

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

TIAGO PACHECO MENDES

MARCA DE ABSORÇÃO DE NUTRIENTES EM YACON

ALEGRE-ES

2019

TIAGO PACHECO MENDES

MARCHA DE ABSORÇÃO DE NUTRIENTES EM YACON

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito à obtenção do título de mestre em Produção Vegetal na área de Fitotecnia.

Orientador: Prof. Dr. José Francisco Teixeira do Amaral

Coorientador: Prof. Dr. Fábio Luiz de Oliveira

ALEGRE-ES

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

M538 Mendes, Tiago Pacheco, 1993-
m Marcha de absorção de nutrientes na yacon / Tiago Pacheco
 Mendes. - 2019.
 64 f. : il.

Orientador: José Francisco Teixeira do Amaral.

Coorientador: Fábio Luiz de Oliveira.

Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias.

1. *Smallanthus sonchifolius*. 2. Asteraceae. 3. Nutrição. 4. Macronutrientes. 5. Micronutrientes. I. Amaral, José Francisco Teixeira do. II. Oliveira, Fábio Luiz de. III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias e Engenharias. IV. Título.

CDU: 63

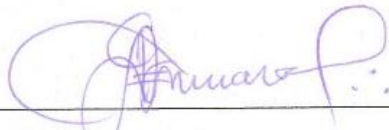
TIAGO PACHECO MENDES

MARCA DE ABSORÇÃO DE NUTRIENTES EM YACON

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal na área de concentração de Fitotecnia.

Aprovada em 25 de fevereiro de 2019.


COMISSÃO EXAMINADORA



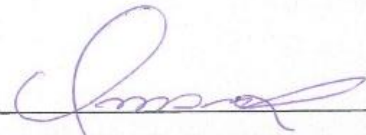
Prof. Dr. José Francisco Teixeira do Amaral
Universidade Federal do Espírito Santo
(Orientador)



Prof. Dr. Fábio Luiz de Oliveira
Universidade Federal do Espírito Santo
(Coorientador)



Prof. Dr. Marcelo Antonio Tomaz
Universidade Federal do Espírito Santo



Prof. Dr. Otacilio José Passos Rangel
Instituto Federal do Espírito Santo

Ao meu pai, João Batista Mendes de Oliveira, à
minha mãe, Maria da Penha Pacheco Mendes e à minha
namorada, Dhenyffer Soares de Carvalho por todo
apoio e carinho.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por ter me guiado e protegido todos os dias por essas estradas, por me conceder saúde, me dando força, coragem e discernimento para encarar todos os desafios que apareceram. À minha mãe e ao meu pai, por todo apoio e confiança, à minha namorada por toda paciência e compreensão nos momentos em que precisei.

À Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), e ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, pela oportunidade de realização do curso, a (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos e a Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES) pelo auxílio financeiro e apoio à pesquisa.

Agradeço ao professor Dr. José Francisco Teixeira do Amaral, pela orientação, conselhos e sugestões, pelo apoio e confiança concedida. Ao professor Dr. Fábio Luiz de Oliveira pela coorientação, pelo apoio e sugestões. A todo corpo de docentes do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, especialmente ao professor Edvaldo Fialho dos Reis, que contribuiu de forma significativa para minha formação durante o mestrado.

Agradeço a valorosa contribuição dos professores Fábio Luiz de Oliveira, Marcelo Antonio Tomaz, Otacílio José Passos Rangel e Leandro Pin Dalvi que prontamente aceitaram o convite para participar desta defesa de dissertação de mestrado.

Ao amigo, Márcio Apostólico, pela amizade, companheirismo e ajuda no desenvolvimento do experimento. Aos amigos Joab Luhan Ferreira Pedrosa, Ariany das Graças Texeira, Ramon Amaro Sales, pelo o apoio e disponibilidade de vocês e, aos demais colegas de pós-graduação, pelo convívio, ajuda e troca de experiências.

BIOGRAFIA

Tiago Pacheco Mendes, filho de João Batista Mendes de Oliveira e Maria da Penha Pacheco Mendes, nasceu em 04 de junho de 1993, em Alegre, estado do Espírito Santo. Coursou da primeira à quarta série no Centro de Ensino Continuado Jaci Kobbí Rodrigues (CIEC) na cidade de Celina-ES. Coursou da quinta a oitava série e o ensino médio na Escola Estadual de Ensino Fundamental e Médio Sirena Rezende Fonseca na mesma cidade. Em agosto de 2011, ingressou no curso de graduação em Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCA-UFES) na cidade de Alegre-ES. Durante a graduação, participou como bolsista do CNPq de projetos de iniciação científica (PIBIC). Em fevereiro de 2017, recebeu o título de Bacharel em Agronomia, e ingressou em março do mesmo ano no Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal da UFES, onde iniciou o curso de Mestrado em Produção Vegetal, submetendo-se à defesa em 25 de fevereiro de 2019.

SUMÁRIO

RESUMO.....	viii
ABSTRACT	ix
1. INTRODUÇÃO	9
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
2.1 ASPECTOS BOTÂNICOS E DE CULTIVO DA YACON	11
2.2 EXPANSÃO DO CULTIVO E IMPORTÂNCIA DA YACON	13
2.3 NUTRIÇÃO MINERAL	13
2.3.1. Marcha de absorção de nutrientes	14
3. MATERIAL E MÉTODOS	16
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
4.1 ACÚMULO DE MATÉRIA SECA E PRODUTIVIDADE	20
4.2 MARCHA DE ABSORÇÃO DE MACRONUTRIENTES	24
4.2.1 Nitrogênio	24
4.2.2 Fósforo	27
4.2.3 Potássio	30
4.2.4 Cálcio	33
4.2.5 Magnésio	36
4.3 MARCHA DE ABSORÇÃO DE MICRONUTRIENTES.....	39
4.3.1 Ferro.....	39
4.3.2 Cobre.....	42
4.3.3 Manganês.....	45
4.3.4 Zinco.....	48
4.4 DISTRIBUIÇÃO E EXTRAÇÃO DOS NUTRIENTES PELA PLANTA	51
5 CONCLUSÕES	55
6 REFERÊNCIAS	56

RESUMO

MENDES, Tiago Pacheco, Universidade Federal do Espírito Santo, Fevereiro – 2019. **Marcha de absorção de nutrientes em yacon.** Orientador: José Francisco Teixeira do Amaral. Coorientador: Fábio Luiz de Oliveira.

Vários estudos têm comprovado os mais variados benefícios que a yacon promove a saúde humana, resultando na abertura de novos horizontes sobre o seu cultivo como um novo produto a ser explorado. A expectativa de expansão do seu cultivo gera novas demandas para a pesquisa, dentre elas, pela geração de informações sobre os aspectos nutricionais, que são escassas, principalmente no Brasil. Sendo assim, objetivou-se no presente estudo avaliar o acúmulo de macro e micronutrientes nos tecidos vegetais da yacon, bem como identificar em que estágio de desenvolvimento o requerimento de nutrientes é mais crítico. O experimento foi conduzido em condições de campo na Fazenda Garganta, distrito de Celina, no município de Alegre-ES, seguindo delineamento experimental em blocos casualizados, no esquema de parcelas subdivididas, sendo as parcelas caracterizadas por três níveis de adubação (60, 100 e 140% da dose recomendada) e as subparcelas caracterizadas pelas oito épocas de coleta de dados, com quatro repetições. O acúmulo de massa seca e a produção de raízes tuberosas foi maior na dose de 140% da adubação recomendada. Exceto para o Cu, o acúmulo de todos os nutrientes na planta em função do tempo ajustou-se a um modelo linear. O macronutriente mais acumulado pela yacon foi o Ca ($267,2 \text{ g ha}^{-1}$), seguido pelo N ($172,0 \text{ kg ha}^{-1}$), K ($106,9 \text{ kg ha}^{-1}$), P ($33,2 \text{ kg ha}^{-1}$) e Mg ($25,9 \text{ kg ha}^{-1}$). O micronutriente mais acumulado pela yacon foi o Fe ($6,3 \text{ kg ha}^{-1}$), seguido pelo Zn ($179,6 \text{ g ha}^{-1}$), Mn ($174,2 \text{ g ha}^{-1}$) e Cu ($59,2 \text{ g ha}^{-1}$). A ordem de extração de nutrientes pela cultura da yacon foi Ca>N>K>P>Mg>Fe>Zn>Mn>Cu.

Palavras-chave: *Smallanthus sonchifolius*. Asteraceae. Nutrição. Macronutrientes. Micronutrientes.

ABSTRACT

MENDES, Tiago Pacheco, Universidade Federal do Espírito Santo, February - 2019. **March of nutrient absorption in yacon.** Advisor: José Francisco Teixeira do Amaral. Co-Advisor: Fábio Luiz de Oliveira.

Several studies have proven the many benefits that yacon promotes human health, resulting in the opening of new horizons on its cultivation as a new product to be explored. With the expectation of expansion of its cultivation, it generates new demands for research, among them, the generation of information about the nutritional aspects, which are scarce, mainly in Brazil. Therefore, the objective of this study was to know the accumulation of macro and micronutrients in the plant tissues of yacon culture, as well as to identify at what stage of development the nutrient requirement is more critical. The experiment was conducted under field conditions at Fazenda Garganta, Celina district, in the city of Alegre-ES, Brazil. The experimental design was a randomized complete block design, with three levels of fertilization: 60, 100 and 140% of the dose recommended by Kruger (2003). The subplots were characterized by the 8 data collection periods, with 4 replicates. The accumulation of dry mass and the production of tuberous roots was higher in the dose of 140% of the recommended fertilization. Except for Cu, the accumulation of all the nutrients in the plant as a function of time was adjusted to a linear model, the Cu accumulation in the plant as a function of time presented quadratic adjustment. The macronutrient most accumulated by yacon was Ca (267.2 g ha⁻¹), followed by N (172.0 kg ha⁻¹), K (106.9 kg ha⁻¹), P (33.2 kg ha⁻¹) and Mg (25.9 kg ha⁻¹). The micronutrient most accumulated by yacon was Fe (6.3 kg ha⁻¹) followed by Zn (179.6 g ha⁻¹), Mn (174.2 g ha⁻¹) and Cu (59.2 g ha⁻¹). The order of nutrient extraction by yacon culture was Ca > N > K > P > Mg > Fe > Zn > Mn > Cu.

