et al.* (2007) e por Mambrin *et al.* (2015); do cártamo

(*Carthamus tinctorius* L.) e mamona (*Ricinus communis* L.) por Zoz (2012); da jabuticabeira (*Plinia cauliflora*) por Salla *et al.* (2015); da couve (*Brassica oleracea* var. *acephala*) por Azevedo *et al.* (2016) e do mamoeiro (*Carica papaya* L.) por Silva *et al.* (2016). No entanto, há uma escassez de estudos com a yacon.

A yacon (*Smallanthus sonchifolius*), uma planta originária dos Andes e pertencente à família Asteraceae, tem atraído a atenção mundial por suas vantagens e benefícios aos seres humanos devido a seus princípios prebióticos e seu elevado teor de oligossacarídeos não digestíveis, tais como fruto-oligossacarídeos e inulina. Além disso, os açúcares armazenados, principalmente nas raízes, têm uma grande importância para a indústria de alimentos como adoçante (LACHMAN *et al.*, 2003; DELGADO *et al.*, 2013; CAETANO *et al.*, 2016; OLIVEIRA *et al.*, 2017).

Essas características têm despertado o interesse da sociedade, aumentando o consumo e a industrialização da yacon (GUSSO *et al.*, 2015). Algumas formas de industrialização vêm sendo pesquisadas, principalmente através da fortificação de alimentos com a farinha de yacon. Dentre os produtos testados estão a produção de apesuntado (CONTADO *et al.*, 2015), mortadelas (SANTOS JUNIOR *et al.*, 2017), iogurtes *light* (VASCONCELOS, 2010), doce adicionado de diferentes geleificantes (MALDONADO; SINGH, 2008), bolo (ROSA *et al.*, 2009), pães de forma (ROLIM *et al.*, 2010) e a produção de adoçantes a partir de xaropes de yacon (MACEDO *et al.*, 2017).

Todas essas possibilidades têm gerado crescente interesse pelo cultivo da yacon, e uma expectativa de produção que atenda esse mercado. No entanto, a yacon vem apresentando uma variação muito grande no seu rendimento produtivo (em raízes tuberosas). Estudos realizados em diversos países como Coreia, Equador, Japão, Peru, República Checa e Estados Unidos, apontam rendimentos entre 25,6 até 119 t ha<sup>-1</sup> de raízes tuberosas (OGISO *et al.*, 1990; NIETO, 1991; DOO *et al.*, 2001; SEMINARIO *et al.*, 2003; FERNANDEZ *et al.*, 2006; SUMIYANTO *et al.*, 2012). No Brasil, foram observados rendimentos de até 45 t ha<sup>-1</sup> na região de Botucatu/SP (OLIVEIRA e NISHIMOTO, 2004), de 100 t ha<sup>-1</sup> na região de Capão Bonito/SP (KAKIHARA *et al.*, 1996). No Espírito Santo, Silva *et al.* (2018) observaram variação da produção, em função das coberturas do solo, de 6 à 31 t ha<sup>-1</sup>.

Dessa forma, a estimativa antecipada da produção da yacon nas diversas condições de cultivo seria de fundamental importância para o estabelecimento da cultura como uma opção para a industrialização. Para isso, conhecer características morfológicas, que se relacionem com a produção da planta, daria possibilidade ao produtor de previsão de produção e da entrada no mercado de forma mais segura e precisa.

Assim, o objetivo do estudo foi avaliar as correlações e os efeitos diretos e/ou indiretos, através da análise de trilha, entre os caracteres morfológicos e os agronômicos importantes na produção de yacon, em dois locais de cultivo localizados na Microrregião do Caparaó, sul do Espírito Santo.

## **4.2.MATERIAIS E MÉTODOS**

Os dados dos caracteres morfológicos e agronômicos utilizados neste trabalho são provenientes de dois experimentos com yacon realizados em duas localidades diferentes na Microrregião do Caparaó, sul do Espírito Santo.

O experimento I foi instalado na área experimental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo, Campus de Alegre, localizado no distrito de Rive, município de Alegre/ES, região de baixada, altitude de 120 m, coordenadas 20° 45' de latitude Sul e 41° 27' de longitude Oeste, no período compreendido entre maio e dezembro de 2014.

O experimento II foi instalado na área cedida por um agricultor, localizada no distrito Alto Norte, município de Muniz Freire/ES, região das montanhas, a 1.146 m de altitude, coordenadas 20° 14' de latitude sul e 41° 24' de longitude oeste, no período compreendido entre março de 2016 e fevereiro de 2017.

Os valores de cada características são médias de 360 plantas avaliadas em cada experimento. O plantio da yacon foi realizado em covas a uma profundidade de aproximadamente 15 cm, utilizando-se mudas oriundas de rizóforos. Foram realizadas adubações orgânicas utilizando esterco bovino, aplicando-se uma quantidade equivalente a 15 t ha<sup>-1</sup>. A aplicação foi parcelada em três vezes iguais, sendo a primeira realizada no plantio; a segunda 30 dias após o plantio e a terceira 60 dias após o plantio. Aos 210 dias após o plantio (DAP), determinou-se como ponto de fechamento do ciclo. Nesse momento foram realizadas as avaliações relacionadas a produção da cultura.

Os caracteres morfológicos avaliados foram altura da planta, diâmetro da haste, número de folhas, número de hastes e massa seca da parte aérea. Os caracteres agronômicos avaliados foram número de raízes, índice de colheita e produtividade total.