Keywords: *Smallanthus sonchifolius*. Asteraceae. Nutrition. Macronutrients. Micronutrients.

1. INTRODUÇÃO

A batata yacon, que foi introduzida no Brasil no início da década de 90, possui características interessantes em suas raízes tuberosas, como sabor adocicado e polpa crocante, sendo própria para o consumo *in natura*. Por possuir o comportamento de armazenar energia na forma de um carboidrato de reserva, os frutooligossacarídeos (FOS), que podem ser considerados como um subgrupo da inulina, a yacon é recomendada para ser consumida por portadores de diabetes (GUSSO et al., 2015). Os FOS são açúcares que não são digeridos pelo corpo humano, sendo assim classificados como uma fibra dietética ou como fibra solúvel, tornando a yacon um alimento funcional (BRANDÃO et al., 2014).

A yacon quando inserida na dieta promove vários benefícios a saúde. Existem vários estudos que tem comprovado esses benefícios. Campos et al. (2012) comprovaram seu efeito prebiótico; a yacon também tem efeito e protetor contra o câncer de cólon (MOURA et al., 2012). Albuquerque e Rolim (2011) comprovaram seu efeito na regularização intestinal. Foram comprovados ainda outros efeitos, com: imunoestimulação (TOSTES et al., 2014), e na modulação da insulinemia de jejum (GENTA et al., 2010) e efeitos no controle de doenças crônicas envolvendo diabetes (OLIVEIRA et al., 2013).

De acordo com Santana e Cardoso (2008), a comprovação da sua importância para a saúde humana, tem levado à criação de novas expectativas sobre o seu cultivo, podendo tornar a yacon um novo produto a ser explorado a nível agrícola, tecnológico e científico.

No Espírito Santo a demanda pelo produto vem crescendo consideravelmente nos últimos anos, sendo Santa Teresa o município que entrega a maior parte da yacon vendida no Estado (CEASA- ES, 2017). Esse crescente interesse pelo cultivo da yacon tem aumentado a necessidade por maiores produções. Para que isso seja alcançado, torna-se necessário novas pesquisas, dentre elas está a geração de informações sobre os aspectos nutricionais, que demandam conhecimentos acerca da marcha de absorção de nutrientes pela cultura.

O estudo da marcha de absorção permite avaliar a relação existente entre o fornecimento de nutrientes, o acúmulo de matéria seca e a idade da planta. Dessa forma, é possível identificar a época de maior exigência nutricional, a quantidade de nutrientes requerida pela cultura, a quantidade de nutriente acumulada em cada órgão, o quanto é exportado pela colheita e o quanto se deve repor ao solo, informações essas importantes que podem auxiliar no programa de adubação das culturas (ECHER et al., 2009; MARSCHNER, 2012).

O acúmulo de nutrientes nos tecidos das plantas varia de acordo com a espécie, cultivar, tipo de tecido e idade da planta. A absorção de nutrientes em hortaliças geralmente acompanha

o padrão de crescimento ou acúmulo de matéria seca (FERREIRA et al., 1990; MALAVOLTA et al., 1997).

Vale ressaltar que o acúmulo de nutrientes na massa seca da planta no decorrer do ciclo comprova exclusivamente o que a planta carece, e não a quantidade que deve ser aplicada, pois é preciso ponderar a eficiência de aproveitamento dos nutrientes, sendo que essa varia de acordo com, entre outros fatores, as condições climáticas, manejo de água e ambiente de cultivo (PRADO e NASCIMENTO, 2003).

Tendo em vista a ausência de informações nutricionais para a cultura, o conhecimento da marcha de absorção de nutrientes na yacon, propiciará melhorias no manejo da adubação, resultando na otimização do uso dos fertilizantes e assim contribuindo significativamente com o desenvolvimento e produtividade da cultura.

Objetivou-se no presente estudo determinar a marcha de absorção de macro e micronutrientes na cultura de yacon.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ASPECTOS BOTÂNICOS E DE CULTIVO DA YACON

A yacon (*Smallanthus sonchifolius*), pertencente à família das Asteraceae, de origem andina, regiões com altitudes 2.000 a 3.100 metros na Bolívia, Equador, Argentina, Colômbia e Peru, passou a ser cultivada por povos que habitavam essa região. A cultura acabou se expandindo por toda cordilheira dos Andes, geralmente sendo cultivadas poucas plantas, apenas para o consumo familiar, e raramente cultivada para comércio (GRAU e REA, 1997; VILHENA et al., 2000).

A yacon é uma planta herbácea, ereta, podendo ter poucos ou muitos ramos (hastes), chegando a alcançar 2,5 metros de altura. Suas hastes são cilíndricas e ocas com a presença de tricomas, possuindo coloração verde ao roxo. A temperatura ótima para o seu desenvolvimento ocorre entre 18 e 25 °C e em condições de umidade adequada do solo suas folhas podem tolerar altas temperaturas sem que ocorram sintomas e danos (SEMINARIO et al., 2003).

As folhas da yacon são de coloração verde escura, pilosas, dentadas e com filotaxia oposta cruzada. Em média cada haste contém de 13 a 16 pares de folhas por planta, sendo que seu número e tamanho vão reduzindo quanto mais próximo da colheita. A parte apical das folhas é de formato triangular e a parte basal possui um prolongamento do limbo até o pecíolo. No limbo foliar encontram-se diversas estruturas secretoras, os idioblastos, hidatódios e tricomas glandulares, sendo que os tricomas contêm substâncias do grupo dos terpenos que, provavelmente, participam do mecanismo de defesa da espécie (KAKUTA et al., 1992; DIP et al., 1996; GRAU et al., 2001).

O cultivo da yacon ocorre sem a necessidade do uso de inseticidas, contribuindo para a qualidade ambiental em seus cultivos. Isso ocorre devido a junção de dois sistemas de defesa que suas folhas possuem, um deles são os pelos que dificultam o acesso dos insetos e o outro é uma alta densidade de glândulas (GRAU et al., 2001). Vale ressaltar que não existe ainda nenhum inseticida registrado para a cultura.

Suas inflorescências são denominadas capítulos, possuindo flores masculinas e femininas, o que caracteriza essa espécie como monóica (GENTA et al., 2005).

Segundo Genta et al. (2005), a propagação vegetativa da espécie é feita por meio de órgãos chamados rizóforos, que são estruturas cônicas que ficam ligadas à planta-mãe, podendo originar várias hastes. Os rizóforos se formam entre o caule e as raízes à medida que a planta vai completando seu ciclo e chegando próximo a colheita. Os rizóforos utilizados para o plantio

possuem entre 60 e 80 g, e a profundidade de plantio é de aproximadamente 0,15 m. Antes do plantio, recomenda-se que seja feita a desinfecção dos rizóforos em solução de hipoclorito de sódio durante 3 minutos. Para o plantio da yacon, o espaçamento varia entre 0,50 a 0,70 m entre plantas e de 0,8 a 1,0 m entre linhas. Geralmente, o plantio é realizado colocando os rizóforos em covas dispostas em uma linha de plantio (SEMINARIO et al., 2003; MACHADO et al., 2004).

Na yacon, o sistema subterrâneo é constituído por raízes e rizóforos, tendo todo o seu sistema radicular formado por raízes adventícias, sendo que algumas dessas raízes permanecem finas e outras passam pelo processo de tuberização ao longo do ciclo da cultura.

Cada planta de yacon produz, em média, de 2 a 4 kg de raízes de reserva, sendo que o peso médio de cada raiz varia entre 50 a 1000 gramas e o número médio de raízes é de 12 por planta, podendo variar de 3 a 35 raízes em uma só planta (SEMINARIO et al., 2003). Geralmente, a planta atinge a maturidade fisiológica entre seis e dez meses após o plantio, sendo que nessa fase as flores começam a abrir. A época exata em que a planta atingirá sua maturidade depende da região onde está sendo cultivada. Segundo National Research Council (1989) após esse estágio ocorrerá um incremento do conteúdo dos oligofrutanos nos rizóforos e nas raízes tuberosas, logo após a planta entrará em uma fase de senescência da parte aérea e dormência das partes subterrâneas.

Na cultura da yacon a colheita das raízes tuberosas para consumo e dos rizóforos para propagação para o próximo plantio tem sido realizada quando a parte aérea começa a secar, sendo que isso dependerá da região onde está sendo cultivada, podendo ocorrer por volta de oito e doze meses após o plantio (VILHENA et al., 2000; OLIVEIRA e NISHIMOTO, 2004). É também nesta fase em que se observam as maiores quantidades de frutooligossacarídeos nesses órgãos, sendo que a partir dos dez meses inicia-se o processo de despolimerização das cadeias, com a liberação de frutose e glicose, que serão utilizadas na forma de energia para a brotação das gemas e consequente regeneração da planta (VILHENA et al., 2000). Porém, agricultores de Santa Maria do Jetibá-ES vêm realizando a colheita no momento em que o pendão floral é emitido, visto que as raízes tuberosas atingem o padrão comercial mais aceito na CEASA-ES.

2.2 EXPANSÃO DO CULTIVO E IMPORTÂNCIA DA YACON

Recentemente, o cultivo de yacon tem se expandido para outros continentes, sendo cultivado em muitos países fora dos Andes, como Paraguai, Estados Unidos, Eslováquia, China, Coréia e Taiwan (LACHAN et al., 2004). No Brasil, o seu cultivo foi introduzido pelos imigrantes japoneses na década de 90 na região de Capão Bonito, Estado de São Paulo (KAKIHARA et al., 1996).

Atualmente, a raiz tuberosa de yacon, tem sido descrita como alimento com maior concentração de frutooligossacarídeos na natureza; estes açúcares causam uma série de benefícios à saúde humana, tais como: aumento na absorção de minerais, fortalecimento do sistema imunológico e diminuição do desenvolvimento de câncer de cólon (SANTANA e CARDOSO, 2008). Além disto, a ingestão dos frutanos presentes nesta hortaliça auxilia no controle de glicemia em pacientes portadores de diabetes (ALBUQUERQUE e ROLIM, 2011).

Entre os anos de 2010 e 2015, o volume de entrada de yacon no CEASA/SP cresceu 122%, totalizando 1.606 toneladas. A yacon que chega à CEASA-SP é proveniente de 15 municípios e de quatro estados diferentes (OLIVEIRA, 2016). No estado do Espírito Santo, o município de Santa Teresa é o maior produtor, seguido dos municípios de Santa Maria de Jetibá e Afonso Cláudio (CEASA- ES, 2017).