As análises de correlações de Pearson foram realizadas entre o grupo de variáveis constituído pelos caracteres morfológicos (altura da planta, diâmetro da haste, número de folhas, número de hastes e massa seca de parte aérea) e agronômicos (número de raízes,

índice de colheita e pela produção de raízes tuberosas de yacon). Todas as análises foram realizadas utilizando o aplicativo computacional em genética e estatística - Programa Genes (CRUZ, 2013) e funções desenvolvidas no software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2016), e outras funções disponíveis nas bibliotecas *agricolae* e *biotools* desse mesmo software.

A análise de trilha foi realizada em cadeia única considerando-se um único diagrama causal como hipótese nos dois experimentos por meio de três análises. Em cada análise adotou-se como variável dependente (variável básica) as variáveis agronômicas: número de raízes (NR), índice de colheita (IC) e a produção total (PROD) obtidas em cada experimento. As variáveis explicativas foram: altura da planta (Alt), diâmetro da haste (DH), número de folhas (NF), número de hastes (NH), massa seca de parte aérea (MSPA), também obtidas em cada um dos experimentos de campo. Os desdobramentos das correlações entre as características explicativas, em efeitos direto e indiretos sobre o caráter número de raízes, índice de colheita e produção total foram utilizados para explicar os resultados obtidos.

O diagrama tem como objetivo desdobrar as correlações em efeitos diretos e indiretos de variáveis tomadas como explicativas sobre a variável principal (básica - dependente), mediante a análise de trilha (WRIGTH, 1921 *apud* SALLA *et al.*, 2015).

Previamente foi realizado o diagnóstico de multicolinearidade estabelecido com base no número de condição (NC), que é a razão entre o maior e o menor autovalor da matriz. Se  $NC < 100$ , a multicolinearidade é considerada fraca e não constitui problema para a análise; se  $100 \leq NC \leq 1000$ , a multicolinearidade é considerada de moderada a forte e se  $NC \geq 1000$ , é considerada severa. Além do número de condição, utilizou-se os fatores de inflação das variâncias (VIF) para diagnóstico de multicolinearidade, o qual sendo maior que 10 confirma a existência de multicolinearidade (CRUZ; CARNEIRO, 2006; HAIR *et al.*, 2009).

A interpretação dos efeitos dos coeficientes de trilha foi feita a partir dos coeficientes de correlação de Pearson ( $r$ ), conforme Lúcio *et al.* (2013) e Salla *et al.* (2015), sendo que quando o “ $r$ ” e o efeito direto foram semelhantes em magnitude e sinal, significa que a correlação explicou bem a associação entre as variáveis; se o “ $r$ ” foi positivo e o efeito direto, próximo a zero ou negativo, significa que a correlação foi ocasionada pelos efeitos indiretos; quando o “ $r$ ” esteve próximo a zero e o efeito direto foi positivo e alto, os efeitos indiretos foram considerados os responsáveis pela falta de correlação; e se o “ $r$ ” foi negativo e o efeito direto foi positivo e alto, ignoram-se os efeitos indiretos e consideram-se apenas os diretos.

### 4.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Verificou-se ausência de correlação entre todas as variáveis morfológicas com a variável agrônômica número de raízes tanto em Alegre (baixada) quanto em Muniz Freire (montanha) (Tabela 1 e 2).

Observou-se, nos dados do experimento realizado em Alegre (baixada), correlações positivas e significativas entre o caráter morfológico altura das plantas. Entretanto, para índice de colheita (0,41) e a produção total (0,36) as correlações foram baixas, conforme Nogueira *et al.* (2012), que consideram como melhores os valores acima de 0,5 ou abaixo de - 0,5. No entanto, a significância, tida como um dos principais aspectos a ser considerado (SILVA *et al.*, 2016), mostra que essa correlação é um indicativo de tendência que a altura das plantas tem influência sobre o índice de colheita e a produção total da yacon.

O mesmo ocorreu com o número de raízes, resultado já esperado, tendo em vista a correlação existente entre índice de colheita e produção total (que na yacon é medida através da produção de raízes). Já para os demais caracteres morfológicos (diâmetro da haste, número de folhas, número de hastes e massa seca de parte aérea) não foi observada correlações com o índice de colheita e produção total (Tabela 1).

Tabela 1: Coeficientes de correlações entre as variáveis morfoagronômicas avaliadas no cultivo de yacon em Alegre (baixada). Alegre/ES. 2014.

Variáveis*	Alt	DH	NF	NH	MSPA	NR	IC	PROD
Alt	1	0,12 <sup>ns</sup>	-0,01 <sup>ns</sup>	-0,22 <sup>ns</sup>	0,19 <sup>ns</sup>	-0,01 <sup>ns</sup>	<b>0,41*</b>	<b>0,36*</b>
DH		1	0,60*	0,08 <sup>ns</sup>	0,54*	0,05 <sup>ns</sup>	-0,12 <sup>ns</sup>	0,22 <sup>ns</sup>
NF			1	0,41*	0,77*	-0,15 <sup>ns</sup>	-0,28 <sup>ns</sup>	-0,05 <sup>ns</sup>
NH				1	0,47*	-0,19 <sup>ns</sup>	-0,24 <sup>ns</sup>	-0,11 <sup>ns</sup>
MSPA					1	-0,16 <sup>ns</sup>	-0,26 <sup>ns</sup>	0,09 <sup>ns</sup>
NR						1	<b>0,41*</b>	<b>0,85*</b>
IC							1	<b>0,50*</b>
PROD								1

<sup>ns</sup> - não significativo, \* - significativo a 5 % de probabilidade ( $p \leq 0,05$ )

\*Alt - altura da planta(cm); DH - diâmetro da haste (mm); NF - número de folhas; NH - número de hastes; MSPA - massa seca da parte aérea; IC - índice de colheita; PROD - produção total ( $t\ ha^{-1}$ ).

Observou-se, nos dados do experimento realizado em Muniz Freire (montanha), que as variáveis morfológicas apresentaram correlação positiva e significativa com a variável agrônômica índice de colheita (IC), com exceção do número de hastes (NH). Dentre as variáveis morfológicas somente a altura da planta (Alt) e a massa seca da parte aérea (MSPA)

apresentaram correlação positiva e significativa com a variável agrônômica produção total (Tabela 2).

Tabela 2: Coeficientes de correlações entre as variáveis morfoagronômicas avaliadas no cultivo de yacon em Muniz Freire (montanha). Muniz Freire/ ES. 2016.

Variáveis*	Alt	DH	NF	NH	MSPA	NR	IC	PROD
Alt	1	0,71*	0,68*	0,27 <sup>ns</sup>	0,37*	0,27 <sup>ns</sup>	<b>0,54*</b>	<b>0,50*</b>
DH		1	0,50*	0,07 <sup>ns</sup>	0,36*	-0,01 <sup>ns</sup>	<b>0,54*</b>	0,31 <sup>ns</sup>
NF			1	0,61*	0,33*	0,16 <sup>ns</sup>	<b>0,40*</b>	0,27 <sup>ns</sup>
NH				1	0,34*	0,27 <sup>ns</sup>	-0,07 <sup>ns</sup>	0,09 <sup>ns</sup>
MSPA					1	0,22 <sup>ns</sup>	<b>0,35*</b>	<b>0,39*</b>
NR						1	0,08 <sup>ns</sup>	0,72*
IC							1	0,46*
PROD								1

<sup>ns</sup> - não significativo, \* - significativo a 5 % de probabilidade ( $p \leq 0,05$ )

\*Alt - altura da planta (cm); DH - diâmetro da haste (mm); NF - número de folhas; NH - número de hastes; MSPA - massa seca da parte aérea; IC - índice de colheita; PROD - produção total ( $t\ ha^{-1}$ ).

A magnitude das correlações entre o IC e a altura das plantas e o diâmetro das hastes (0,54) são as mesmas e consideradas moderadas (Tabela 2), pois estão acima do valor 0,5 (NOGUEIRA *et al.*, 2012), mostrando que essas correlações revelam uma tendência que um aumento na Alt e no DH proporcionam aumento sobre o IC da yacon.

Já a magnitude das correlações entre o IC e o número de folhas - NF (0,40) e massa seca da parte aérea (0,35) são consideradas baixas (Tabela 2), conforme Nogueira *et al.* (2012). No entanto, a significância mostra que essas correlações são um indicativo de tendência que o número de folhas e a massa seca da parte aérea tem uma certa influência sobre o índice de colheita da yacon.

Isto é o que era de se esperar, maior número de folhas possibilita maior atividade fotossintética pela planta cujos produtos oriundos dessa atividade poderiam ser alocados para as raízes. Porém, nem sempre o maior índice de colheita está associado ao maior rendimento uma vez que adversidades ambientais redundam em menor índice de colheita (DURÃES *et al.*, 2002).

A magnitude das correlações entre a PROD e a Alt (0,50) e a MSPA (0,39) são consideradas baixas (Tabela 2), conforme Nogueira *et al.* (2012). No entanto, a significância, um dos principais aspectos a ser considerado (SILVA *et al.*, 2016), mostra que essas correlações são um indicativo de tendência que a altura da planta e a massa seca da parte aérea tem uma certa influência sobre a produção total da yacon.

Por meio do desdobramento das correlações em seus efeitos diretos e indiretos (análise de trilha), separadamente para cada uma das variáveis agrônômicas, como básica, e as morfológicas, como explicativas, verificou-se pelos coeficientes de determinação e pelos efeitos residuais, que as correlações não explicaram as relações de causa e efeito entre as variáveis associadas, visto que todos os coeficientes de determinação foram baixos e os efeitos residuais foram elevados, revelando falta de relação causa/efeito entre as variáveis, tanto em Alegre quanto em Muniz Freire (Tabela 3 e 4).

Nessas análises, o diagnóstico de multicolinearidade apresentou número de condição (NC) menor que 100, indicando uma colinearidade fraca, de acordo com a classificação de Montgomery e Peck (1981). Além disso, as cinco correlações analisadas, nessas condições, apresentaram valores para os fatores de inflação da variância (VIF) inferiores a 10, confirmando a não existência de multicolinearidade entre as variáveis explicativas, ou seja, os resultados das estimativas dos parâmetros de regressão não geram dúvidas no ajuste do modelo (SALVIAN, 2016).

Tabela 3: Coeficientes de determinação e efeito residual das estimativas dos efeitos diretos e indiretos das variáveis explicativas morfológicas sobre a variável básica número de raízes, índice de colheita e produção total em yacon. Alegre/ES, 2014.