As raízes tuberosas da yacon apresentam diferentes formas de consumo como *in natura*, cozida em sopas ou desidratadas na forma de “chips”. Sua folha também é usada na medicina popular para o preparo de chás, tendo eficiência no controle de diabete e colesterol (VILHENA et al., 2000).

2.3 NUTRIÇÃO MINERAL

As plantas necessitam, para completar seu ciclo de vida, de dezessete elementos essenciais, sendo três oriundos do ar e da água (C, H e O), compondo próximo de 95% da massa seca da planta, e os quatorze restantes divididos em macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes (Fe, Mn, Zn, Cu, B, Cl, Mo e Ni), supridos pelo solo. Tendo acesso à energia da luz solar e a esses nutrientes, as plantas podem produzir todos os compostos de que necessitam para o seu desenvolvimento (RAIJ, 1991).

As quantidades absorvidas podem variar de acordo com a cultivar, com as condições climáticas, com o tipo de manejo e tecnologia empregados e com a disponibilidade de nutrientes

no solo (BÜLL, 1993). Para o desenvolvimento ótimo de uma cultura, é necessário garantir adequada disponibilidade de nutrientes, de modo a atender às exigências nutricionais da planta.

A escassez de informações quanto às exigências nutricionais da yacon justifica a realização de estudos que contemplem esta cultura, quanto a essas exigências (quanto, quando e como aplicar determinado nutriente). Isso contribuirá para aumentar a eficiência no manejo da adubação, o que possibilitará aumento na produção e redução de custos na lavoura, pela utilização mais racional e eficiente dos fertilizantes e do solo (BORGES, 2006).

Na região andina recomenda-se a aplicação de 140-120-100 kg ha⁻¹ de NPK, com o fracionamento da aplicação do N, sendo 50% no plantio e os outros 50% aos 40 dias após o plantio, junto com a prática da amontoa (MONTIEL, 1996). No Brasil, tem-se utilizado as recomendações de adubação da cultura da batata, sendo pH do solo ótimo ao desenvolvimento da yacon próximo a 6,0; adubação com N, P, K e Zn no plantio e duas adubações nitrogenadas em cobertura (VILHENA et al., 2000). Em Botucatu-SP, a aproximadamente 800 m de altitude, Vilhena e Câmara (1996) observaram que baixas doses de N (20 kg ha⁻¹) promoveram aumento no peso das raízes de yacon (32%), principalmente quando se parcelou a dose em três vezes. No entanto, nessa mesma região, Amaya e Câmara (2001) verificaram que 160 kg ha⁻¹ de N e 100 kg ha⁻¹ de K promoveram maior produção de raízes tuberosas. Kruger (2003) observou melhor desenvolvimento da planta com a adubação mineral de 50:80:60 kg ha⁻¹ de NPK, com N e K parcelados. Além disso, a yacon apresenta resposta positiva ao fornecimento de matéria orgânica, sendo que a fonte orgânica geralmente usada é o esterco de animais (SEMINARIO et al., 2003).

2.3.1 Marcha de absorção de nutrientes

A marcha de absorção estuda a relação existente entre a quantidade de nutrientes, o acúmulo de matéria seca e a idade da planta (MARSCHNER, 2012). Dessa forma, é importante conhecer a marcha de absorção nas diferentes fases do desenvolvimento da planta, pois assim é possível saber quais os nutrientes são mais exigidos em cada uma delas. Embora a marcha de absorção dependa de alguns fatores como clima, sistema de cultivo e cultivares, pode-se se dizer que os nutrientes são absorvidos de acordo com o ciclo da cultura, sendo a velocidade de absorção dependente da translocação de nutrientes das folhas e dos caules para os órgãos reprodutivos (COELHO, 1994).

De um modo geral, as curvas que descrevem a absorção de nutrientes pela planta seguem o padrão da curva de acúmulo de massa seca, como foi o caso em batateira (MACEDO et al.,

1977), batata doce (ECHER et al., 2009), cenoura e beterraba (FURLANI et al., 1978), abobreira (VIDIGAL et al., 2007) e no tomateiro (FAYAD et al., 2001). Embora o acúmulo de nutrientes seja diferente conforme a espécie, de modo geral, os nutrientes são absorvidos em função do ciclo e da translocação na planta, pois, o acúmulo e a distribuição dos nutrientes na planta dependem de seu estágio de desenvolvimento (MACEDO JUNIOR, 1998; MARSCHNER et al., 2012).

3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Fazenda Garganta, distrito de Celina, no município de Alegre no sul do Espírito Santo, que se encontra a uma altitude de 680 m, latitude de 20° 47' 1" sul e longitude de 41° 36' 56" oeste. A classificação climática do local de condução do experimento, proposta por Köppen, é tropical úmido com temperatura média anual de 24 °C (PEZZOPANE et al., 2012). No local do experimento foi instalada uma estação meteorológica Irriplus® modelo E5000. Durante o cultivo da yacon foram registrados os seguintes dados meteorológicos: 406,93 mm de precipitação; temperatura média do ar de 20,10 °C; umidade relativa média do ar de 77,72%); radiação média de 0,52 MJ h⁻¹ e; velocidade média do vento de 0,17 m s⁻¹ (Figura 1).

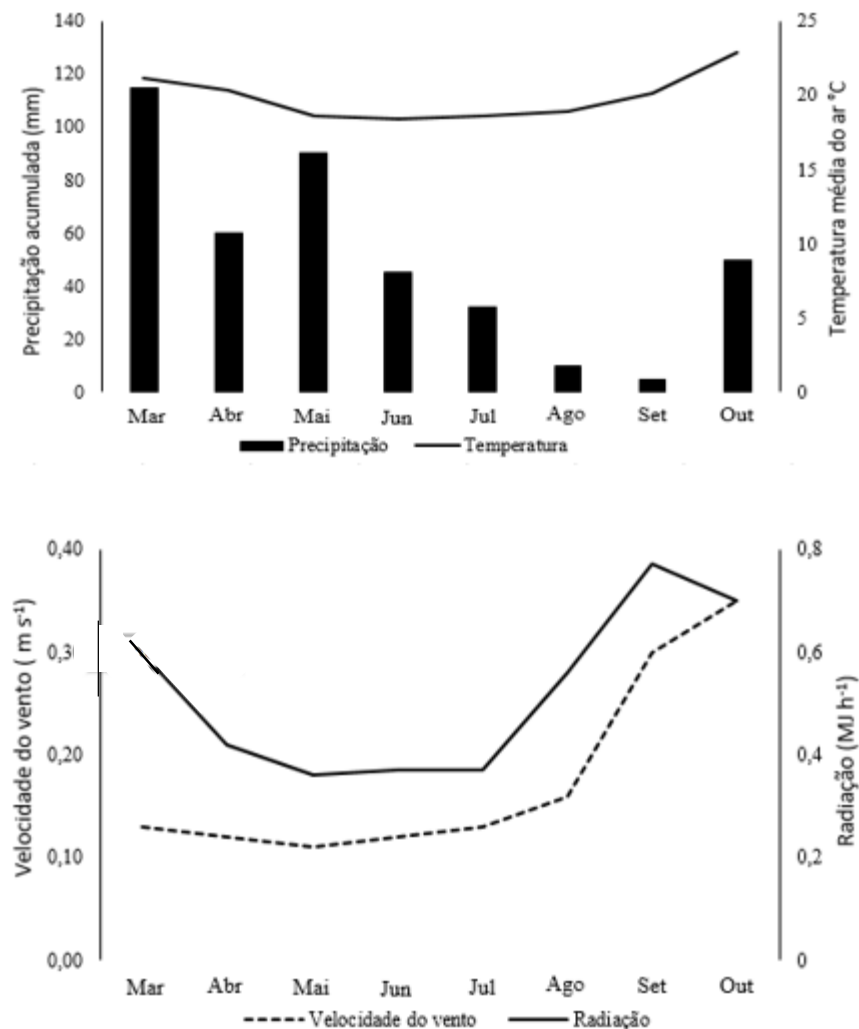


Figura 1. Precipitação mensal acumulada e temperatura média do ar (A), radiação média incidente e velocidade média do vento (B) registradas durante o experimento (Alegre/ES 2017).

As mudas foram preparadas em sacolas de dimensões de 10x18x21 cm preenchidas com substrato e os propágulos utilizados foram rizóforos de aproximadamente 20 g. A área onde foi realizado o experimento vinha sendo utilizada para o cultivo do café, o qual foi retirado para o plantio da yacon. Posteriormente, o solo foi preparado por meio de aração a 40 cm de profundidade, seguido de gradagem. O plantio foi realizado em camalhões de aproximadamente 30 cm de altura, utilizando-se mudas de tamanho padronizado com 40 dias de idade. Ao longo do ciclo de cultivo foi realizado controle de plantas espontâneas e irrigação por gotejamento com turno de rega fixo de dois dias.

Foi realizada calagem com calcário dolomítico de modo a elevar o índice de saturação por bases para 70% e respeitado o período de 60 dias para o plantio. Para a adubação, no plantio foi aplicado 100% do fósforo e 1/3 do nitrogênio e potássio. Aos 30 dias após o transplante das mudas foi realizada a adubação de cobertura com 2/3 do nitrogênio e potássio. As fontes de nitrogênio, fósforo e potássio foram, respectivamente, ureia (45% de N), superfosfato simples (18% de P_2O_5 , 16% de Ca e 8% de S) e cloreto de potássio (60% de K_2O).

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados no esquema de parcelas subdivididas com quatro repetições, onde as parcelas foram compostas pelos três níveis de adubação, sendo eles: 60, 100 e 140% ajustados a partir da dose de adubação que apresentou maior produção de raízes tuberosas segundo Kruger (2003), e as subparcelas compostas pelas épocas de coletas de dados, sendo realizadas a cada trinta dias, totalizando 7 coletas, gerando um total de 21 tratamentos. A ausência de testemunha se justifica pelos resultados da análise química do solo, onde o mesmo se encontrava ácido e com saturação por bases extremamente baixa.

O solo foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo, textura média (EMBRAPA, 2014), cuja amostra foi submetida ao laboratório de análises de solos do CCAE/UFES para análise química (Tabela 1).