Variável Explicativas	Alt	DH	NF	NH	MSPA
<b>Efeito Direto sobre NR</b>	- 0,0353	0,2093	- 0,1422	- 0,0985	- 0,1165
Efeito Indireto via Alt	-	- 0,0042	0,0003	0,0078	- 0,0067
Efeito Indireto via DH	0,0251	-	0,1263	0,0167	0,1140
Efeito Indireto via NF	0,0011	- 0,0858	-	- ,0586	- 0,1096
Efeito Indireto via NH	0,0217	- 0,0079	- 0,0406	-	- 0,0461
Efeito Indireto via MSPA	- 0,0221	- 0,0634	- 0,0898	- 0,0545	-
Correlação Total (r)	- 0,0095	0,0479	- 0,1461	- 0,1871	- 0,1650
Coeficiente de determinação					<b>0,07</b>
Efeito da variável residual					<b>0,96</b>
Variável Explicativas	Alt	DH	NF	NH	MSPA
<b>Efeito Direto sobre IC</b>	0,4899	0,0340	0,1001	0,0431	- 0,4024
Efeito Indireto via Alt	-	0,0588	- 0,0037	- 0,1080	0,0931
Efeito Indireto via DH	0,0041	-	0,0205	0,0027	0,0185
Efeito Indireto via NF	- 0,0000	0,0000	-	0,0000	0,0000
Efeito Indireto via NH	- 0,0095	0,0034	0,0017	-	0,0202
Efeito Indireto via MSPA	- 0,0764	- 0,2191	- 0,3100	- 0,1883	-
Correlação Total (r)	0,4081	- 0,1229	- 0,1914	- 0,2505	- 0,2706
Coeficiente de determinação					<b>0,29</b>
Efeito da variável residual					<b>0,84</b>

Variável Explicativas	Alt	DH	NF	NH	MSPA
<b>Efeito Direto sobre PROD</b>	0,2976	0,3318	- 0,3447	0,0151	0,1157
Efeito Indireto via Alt	-	0,0357	- 0,0022	- 0,0656	0,0565
Efeito Indireto via DH	0,0398	-	0,2002	0,0265	0,1807
Efeito Indireto via NF	0,0226	- 0,2080	-	- 0,1421	- 0,2658
Efeito Indireto via NH	- 0,0033	0,0012	0,0062	-	0,0071
Efeito Indireto via MSPA	0,0219	0,0630	0,0892	0,0541	-
Correlação Total (r)	0,3786	0,2237	- 0,0513	-0,112	0,0942
Coeficiente de determinação					<b>0,21</b>
Efeito da variável residual					<b>0,89</b>

Notou-se em Alegre que, dentre as variáveis morfológicas, a maior estimativa de efeito direto sobre o número de raízes foi para a variável diâmetro das hastes, que apesar de apresentar correlação positiva indicando a presença de causa e efeito com o caráter principal (número de raízes), apresentou baixa magnitude (0,05) e abaixo do valor residual (0,96), o que diminui a capacidade de estimativa do número de raízes de yacon, através dela.

Essa baixa correlação ocorreu devido aos baixos efeitos indiretos e, as vezes, até negativos (caso do efeito indireto via número de hastes), das demais variáveis morfológicas (Tabela 3), conforme já demonstrado por Nogueira *et al.*, (2012).

As demais variáveis morfológicas explicativas apresentaram efeito direto negativo, mesmo que fossem superiores ao efeito residual em magnitude, não seriam indicadas como critério de seleção para o número de raízes em função do sentido oposto.

Quando se adotou o índice de colheita (IC) como variável básica, verificou-se que a variável morfológica altura da planta apresentou maior efeito direto (0,4899), mesmo sentido e magnitude da correlação, porém, como o efeito residual foi maior não há uma relação de causa e efeito. Essa correlação positiva e significativa entre altura da planta e índice de colheita não era esperada, uma vez que plantas mais altas apresentam mais massa da parte aérea, podendo alterar o IC, já que este índice é uma relação entre a massa do produto de interesse, raízes de yacon, pela massa total da planta, ou seja, quanto maior a massa total menor o IC.

A variável morfológica massa seca da parte aérea (MSPA) apresentou efeito direto negativo (- 0,4024) com a variável índice de colheita (IC), porém como foi menor que o efeito residual não explica a relação de causa e efeito. Era de esperar que a MSPA tivesse efeito negativo no IC, pois este é uma relação direta entre a massa seca do produto de interesse pela massa seca total da planta. Um aumento em MSPA reflete em menores IC.

As demais variáveis morfológicas (diâmetro das hastes, número de folhas e número de hastes) tiveram efeito direto baixo sobre o IC, e como foram menores que o efeito residual não explicam a relação de causa e efeito entre essas variáveis, não sendo, portanto, indicados para serem observados como variáveis morfológicas com efeitos direto sobre a produção (Tabela 3).

Considerando a variável agrônômica produção de raízes tuberosas (PROD) como variável básica, notou-se que a altura da planta e o diâmetro das hastes apresentaram maiores efeitos diretos (0,2976 e 0,3318, respectivamente) porém, como foram inferiores ao efeito residual, não explicam a relação de causa e efeito entre elas.

A variável morfológica número de folhas apresentou efeito direto negativo sobre a produção total, o que inviabiliza o uso dessa variável como indicativo para estimativa de produção de raízes de yacon, nas condições de Alegre. Sendo essa uma variável estreitamente relacionada com a capacidade fotossintética da planta, portanto, extremamente importante para estimar sua capacidade produtiva, principalmente se tratando de uma planta que acumula reservas em órgãos subterrâneos, era de se esperar resultado oposto ao encontrado.

Em Muniz Freire, notou-se que a maior estimativa de efeito direto sobre o número de raízes, foi para a variável altura das plantas, que apesar de apresentar correlação positiva indicando a presença de causa e efeito com o caráter principal (número de raízes), apresentou baixa magnitude (0,57) e abaixo do valor residual (0,88), o que inviabiliza a capacidade de estimativa do número de raízes de yacon, através dela. As variáveis morfológicas número de hastes e massa seca da parte aérea apresentaram efeito direto baixo e as variáveis diâmetro das hastes e número de folhas em sentido oposto (Tabela 4).

Os caracteres DH, NF e NH apresentaram baixo efeito direto em sentido contrário sobre a produção total. Esse resultado aponta que a seleção desses caracteres não é eficiente para ganhos da produtividade de yacon.

Adotando a produção total (PROD) como variável básica na análise de trilha, verificase que a variável morfológica Alt apresentou maior efeito direto (0,59) (Tabela 4), porém inferior ao efeito residual, o que reflete falta de relação de causa e efeito entre essas variáveis associadas.

Tabela 4: Coeficientes de determinação e efeito residual das estimativas dos efeitos diretos e indiretos das variáveis explicativas sobre a variável básica número de raízes, índice de colheita e produção total em yacon. Muniz Freire/ES, 2016.

Variável Explicativas	Alt	DH	NF	NH	MSPA
<b>Efeito Direto sobre NR</b>	0,5731	- 0,3643	- 0,2352	0,2330	0,1372
Efeito Indireto via Alt	-	0,4046	0,3887	0,1564	0,2155
Efeito Indireto via DH	- 0,2572	-	- 0,1833	- 0,0256	- 0,1300
Efeito Indireto via NF	- 0,1596	- 0,1183	-	- 0,1438	- 0,0774
Efeito Indireto via NH	0,0636	0,0163	0,1424	-	0,0790
Efeito Indireto via MSPA	0,0516	0,0489	0,0451	0,0465	-
Correlação Total (r)	0,2715	- 0,0128	0,1577	0,2665	0,2243
Coeficiente de determinação					<b>0,21</b>
Efeito da variável residual					<b>0,88</b>
Variável Explicativas	Alt	DH	NF	NH	MSPA
<b>Efeito Direto sobre IC</b>	0,2100	0,1413	0,3843	- 0,4603	0,2558
Efeito Indireto via Alt	-	0,1482	0,1424	0,0573	0,0789
Efeito Indireto via DH	0,0997	-	0,0711	0,0099	0,0504
Efeito Indireto via NF	0,2607	0,1934	-	0,2350	0,1264
Efeito Indireto via NH	- 0,1256	- 0,0323	- 0,2815	-	- 0,1562
Efeito Indireto via MSPA	0,0962	0,0912	0,0841	0,0868	-
Correlação Total (r)	0,5410	0,5418	0,4004	- 0,0713	0,3553
Coeficiente de determinação					<b>0,46</b>
Efeito da variável residual					<b>0,73</b>
Variável Explicativas	Alt	DH	NF	NH	MSPA
<b>Efeito Direto sobre PROD</b>	0,5928	- 0,1726	- 0,0685	- 0,1181	0,2905
Efeito Indireto via Alt	-	0,4186	0,4021	0,1618	0,2230
Efeito Indireto via DH	- 0,1219	-	- 0,0868	- 0,0121	- 0,0616
Efeito Indireto via NF	- 0,0465	- 0,0345	-	- 0,0419	- 0,0225
Efeito Indireto via NH	- 0,0322	- 0,0083	- 0,0722	-	- 0,0400
Efeito Indireto via MSPA	0,1093	0,1036	0,0956	0,0986	-
Correlação Total (r)	0,5015	0,3068	0,2702	0,0883	0,3894
Coeficiente de determinação					<b>0,32</b>
Efeito da variável residual					<b>0,82</b>

Dessa forma, observando as estimativas dos efeitos diretos e indiretos das variáveis explicativas sobre a variável básica (número de raízes, índice de colheita e produção total), verificou-se pelo coeficiente de determinação que todas as variáveis estudadas não explicaram a variação do número de raízes, índice de colheita e produção de yacon em Alegre (baixada) e em Muniz Freire (montanha) (Tabela 3 e 4), o que reflete a menor capacidade de contribuição das características morfológicas sobre as variáveis agrônômicas, da yacon.

Caracteres com alta correlação, mas que possuam baixo efeito direto, indicam que a seleção indireta por meio destes pode não proporcionar ganhos satisfatórios na variável básica

e, caracteres que apresentam efeito direto em sentido contrário à correlação com a variável principal, indicam ausência de causa e efeito, relatam Cruz *et al.* (2012). Em situações iguais a essa, Silva *et al.* (2016) sugerem que o uso de fatores causais indiretos seja considerado simultaneamente no processo de seleção.