Tabela 1. Atributos da camada de 0 a 20 cm do solo utilizado no experimento (Alegre/ES 2017)

Atributos do solo	Valores
pH (água)	4,56
Fósforo Mehlich 1 (mg dm ⁻³)	27,42
Potássio (mg dm ⁻³)	103,00
Cálcio (cmol _c dm ⁻³)	1,25
Magnésio (cmol _c dm ⁻³)	0,27
Alumínio (cmol _c dm ⁻³)	0,70
Soma de bases (cmol _c dm ⁻³)	1,82
CTC efetiva (cmol _c dm ⁻³)	2,52
Saturação por bases (%)	20,56

As doses de adubação avaliadas no experimento foram:

- 60% = No plantio, adubação mineral com 10, 48 e 12 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente. Em cobertura, adubação mineral com 20 e 24 kg ha⁻¹ de N e K₂O, respectivamente, aos 30 dias após o transplântio das mudas.
- 100% = No plantio, adubação mineral com 17, 80 e 20 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente. Em cobertura, adubação mineral com 33 e 40 kg ha⁻¹ de N e K₂O, respectivamente, aos 30 dias após o transplântio das mudas.
- 140% = No plantio, adubação mineral com 23, 112 e 28 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente. Em cobertura, adubação mineral com 47 e 56 kg ha⁻¹ de N e K₂O, respectivamente, aos 30 dias após o transplântio das mudas.

As plantas foram conduzidas no espaçamento 1,0 x 0,5 m. As coletas foram iniciadas 30 dias após o transplântio das mudas e foram interrompidas aos 210 dias de cultivo. Mensalmente foram retiradas quatro plantas de cada nível de adubação para análises, sendo cada planta útil circundada por quatro plantas como bordadura. A planta foi dividida em 5 partes (folhas, caules, rizóforos, raízes e raiz tuberosa) e cada uma dessas partes foi seca em estufa com circulação forçada de ar a 70 ± 5°C até massa constante e, posteriormente, obtida a massa seca por meio de pesagem. Possíveis quedas de folhas foram desconsideradas. Com essas amostras foram determinados os teores de P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn na planta após digestão nítrico-perclórica. O N foi determinado após digestão sulfúrica.

A partir do momento em que a produção de raízes com padrão comercial foi notado, passou a ser realizada a classificação nas classes 1A (comprimento menor que 13 cm e peso menor que 130 g), 2A (comprimento entre 13 e 18 cm e peso entre 130 e 250 g) e 3A (comprimento maior que 18 cm e peso maior que 250 g) (OLIVEIRA, 2016).

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F e as médias comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Também foram ajustadas regressões para as variáveis ao longo do tempo quando significativo. A análise estatística foi realizada com o auxílio do programa computacional SISVAR (FERREIRA, 1998).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ACÚMULO DE MATÉRIA SECA E PRODUTIVIDADE

Para as três adubações estudadas, houve diferença significativa para as variáveis de massa seca nos órgãos da planta, exceto para a massa seca dos rizóforos (Tabela 2), sendo que a adubação de 140% proporcionou maiores acúmulos de massa seca dentre os níveis de adubação estudados. A massa seca total média, considerando as sete épocas de coletas de dados, foi estatisticamente superior no nível de adubação de 140%, demonstrando resposta crescente da planta a adubação ao longo de todo ciclo de cultivo. Para a massa seca das folhas e dos caules o resultado foi o mesmo, onde o maior nível de adubação promoveu maior acúmulo médio de massa seca.

Houve diferença significativa para as variáveis de massa seca da yacon ao longo do tempo de cultivo (Tabela 2), tendo acúmulo com ajuste quadrático para massa seca das folhas e dos caules e ajuste linear para massa seca dos rizóforos, raízes, raízes tuberosas e massa seca total (Figura 2). Nas folhas ocorreu declínio da curva de massa seca para os três níveis de adubação, sendo que quanto maior a adubação mais tardiamente ocorreu essa perda de folhas e conseqüentemente de massa seca. O maior acúmulo de massa seca nas folhas foi observado no nível de 100% aos 90 dias com um acúmulo de $41,75 \text{ g planta}^{-1}$, porém, o acúmulo de massa seca nas folhas no final do ciclo foi maior no nível de 140% ($23,38 \text{ g planta}^{-1}$), o que torna evidente o melhor desenvolvimento da planta e com isso ocorrendo menos perda de folhas. Vale ressaltar que são nas folhas onde ocorre a formação dos carboidratos por meio dos processos de fotossíntese (TAIZ et al., 2017), sendo assim, a queda das folhas pode influenciar negativamente no processo assimilatório como um todo.

Tabela 2. Valor de F e os dados médios da parcela adubação e da subparcela época de coleta de dados da yacon sobre a massa seca (Alegre/ES 2017)

	Folha	Caule	Rizóforo	Raízes	Raízes de reserva	Massa seca total
	g planta ⁻¹					
	Teste F					
Adubação (A)	8,49**	9,48**	2,97*	11,05**	4,53*	5,67**
Tempo de cultivo (T)	29,94**	25,28**	101,82**	36,65**	209,55**	232,72**
Interação (AxT)	2,96**	4,62**	3,91**	3,08**	4,77**	6,05**
A						
60%	24,11 b	18,00 b	93,40 a	4,96 a	212,69 b	353,17 b
100%	20,87 b	19,44 b	79,96 b	3,66 b	229,30 ab	353,24 b
140%	28,74 a	24,36 a	92,92 a	5,15 a	242,15 a	393,33 a
CV (%)¹	29,16	38,82	26,26	39,46	8,11	4,77
T						
30	12,56 c	4,17 d	2,57 e	1,35 d	3,20 f	23,86 f
60	17,36 bc	16,47 c	15,23 e	3,08 c	53,90 e	124,75 e
90	18,26 bc	21,66 bc	61,44 d	3,95 c	196,98 d	331,33 d
120	19,15 bc	22,11 bc	96,57 c	4,53 c	244,82 c	392,73 d
150	24,68 b	24,37 ab	106,73 c	4,57 c	332,36 b	483,87 c
180	36,05 a	25,70 ab	148,50 b	6,20 b	365,81 ab	564,47 b
210	43,95 a	29,73 a	190,26 a	8,44 a	399,26 a	645,07 a
CV (%)²	29,24	27,77	26,34	28,14	16,10	14,04

*, ** - Significativo a 5% e a 1% de probabilidade, respectivamente. As médias seguidas de letras iguais nas colunas não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

¹ Coeficiente de variação da parcela; ² Coeficiente de variação da subparcela.

Os rizóforos apresentaram acúmulo acelerado de massa seca dos 60 aos 120 dias após o plantio (DAP) para todos os níveis de adubação (Figura 2C), mostrando um grande acúmulo de reservas neste órgão da planta. Lima et al. (1985), Mesquita et al. (1996) e Ortiz et al. (1998) relataram comportamento semelhante em mandioquinha-salsa. Os rizóforos têm como característica armazenar carboidratos simples e frutooligossacarídeos, sendo esse órgão utilizado na reprodução assexuada da planta (SEMINARIO et al., 2003).

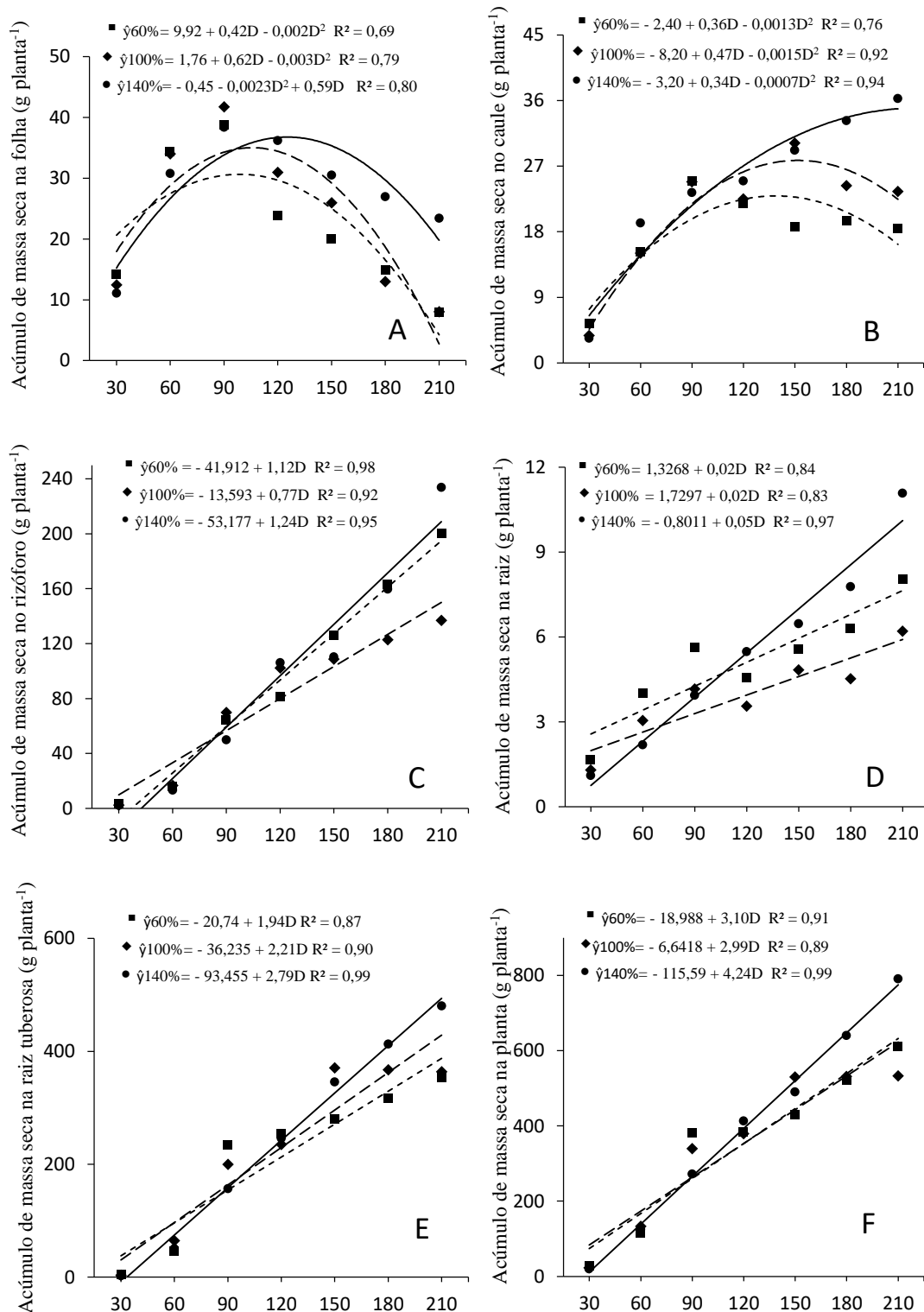


Figura 2. Acúmulo de massa seca nas folhas (A), caules (B), rizóforos (C), raízes (D), raízes tuberosas (E) e na planta inteira (F) da yacon em função dos dias após o plantio (Alegre/ES 2017).

Nas raízes tuberosas o acúmulo estimado de massa seca foi maior numericamente para os níveis de 60 e 100% quando comparado ao nível de 140%, no entanto, no decorrer do ciclo da cultura esse cenário se inverteu, e aos 210 DAP as plantas adubadas com 140% da dose apresentaram maior acúmulo de massa seca nas raízes tuberosas, atingindo um acúmulo estimado de 492,5 g planta⁻¹, já os níveis de 60 e 100% acumularam 386,6 e 427,4 g planta⁻¹ de massa seca, respectivamente (Figura 2E).

Com as curvas de acúmulo, pode-se calcular o tempo gasto para a planta acumular determinada quantidade de massa seca. As plantas adubadas com o nível de 100% da adubação tiveram o menor acúmulo estimado, acumulando ao longo de 210 dias um total de 621,26 g planta⁻¹ de massa seca, no entanto, as plantas adubadas com 60% e 140% da dose gastaram 206 e 173,7 dias, respectivamente, para acumularem a mesma quantidade de massa seca. Isso mostra que as plantas adubadas com 140% da dose apresentaram maior acúmulo médio diário de massa seca, evidenciando a resposta positiva da cultura ao aumento da disponibilidade de nutrientes no solo.

Houve diferença entre os níveis de adubações estudados quanto à produtividade total de raízes tuberosas, bem como na produtividade nas classes de raízes grandes e médias. A produtividade de raízes pequenas não diferiu estatisticamente (Tabela 3). A maior produtividade de raízes tuberosas foi alcançada no nível de 140% (82,13 t ha⁻¹) seguida pelos níveis de 60 e 100% com produtividades de 62,10 e 61,70 t ha⁻¹, respectivamente. Houve um aumento de mais de 20 t ha⁻¹ para o nível de 140%, quando comparado aos níveis de 60 e 100%, sendo que esse aumento na produtividade gera maior rentabilidade para o produtor, considerando os preços médios das raízes e dos fertilizantes.

Tabela 3. Produtividade (t ha⁻¹) de raízes frescas por classes e total em função dos níveis de adubação (Alegre/ES 2017)

Níveis de Adubação	Classes*			
	3A	2A	1A	Total
60 %	42,28 c	12,47 a	7,35 a	62,10 b
100 %	50,90 b	4,15 b	6,65 a	61,70 b
140 %	60,82 a	13,88 a	7,43 a	82, 13 a
CV (%)	10,23	7,99	8,54	6,71

*3A, raízes grandes; 2A, raízes médias e 1A, raízes pequenas (OLIVEIRA, 2016)

Com os resultados observados frente aos três níveis de adubação, nota-se melhor desempenho da grande maioria das variáveis analisadas para o nível de 140%, sendo assim, a

discussão a seguir enfatizará a marcha de absorção de macro e micronutrientes para tal nível de adubação.

4.2 MARCHA DE ABSORÇÃO DE MACRONUTRIENTES

4.2.1 Nitrogênio

É comum que se faça confusão entre os termos “teor” e “conteúdo” de nutrientes. O teor refere-se à concentração de um nutriente no tecido vegetal, (% , g/kg, mg/kg), enquanto que o conteúdo refere-se à quantidade do elemento em um determinado órgão, parte aérea, raízes, toda a planta (g planta⁻¹, mg planta⁻¹) (FAQUIN, 2002).

Considerando todo ciclo de cultivo, os maiores teores de N foram encontrados, em ordem decrescente, nos seguintes órgãos: folha, caule, raiz, rizóforo e raiz tuberosa, havendo uma alternância na concentração de N entre esses dois últimos, em algumas épocas de cultivo (Tabela 4). Para todos os órgãos da planta os maiores teores de N foram observados nas amostras coletadas aos 30 DAP. O nitrogênio atua na divisão celular e na produção de clorofila (MARSCHNER, 2012). Dessa forma, a alta exigência pelo N, possivelmente, deve-se à intensa atividade metabólica nesta fase inicial de desenvolvimento da yacon.

Tabela 4. Teor de N em cada parte da planta de yacon ao longo do ciclo da cultura (Alegre/ES 2017)

Órgãos	Dias após o plantio						
	30	60	90	120	150	180	210
	Teor de N (g kg⁻¹)						
Folha	49,95	45,69	40,81	34,00	39,95	35,81	34,85
Caule	39,34	26,15	21,10	17,26	17,88	17,39	15,87
Rizóforo	17,75	13,44	9,79	11,19	11,83	10,25	8,33
Raiz	32,27	20,00	20,97	20,49	15,93	17,67	19,81
Raiz tuberosa	21,46	9,54	10,09	7,2	9,42	10,01	10,23

Após 60 dias os teores desse nutriente diminuíram, devido provavelmente ao maior acúmulo de massa seca nesse período (Figura 3F), evidenciando o efeito de diluição. Segundo Primavesi (2002) o efeito de diluição não significa necessariamente uma absorção deficiente de nutrientes, mas sim um intenso crescimento.

O acúmulo de N nas folhas em função do tempo ajustou-se a um modelo quadrático decrescente, sendo crescente até aproximadamente aos 121 DAP chegando ao máximo de 1,57 g planta⁻¹, decrescendo a partir de então (Figura 3A). As diminuições no conteúdo de N nas folhas durante o crescimento das plantas se explicam, em grande parte, pela redução da massa seca das mesmas devido à queda (Figura 2A), bem como, pela remobilização e translocação do N das folhas para os órgãos das plantas em crescimento, uma vez que houve reduções no teor de N no referido órgão (Tabela 4) e, pelo fato desse elemento ser passível de redistribuição entre os órgãos das plantas (MALAVOLTA, 2006). O conteúdo total de N acumulado nas folhas aos 120 DAP equivale a uma imobilização (retido nas plantas na forma de acúmulo) de 32 kg ha⁻¹ de N.

Para os demais órgãos da planta, assim como para a planta toda, o acúmulo de N em função do tempo ajustou-se a modelos lineares, e isso se explica pelo comportamento semelhante do acúmulo de massa seca nesses órgãos, com exceção do caule (Figura 2). Os acúmulos de N nos caules, rizóforos, raízes, raízes tuberosas e acúmulo total de N na planta toda aumentaram de forma semelhante (Figura 3).

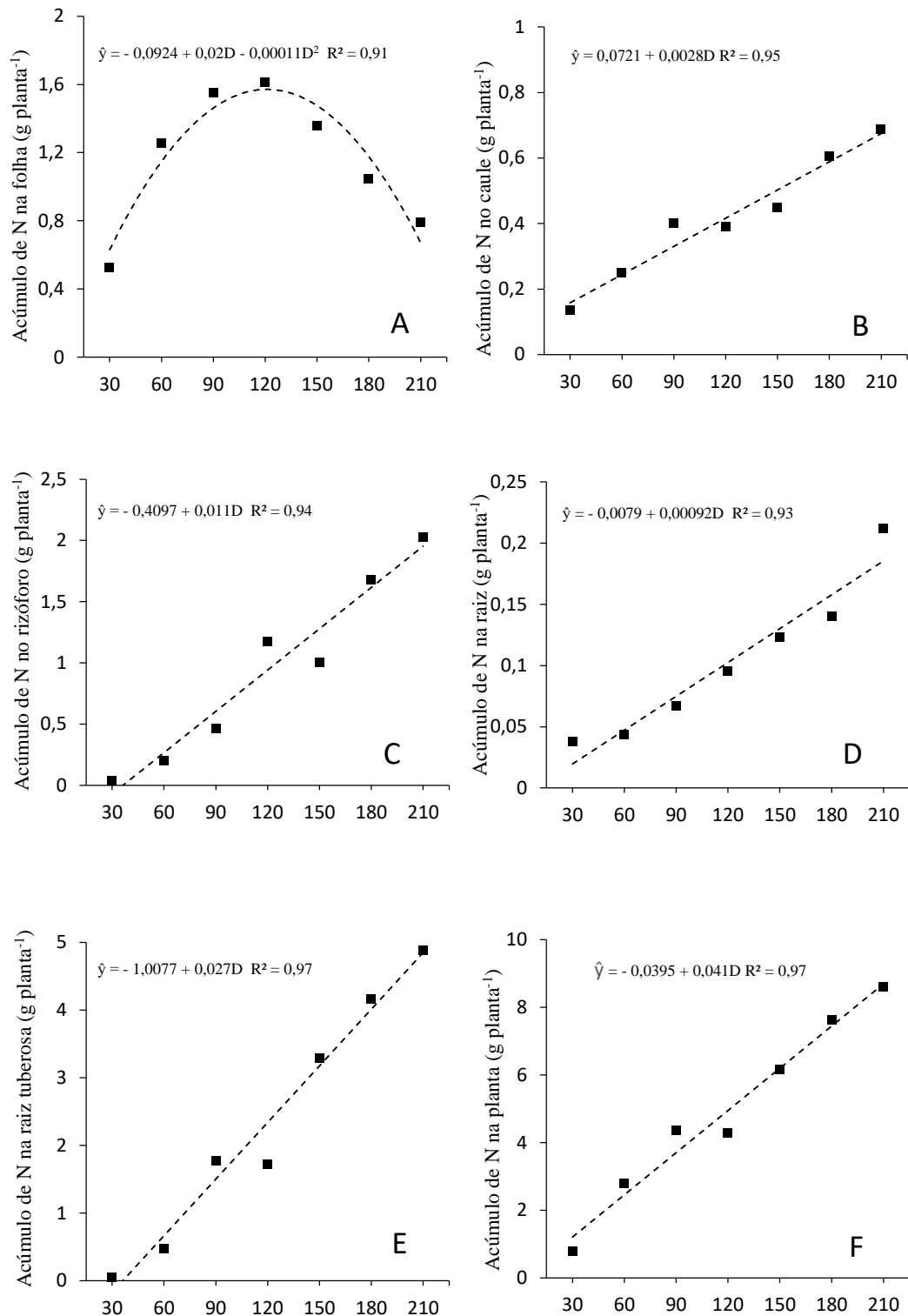


Figura 3. Acúmulo de N nas folhas (A), caules (B), rizóforos (C), raízes (D), raízes tuberosas (E) e na planta inteira (F) da yacon em função dos dias após o plantio (Alegre/ES 2017).