Apesar dos resultados obtidos, o potencial de determinação indireta para expectativa de produção de raízes tuberosas em yacon, a partir da característica morfológica altura das plantas, ainda necessita de entendimento sobre o grau de associação entre esses caracteres, inclusive da influência de outros, conforme já apontado por Gomes *et al.* (2007).

Ressalta-se que não existe uma determinação de qual seria a altura ideal das plantas para se obter melhores produções de raízes de yacon, pois a produtividade é um caráter complexo e resultante da associação de diferentes componentes (CARVALHO *et al.*, 2002).

Planta com menor altura pode ser vantajoso pois possibilita maior adensamento, o que pode proporcionar maior produção por área, como apontou Azevedo *et al.* (2016), porém como não encontraram estimativas dos efeitos diretos e indiretos superiores ao efeito residual, a seleção quanto à altura da planta pode não trazer resultados favoráveis.

Predominantemente nos resultados, os coeficientes de determinação bem como os efeitos direto e/ou indiretos das variáveis morfológicas foram de baixa magnitude evidenciando a necessidade da inclusão de novos caracteres no diagrama causal, conforme sugerido por Nogueira *et al.* (2012).

Assim, pode-se incluir maior número de variáveis na análise de trilha, como área foliar por exemplo, e/ou adotar um sistema em cadeia dupla, situação que poderá apontar melhores relações entre variáveis, uma vez que o sucesso da análise de trilha reside, basicamente, na formulação do relacionamento de causa e efeito entre as variáveis (GONDIM *et al.*, 2008).

Predominantemente nos resultados, os coeficientes de determinação bem como os efeitos direto e/ou indiretos das variáveis morfológicas foram de baixa magnitude evidenciam a necessidade da inclusão de novos caracteres no diagrama causal, conforme sugerido por Nogueira *et al.* (2012).

Desse modo, é possível concluir que as variáveis analisadas não são os principais determinantes da produtividade embora possam ter influência sobre esse caráter, conforme relata Silva (2014).

#### 4.4. CONCLUSÕES

A baixa correlação entre as variáveis morfológicas (altura, diâmetro das hastes, número de folhas, número de hastes e massa seca da parte aérea) e as agrônômicas (número de raízes, índice de colheita e produção total) relacionadas à produção de yacon, tanto em Alegre (baixada) quanto em Muniz Freire (montanha), mostrou que essas variáveis morfológicas não podem ser utilizadas como únicos critérios de seleção para o aumento na produção de raízes tuberosas de yacon, uma vez que os efeitos diretos e/ou indiretos foram baixos.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMORIM, E. P. et al. Correlações e análise de trilha em girassol. **Bragantia**, v. 67, n. 2, p. 307–316, 2008.
- AZEVEDO, A. M. et al. Correlações genotípicas e análise de trilha em famílias de meios-irmãos de couve de folhas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 1, p. 35–44, 2016.
- CAETANO, B. F. R. et al. Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) as a food supplement: health-promoting benefits of fructooligosaccharides. **Nutrients**. v. 8, n. 7, p.1-13, 2016.
- CARVALHO, C. G. P.; ARIAS, C. A. A.; TOLEDO, J. F. de; OLIVEIRA, M. F. de; VELLO, N. A. Correlações e análise de trilha em linhagens de soja semeadas em diferentes épocas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, p.311-320, 2002.
- CRUZ, C. D. Programa Genes: Estatística Experimental e Matrizes. Viçosa: Editora UFV. 285p. 2013.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2ed. Viçosa: Ed. UFV, 1997. 390p.
- CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2.ed. Viçosa: Ed. UFV, 2006. v.2, 585p.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3 ed. Viçosa, MG: UFV, 2004. 480p.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa, MG: UFV, 2012. v. 1. 512p.
- CONTADO, E. W. N. da F. et al. Emprego da farinha e do extrato de frutanos de yacon na