Verifica-se que aos 210 DAP do total de 8,60 g de N acumulado na planta 4,88 g foram alocados nas raízes tuberosas (57%), 2,02 g alocados nos rizóforos (24%), 0,79 g alocados nas

folhas (9%), 0,68 g alocados nos caules (8%) e 0,21 g alocados nas raízes (2%) (Figura 4). Esse comportamento se explica em grande parte pelo acúmulo de massa seca, que teve este mesmo comportamento nos órgãos analisados.

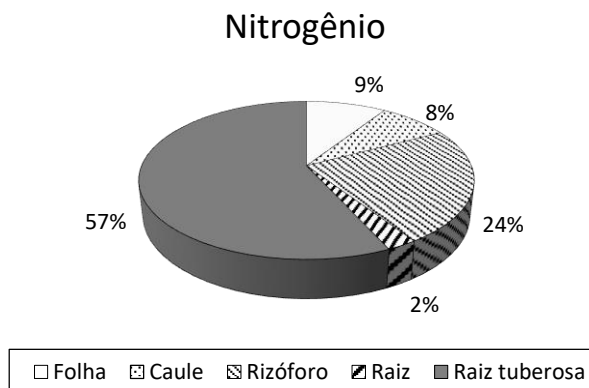


Figura 4. Proporção de N acumulado nos órgãos analisados da yacon aos 210 dias após o plantio (Alegre/ES 2017).

4.2.2 Fósforo

Com exceção das raízes tuberosas, os maiores teores de P nos órgãos das plantas foram observados na primeira avaliação (Tabela 5). Isso se justifica pelo fato de ter sido utilizada elevada dose de P_2O_5 na adubação de plantio, aumentando a disponibilidade desse macronutriente no solo. Nas raízes tuberosas, os maiores teores de P foram observados nas últimas avaliações. Comportamento parecido foi observado por Cabalceta et al. (2005) na batateira, onde a quantidade de P absorvida nas fases iniciais do ciclo foi acumulada, principalmente, na parte aérea e na fase final do ciclo, grande parte desse nutriente foi remobilizada para os tubérculos.

Exceto no primeiro mês após o plantio, os teores de P não variaram consideravelmente nos órgãos analisados. Nos três últimos meses de cultivo, os teores de P aumentaram nas raízes tuberosas, como consequência da força do dreno deste órgão. Assim como ocorreu para o N, aos 210 DAP o teor de P nas folhas foi superior aos observados nos demais órgãos das plantas. Uma vez que o fosfato, além de atuar como elemento estrutural dos ácidos nucléicos (DNA e RNA), também atua como elemento transferidor de energia nas ligações energéticas do fosfato e pirofosfato com os açúcares, com o gliceraldeído e com as coenzimas AMP, ADP, ATP, UTP e GTP e como elemento regulador: o P_i iônico armazenado no vacúolo é liberado no citoplasma e atua como regulador das diversas vias sintéticas (FURLANI, 2004).

Tabela 5. Teor de P em cada parte da planta de yacon ao longo do ciclo da cultura (Alegre/ES 2017)

Órgãos	Dias após o plantio						
	30	60	90	120	150	180	210
	Teor de P (g kg ⁻¹)						
Folha	3,81	1,93	2,57	2,16	2,62	2,58	2,55
Caule	3,97	1,41	1,18	1,47	1,43	1,51	1,59
Rizóforo	2,43	1,53	1,83	1,68	1,96	1,81	1,65
Raiz	2,54	1,47	1,39	1,77	1,88	2,04	2,20
Raiz tuberosa	1,98	1,66	1,34	1,38	2,34	2,33	2,32

O acúmulo de P nas folhas e nas raízes em função do tempo ajustou-se a um modelo quadrático. Nas folhas, o conteúdo de P foi crescente até os 123 DAP, chegando ao máximo estimado de P acumulado nas folhas (0,10 g planta⁻¹), decrescendo a partir de então (Figura 5A), comportamento esperado levando-se em conta o decréscimo de massa seca ocorrido nas folhas. O acúmulo de P nas raízes foi intenso a partir de 150 DAP, atingindo acúmulo estimado de 0,022 g planta⁻¹ aos 210 DAP.

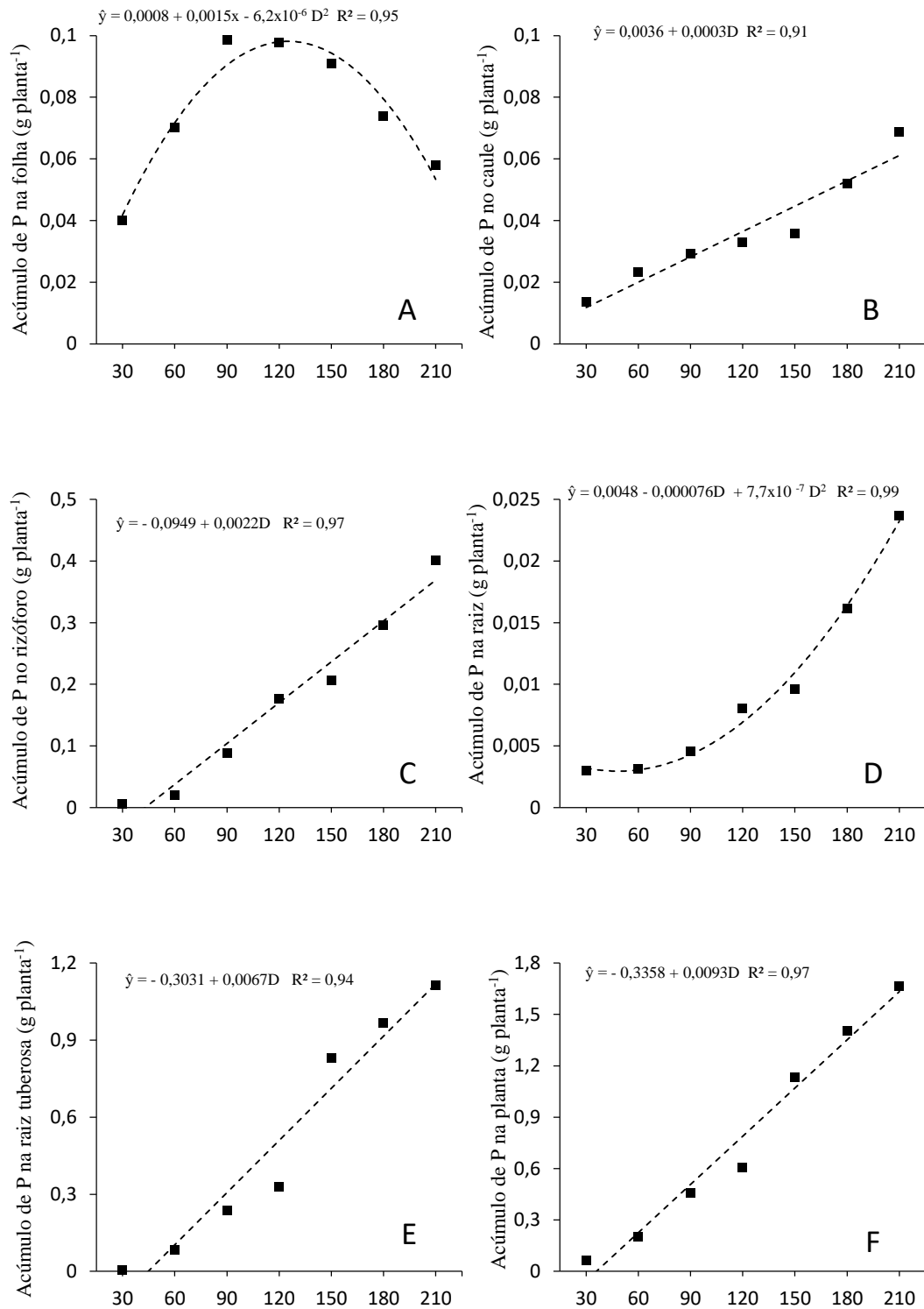


Figura 5. Acúmulo de P nas folhas (A), caules (B), rizóforos (C), raízes (D), raízes tuberosas (E) e na planta inteira (F) da yacon em função dos dias após o plantio (Alegre/ES 2017).

Nos demais órgãos da planta, assim como na planta inteira, o acúmulo de P em função do tempo ajustou-se a um modelo linear (Figuras 5B a 5F), seguindo o comportamento observado para a massa seca. Levando em conta, que a variação nos teores não foi suficiente para interferir no comportamento da curva de acúmulo do nutriente, o acúmulo de massa seca determinou o comportamento da curva. Na planta toda o acúmulo de P ocorreu de forma crescente até atingir um total de $1,61 \text{ g planta}^{-1}$ aos 210 DAP, equivalendo a uma imobilização (retido nas plantas na forma de acúmulo) de $32,2 \text{ kg ha}^{-1}$.

Verifica-se que aos 210 DAP do total de $1,66 \text{ g}$ de P acumulado na planta $1,11 \text{ g}$ foram alocados nas raízes tuberosas (67%), $0,4 \text{ g}$ alocados nos rizóforos (24%), $0,06 \text{ g}$ alocados nos caules (4%), $0,05 \text{ g}$ alocados nas folhas (4%) e $0,02 \text{ g}$ alocados nas raízes (1%) (Figura 6). Como pode ser observado, as raízes tuberosas acumularam a grande maioria do P aos 210 DAP. Com o decorrer do ciclo o P foi direcionado para as raízes tuberosas, segundo Marshall e Wardlaw (1973), a remobilização do P é determinada pela translocação e pela demanda de carboidratos dentro da planta.

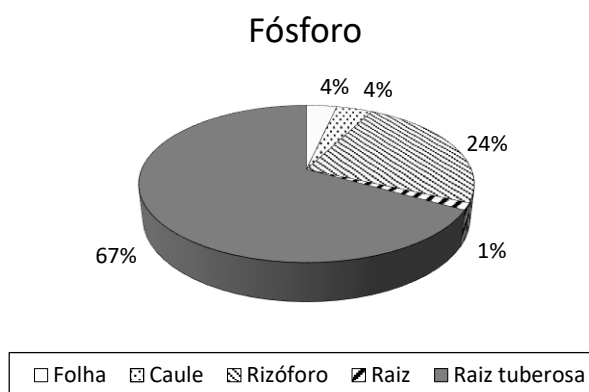


Figura 6. Proporção de P acumulado nos órgãos analisados da yacon aos 210 dias após o plantio (Alegre/ES 2017).

4.2.3 Potássio

Assim como para o N (Tabela 4) e o P (Tabela 5), os maiores teores de K foram observados nas primeiras avaliações e decrescendo com o decorrer do ciclo (Tabela 6). Isso ocorre devido a influência do efeito de diluição que a concentração desse nutriente sofre na planta. Após a absorção ele o K acoplado aos processos metabólicos, apresentando elevada mobilidade dentro da planta em todos os níveis: no interior das células, entre as células e tecidos e no transporte de longa distância via xilema e floema (FURLANI, 2004).

Os menores teores de K nas folhas ocorreram a partir de 150 DAP, muito provavelmente devido sua translocação para as raízes tuberosas, consideradas forte dreno, as quais apresentaram elevação nos teores deste nutriente no final do ciclo da cultura (Tabela 6). Nas folhas, os teores de K aumentaram nas duas últimas avaliações, reflexo da redução no acúmulo de massa secas nas mesmas (Figura 2A), tornando esse macronutriente mais concentrado nesse órgão da planta.

Tabela 6. Teor de K em cada parte da planta de yacon ao longo do ciclo da cultura (Alegre/ES 2017)

Órgãos	Dias após o plantio						
	30	60	90	120	150	180	210
	Teor de K (g kg ⁻¹)						
Folha	12,77	13,58	9,13	6,95	3,70	5,21	6,73
Caule	13,57	12,36	10,60	11,07	5,91	5,84	5,77
Rizóforo	9,69	4,07	4,75	4,71	4,24	4,19	4,15
Raiz	13,41	11,34	11,87	10,30	11,91	10,80	9,68
Raízes tuberosas	14,18	8,34	8,14	5,40	7,68	7,85	8,02

O acúmulo de K nas folhas e nos caules em função do tempo ajustou-se a um modelo cúbico. Nas folhas, o conteúdo de K atingiu a máximo acúmulo estimado aos 75 DAP (0,38 g planta⁻¹) (Figura 7A). Nos caules o máximo estimado de K acumulado foi aos 91 DAP (0,27 g planta⁻¹) (Figura 7B). O comportamento cúbico do acúmulo de massa seca nas folhas foi ocasionado pela variação no teor desse nutriente na planta, que foi crescente até os 90 DAP reduzindo a partir daí até os 150 DAP, sendo que a partir dos 180 DAP voltou a subir novamente, deixando evidente a ação do efeito de diluição. O K e o N são os nutrientes que são mais afetados pelo efeito de diluição (MARSCHNER, 2012). O pico de acúmulo observado aos 60 dias se deve provavelmente a adubação de cobertura onde foi aplicado 2/3 da dose K₂O.

Nos demais órgãos da planta, assim como na planta toda, o acúmulo de K em função do tempo ajustou-se a um modelo linear, com destaque para as raízes tuberosas que apresentaram o maior acúmulo estimado de K, atingindo 3,63 g planta⁻¹ aos 210 DAP equivalendo a uma imobilização (retido nas raízes tuberosas na forma de acúmulo) de 72,6 kg há⁻¹. O K tem como principal função o transporte de carboidratos e o controle da abertura e fechamento dos estômatos, contribuindo para a manutenção da água na planta (MALAVOLTA, 2006).

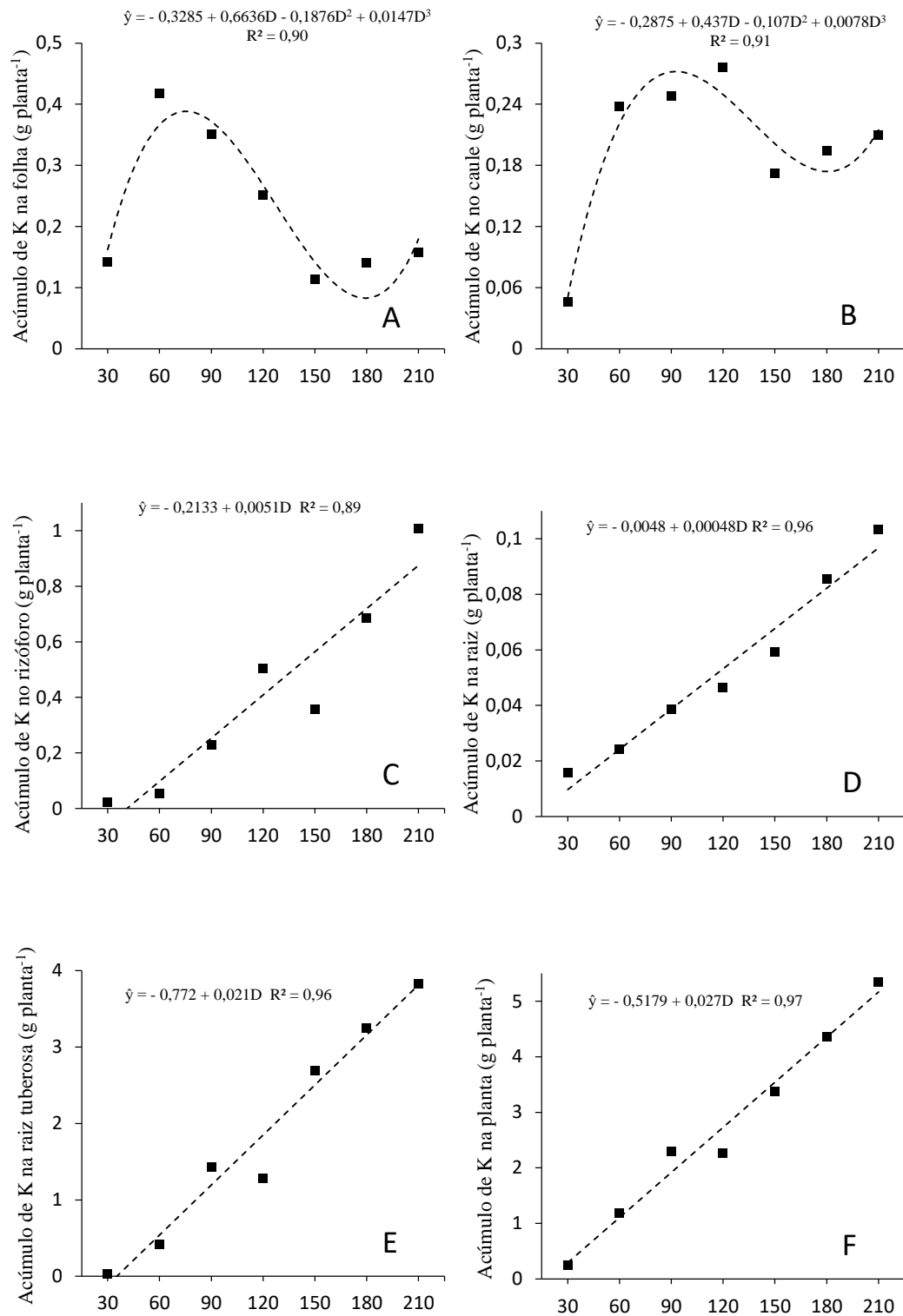


Figura 7. Acúmulo de K nas folhas (A), caules (B), rizóforos (C), raízes (D), raízes tuberosas (E) e na planta inteira (F) da yacon em função dos dias após o plantio (Alegre/ES 2017).

Verifica-se que aos 210 DAP do total de 5,34 g de K acumulado na planta, 3,83 g foram alocados nas raízes tuberosas (71%), 1,00 g alocados nos rizóforos (19%), 0,25 g alocados nos

caules (5%), 0,15 g alocados nas folhas (3%) e 0,10 g alocados nas raízes (2%) (Figura 8). O acúmulo de massa seca em si explica boa parte desses resultados, além disso, o teor de K nas raízes tuberosas foi o segundo maior aos 210 DAP, ficando atrás apenas do teor observado nas raízes (Tabela 6).

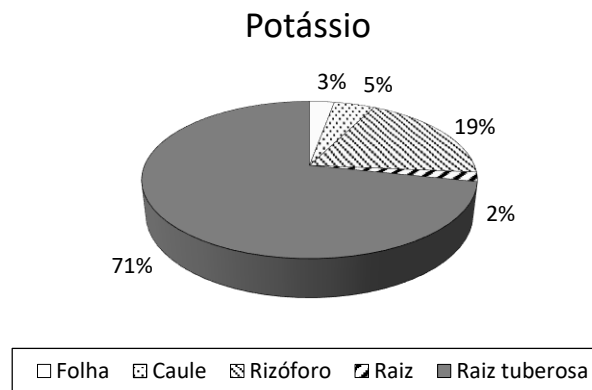


Figura 8. Proporção de K acumulado nos órgãos analisados da yacon aos 210 dias após o plantio (Alegre/ES 2017).

4.2.4 Cálcio

Os maiores teores de Ca foram observados nas folhas e caules ($57,24 \text{ g kg}^{-1}$ e $41,41 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente) e os menores teores foram observados nas raízes tuberosas e rizóforos ($8,32 \text{ g kg}^{-1}$ e $12,49 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente). Provavelmente, isso ocorreu pelo fato do Ca presente na seiva do xilema ser translocado no sentido ascendente acompanhando o fluxo de transpiração (MARSCHNER, 2012). Dessa forma, quando esse nutriente está presente em quantidades adequadas na solução do solo, o teor dele nas folhas e caule aumenta.