- elaboração de apesuntados. **Braz. J. Food Technol.** v.18, n.1, p.49-56. 2015.
- DELGADO, C. G. T. et al. Yacon (*Smallanthus sonchifolius*): A Functional Food. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 68, n. 3, p. 222–228, 25 set. 2013.
- DOO, H.S.; RYU, J.H.; LEE, K.S.; CHOI, S.Y. Effect of plant density on growth responses and yield in yacon. **Korean Journal of Crop Science**, 46: 407-410, 2001.
- DURÃES, F. O. M.; MAGALHÃES, P. C; OLIVEIRA, A. C. de. Índice de colheita genético e as possibilidades da genética fisiológica para melhoramento do rendimento de milho. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*. v. 1, n. 1, p. 33-40, 2002.
- FERNÁNDEZ, E. C. et al. Yacon [*Smallanthus sonchifolius* (Poeppig & Endlicher) H. Robinson]: A new crop in the Central Europe. **Plant, Soil and Environment**, v. 52, n. 12, p. 564–570, 2006.
- GOMES, C. N. et al. Caracterização morfoagronômica e coeficientes de trilha de caracteres componentes da produção em mandioca. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 42, n. 8, p. 1121–1130, 2007.
- GONÇALVES, G.M.; VIANA, A.P.; REIS, L.S.; NETO, F.V.B.; AMARAL JÚNIOR, A.T.; REIS, L.S. Correlações fenotípicas e genético-aditivas em maracujá-amarelo pelo delineamento I. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n.5, p. 1413-1418, 2008.
- GONDIM, T. C. D. O. et al. Análise de trilha para componentes do rendimento e caracteres agronômicos de trigo sob desfolha. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 43, n. 4, p. 487–493, 2008.
- GUIMARÃES, W. N. R. et al. Caracterização morfológica e molecular de acessos de feijão-fava (*Phaseolus lunatus* L.). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 1, p. 37–45, 2007.
- GUSSO, A. P.; MATTANNA, P.; RICHARDS, N. Yacon : benefícios à saúde e aplicações tecnológicas. **Ciência Rural**, v. 45, n. 5, p. 912–919, 2015.
- HAIR, J.F.; BLACK, W.C.; BABIN, B.J.; ANDERSON, R.E.; TATHAM, R.L. **Análise multivariada de dados**. 6.ed. Porto Alegre: Bookman, 2009. 688p.
- KAKIHARA, T.S.; CÂMARA, F.L.A.; VILHENA, S.M.C.; RIERA, L. Cultivo e industrialização de yacon (*Polymnia sonchifolia*): uma experiência brasileira. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE RAÍZES TROPICAIS 1 e CONGRESSO BRASILEIRO DE MANDIOCA 9, São Pedro. **Anais...** Botucatu: Centro de Raízes Tropicais, sociedade Brasileira de Mandioca, 1996. s.p. (resumo 148). 1996.
- LACHMAN, J.; FERNÁNDEZ, E. C.; ORSÁK, M. Yacon [*Smallanthus sonchifolia* (Poepp. et Endl.) H. Robinson] chemical composition and use - A review. **Plant, Soil and Environment**, v. 49, n. 6, p. 283–290, 2003.
- LÚCIO, A.D.C.; STORCK, L.; KRAUSE, W.; GONÇALVES, R.Q. NIED A.H Relações entre os caracteres de maracujazeiro-azedo. **Ciência Rural**, v.43, p.225-232, 2013.

- MACEDO, L. L.; ARAUJO, C. S.; VIMERCATI, W. C.; BRAVO, L. Q.; PASSOS, R. G.; SARAIVA, S. H.; OLIVEIRA, F. L.; TEIXEIRA, L. J. Q. Produção e caracterização de xarope de yacon. In: III Jornada Regional Sudeste da Engenharia de Alimentos., 2017, Diamantina/KG. **Anais....** Diamantina/MG: UFVJM, 2017. v.1. p.1 – 4
- MALDONADO, S.; SINGH, J.D.C. Efecto de gelificantes en la formulación de dulce de yacón. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.28, n.2, p.429-434, 2008.
- MAMBRIN, R. B. et al. Seleção de linhagens de feijão ( *Phaseolus vulgaris* L .) baseada em caracteres morfológicos, fenológicos e de produção. **Revista de Agricultura**, v. 90, n. 2, p. 141–155, 2015.
- MENEZES, B. R. DA S. et al. Caracterização morfoagronômica em arroz vermelho e arroz de sequeiro. **Pesquisa Agropecuaria Tropical**, v. 41, n. 4, p. 490–499, 2011.
- MONTGOMERY, D. C.; PECK, E. A. Introduction to linear regression analysis. New York: John Wiley e Sons. 504p., 1981.
- NASCIMENTO JÚNIOR, I. R. **Relação entre caracteres agronômicos e anatômicos em milho**. 2015. 72f. Tese (Doutorado em Agronomia - Genética e Melhoramento de Plantas)- Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2015.
- NIETO, C.C. Estudios agronomicos y bromatológicos em “jicama” (*Polymnia sonchifolia* Polp. Endl.). **Arch. Latinoam. De Nutr.** 41: 213-21, 1991.
- NOGUEIRA, A. P; SEDIYAMA, Y.; SOUZA, L. B.; HAMAWAKI, O. T.; CRUZ, C. D.; FERREIRA, D. G. Análise de trilha e correlações entre caracteres em soja cultivada em duas épocas de semeadura. **Bioscience Journal**, v. 28, n. 6, p. 877-888, 2012.
- OGISO, M.; NAITO, H.; KURASIMA, H. Planting density, harvesting time and storage temperature of Yercum. **Research Bulletin of the Aichi-Ken Agricultural Research Center**, n. 22, p.161-164, 1990.
- OLIVEIRA, M. G. X. et al. Utilização do yacon (*Smallanthus sonchifolius*) na proteção contra colonização intestinal de frangos de corte infectados por *Salmonella* Enteritidis. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinaria e Zootecnia**, v. 69, n. 3, p. 695–703, 2017.
- OLIVEIRA, E. J. et al. Estimativas de correlações genotípicas e fenotípicas em germoplasma de maracujazeiro. **Bragantia**, v. 70, n. 2, p. 255–261, 2011.
- OLIVEIRA, M. A.; NISHIMOTO, E. K. Avaliação do desenvolvimento de plantas de yacon (*Polymnia sonchifolia*) e caracterização dos carboidratos de reservas em HPLC. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v.7, n. 2, p. 215-220, 2004.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM. R : a language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2016. Disponível em: <<http://www.r-project.org>>. Acesso em: 28 jun. 2016.
- ROLIM, P.M. et al. Glycemic profile and prebiotic potential “in vitro” of bread with Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) flour. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.31, n.2, p.467- 474,

2011.

ROSA, C. S. et al. Elaboração de bolo com farinha de yacon. **Ciencia Rural**, v. 39, n. 6, p. 1869–1872, 2009.

SALLA, V. P. et al. Análise de trilha em caracteres de frutos de jaboticabeira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 3, p. 218–223, 2015.

SALVIAN, M. **Multicolinearidade**. São Paulo, 2016. Apostila do curso Regressão e Covariância. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", USP, 2016.

SANTOS, R. C.; CARVALHO, L. P.; SANTOS, V. F. Análise de coeficiente de trilha para os componentes de produção em amendoim. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 24, n. 1, p. 13–16, 2000.

SANTOS JUNIOR, A. C. ; MAIA JÚNIOR, J. A. ; HENRY, F.C. ; OLIVEIRA, D. B. ; QUIRINO, C. R. ; MARTINS, M. L. L. ; MOULIN, M. M. ; CABRAL, N. . Preparation and physico-chemical characterization of mutton mortadella supplemented with yacon meal. **Revista Electrónica de Veterinaria** , v. 18, p. 1-10, 2017.

SEMINARIO, J.; VALDERRAMA, M.; MANRIQUE, I. **El yacon: fundamentos para el aprovechamiento de un recurso promisorio**. Lima, Peru: Centro Internacional de la Papa (CIP), Universidad Nacional de Cajamarca, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE), 2003. 60p.

SILVA, C. A. et al. Correlações fenotípicas e análise de trilha em caracteres morfoagronômicos de mamoeiro. **Revista Agro@Mambiente**, v. 10, n. 3, p. 217, 2016.

SILVA, D. M. N. et al. Impact of soil cover systems on soil quality and organic production of yacon. **Scientia Horticulturae**, v. 235, p. 407–412, 2018.

SOBRAL, P. V. C. **Caracterização morfoagronômica e divergência genética entre acessos africanos de feijão-caupi**. 2009. 131f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)- Universidade Federal do Piauí, Centro de Ciências Agrárias, 2009.

SILVA, T. N. **Caracterização agrônômica e morfológica de populações de milho**. 2014. 38f. Dissertação - (Mestrado em Agronomia - Genética e Melhoramento de Plantas)- Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - Campus de Jaboticabal, 2014.

SUMIYANTO, J.; DAYAN, F.E.; CERDEIRA, A.L.; WANG, Y.H.; KHAN, I.A.; MORAES, R.M. Oligofructans content and yield of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) cultivated in Mississippi. **Scientia Horticulturae**, 148: 83–88, 2012.

TOEBE, M.; CARGNELUTTI FILHO, A. Multivariate nonnormality and multicollinearity in path analysis in corn. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 48, n. 5, p. 466–477, 2013.

VASCONCELOS, C. M. **Caracterização físico-química e sensorial de iogurte “light” com farinha de yacon (*Smallanthus sonchifolius*)**. 2010. 56f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

VIEIRA, E. A.; CARVALHO, F. I. F.; OLIVEIRA, A. C.; MARTINS, L. F.; BENIN, G.; SILVA, J. A. G.; COIMBRA J.; MARTINS, A. F.; CARVALHO, M. F.; RIBEIRO, G. Análise de trilha entre os componentes primários e secundários do rendimento de grãos em trigo. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 13, p. 169-174, 2007.

ZOZ, T. **Correlação e análise de trilha de produtividade de grãos e seus componentes e caracteres de planta em cártamo (*Carthamus tinctorius* L.) e mamona (*Ricinus communis* L.)**. 2012. 54f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura)-Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, 2012.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A técnica do manejo no espaçamento entre as plantas (arranjo espacial) por meio da escolha da melhor distribuição de plantas na área é uma das mais importantes no cultivo das culturas de interesse. A partir das avaliações realizadas ficam evidentes que o uso de diferentes espaçamentos no cultivo de yacon favoreceu o desenvolvimento, a produtividade, a renda bruta, o lucro e a relação benefício/custo nos dois locais de cultivo.

As produtividades de yacon alcançadas nas duas localidades ficaram abaixo do esperado, porém, na região de montanha, por ter havido um período de déficit hídrico e a ocorrência de baixas temperaturas num momento crucial para o desenvolvimento da cultura, comprometeu o desenvolvimento, influenciando negativamente o rendimento de raízes e, conseqüentemente, a renda.

Além do manejo nos arranjos espaciais, deve-se atentar para a época de plantio, uma vez que as plantas podem alongar seu ciclo, especialmente em regiões montanhosas sujeitas a baixas temperaturas. Nesse sentido, como as recomendações para o cultivo de yacon têm sido baseadas em outras culturas que armazenam substâncias de reserva na forma de raízes tuberosas, tornando as informações para o manejo da yacon pouco precisas, sugere-se que sejam elaborados boletins técnicos específicos para a obtenção do máximo potencial produtivo da cultura da yacon.

As correlações entre as variáveis morfológicas e as agronômicas foram positivas, porém de baixa magnitude. Assim, por meio da estimativa dos efeitos diretos e indiretos das variáveis morfológicas sobre as variáveis agronômicas, verificou-se que nenhuma das variáveis morfológicas podem ser utilizadas para seleção de plantas mais produtivas, em ambas localidades.

Dessa forma, realizar novos estudos incluindo outras variáveis morfológicas para avaliar os efeitos diretos e indiretos sobre a produtividade podem ser promissores uma vez que são preferíveis para seleção devido à economia de tempo e facilidade nas medições.