Ao contrário das folhas, as raízes tuberosas e os rizóforos possuem baixa transpiração, resultando em menores quantidades de Ca transportada via xilema para esses órgãos. Porém, isso não significa que esse nutriente seja fornecido às raízes tuberosas e aos rizóforos, predominantemente, pelo floema (MARSCHNER, 2012). Dessa forma, provavelmente, o baixo teor de Ca nas raízes tuberosas e nos rizóforos deve-se ao fato de que as raízes da yacon pouco contribuem para o fornecimento de Ca a este órgão. Isso deixa evidente a importância de se ter boa disponibilidade desse elemento no solo durante a fase de tuberização da yacon.

Tabela 7. Teor de Ca em cada parte da planta de yacon ao longo do ciclo da cultura (Alegre/ES 2017)

Órgãos	Dias após o plantio						
	30	60	90	120	150	180	210
	Teor de Ca (g kg ⁻¹)						
Folha	33,49	33,88	40,38	57,24	56,48	43,98	31,60
Caule	20,43	25,25	33,60	41,41	39,25	35,14	31,04
Rizóforo	12,79	14,44	16,89	18,44	14,47	13,90	13,32
Raiz	19,47	18,92	20,78	22,56	14,78	18,08	21,37
Raiz tuberosa	14,93	15,73	13,40	12,86	8,32	12,37	16,42

O acúmulo de Ca nas folhas em função do tempo ajustou-se a um modelo quadrático, cujo conteúdo foi crescente até os 125 DAP (1,94 g planta⁻¹) e decrescente a partir daí, atingindo o valor estimado de 0,675 g planta⁻¹ aos 210 DAP (Figura 9A). Como esse nutriente tem baixa redistribuição na planta (MARSCHNER, 2012), tal comportamento do acúmulo é explicado em grande pela diminuição da massa seca das folhas devido a senescência e a queda, fato observado a partir dos 120 DAP (Figura 2A).

Nos demais órgãos da planta o acúmulo de Ca em função do tempo ajustou-se a um modelo linear (Figura 9). Esse comportamento também foi observado para a planta toda onde o acúmulo desse nutriente foi crescente atingindo o máximo acúmulo estimado aos 210 DAP (12,73 g planta⁻¹), equivalendo a uma imobilização (retido nas plantas na forma de acúmulo) de 254,6 kg ha⁻¹. Essa resposta ascendente das plantas quanto à absorção de Ca (Figura 9F), demonstrou que a yacon parece ser exigente neste nutriente, apresentando acúmulo superior ao do N e do P, fato que confirma a essencialidade da presença deste elemento para o cultivo da yacon.

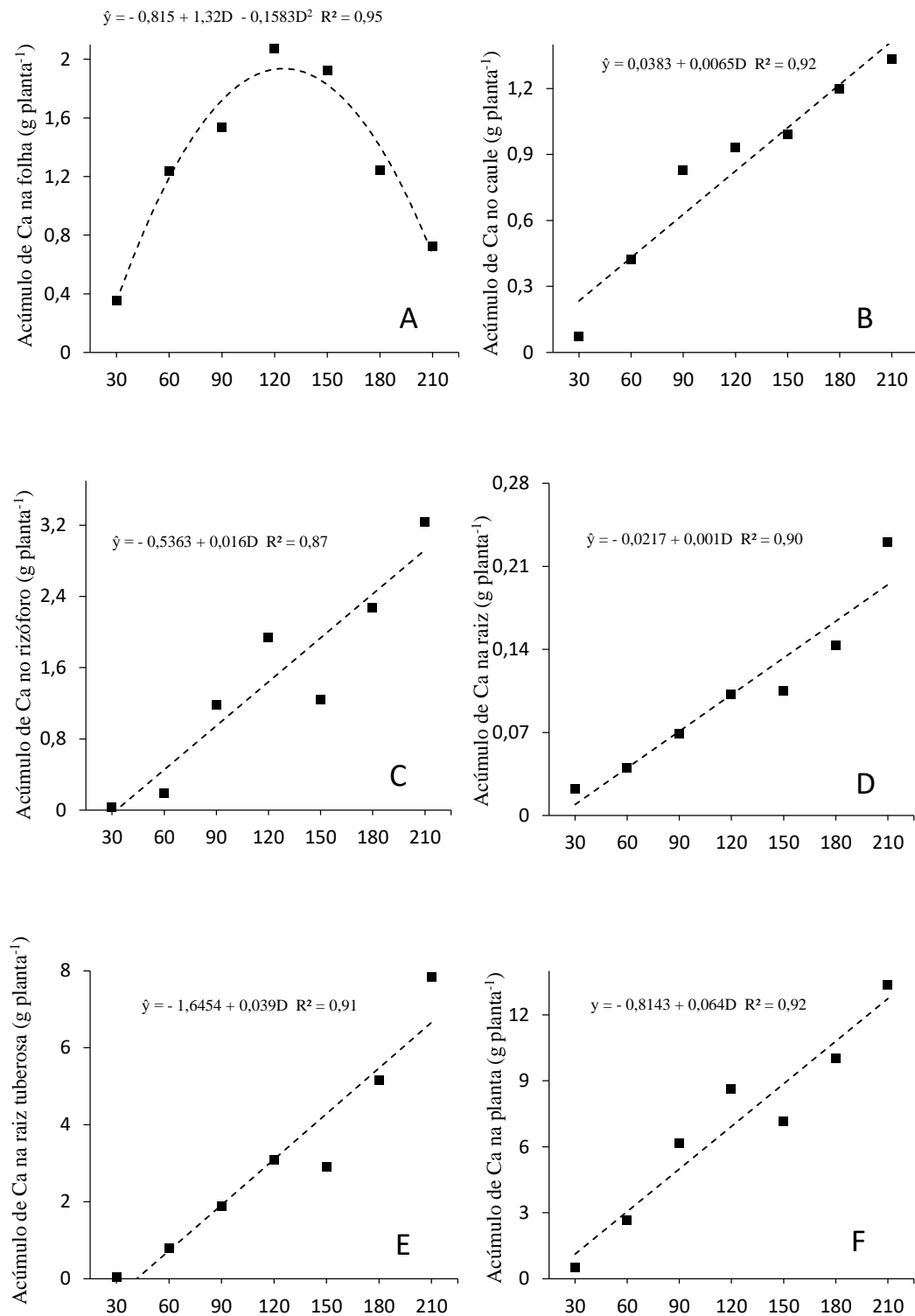


Figura 9. Acúmulo de Ca nas folhas (A), caules (B), rizóforos (C), raízes (D), raízes tuberosas (E) e na planta inteira (F) da yacon em função dos dias após o plantio, (Alegre/ES 2017).

A distribuição do Ca nos órgãos da planta seguiu o padrão do acúmulo de massa seca nos mesmos. Observa-se que aos 210 DAP do total de 13,36 g de Ca acumulados na planta 7,84 g foram alocados nas raízes tuberosas (59%), 3,23 g alocados nos rizóforos (24%), 1,33 g alocados nos caules (10%), 0,71 g alocados nas folhas (5%) e 0,23 g alocados nas raízes (2%) (Figura 10).

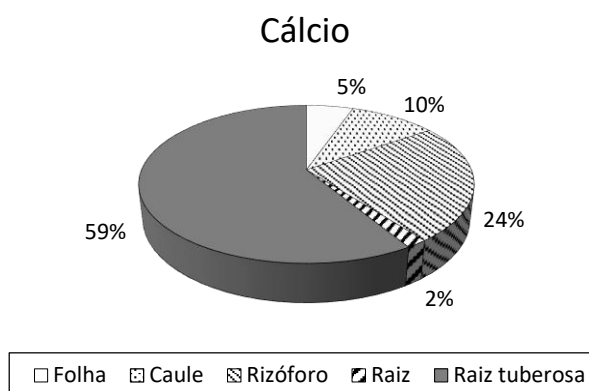


Figura 10. Proporção de Ca acumulado nos órgãos analisados da yacon aos 210 dias após o plantio (Alegre/ES 2017).

4.2.5 Magnésio

O maior teor de Mg ocorreu aos 150 DAP, diminuindo nas duas últimas avaliações, muito provavelmente devido sua translocação para as raízes tuberosas, consideradas forte dreno, as quais apresentaram elevação nos teores deste nutriente no final do ciclo da cultura (Tabela 8). O Mg atua como componente estrutural da clorofila, sendo que, cerca de 10% deste elemento total da folha está ligado a este composto (TAIZ et al., 2017). Altas concentrações de Ca e K podem inibir competitivamente a absorção de Mg, causando deficiência desse nutriente (VITTI et al., 2006). Os órgãos que apresentaram maiores variações no teor desse nutriente durante o ciclo da yacon foram as raízes tuberosas e os rizóforos, sendo que os maiores teores observados foram na primeira avaliação para ambos os órgãos.

Tabela 8. Teor de Mg em cada parte da planta de yacon ao longo do ciclo da cultura (Alegre/ES 2017)

Órgãos	Dias após o plantio						
	30	60	90	120	150	180	210
	Teor de Mg (g kg ⁻¹)						
Folha	8,33	7,66	7,49	9,87	11,79	10,02	8,24
Caule	6,39	6,03	7,22	8,25	10,38	9,56	8,74
Rizóforo	4,33	2,22	2,51	1,33	2,31	1,93	1,56
Raiz	7,39	5,44	10,20	8,05	6,24	6,22	6,20
Raiz tuberosa	4,90	1,88	1,48	0,72	1,11	1,36	1,61

O acúmulo de Mg nas folhas em função do tempo ajustou-se a um modelo quadrático, com conteúdo crescente até os 122 DAP (0,048 g planta⁻¹) e decrescente a partir daí, atingindo o valor estimado de 0,675 g planta⁻¹ aos 210 DAP (Figura 11A). Como o acúmulo de nutrientes no tecido vegetal resulta do produto de sua concentração pela massa da matéria seca, esses resultados podem ser explicados pelo acúmulo de biomassa nas folhas, variável que também ajustou-se a um modelo quadrático. Para os demais órgãos da planta, assim como para a planta toda (Figuras 11B a 11F), o acúmulo de Mg em função do tempo ajustou-se a um modelo linear. As raízes tuberosas e os rizóforos foram os órgãos que tiveram o maior acúmulo estimado desse nutriente, atingindo 0,66 g planta⁻¹ e 0,35 g planta⁻¹, respectivamente. O acúmulo estimado total na planta foi de 1,17 g, atingido na última avaliação, equivalendo a uma imobilização (retido nas plantas na forma de acúmulo) de 23,4 kg ha⁻¹.

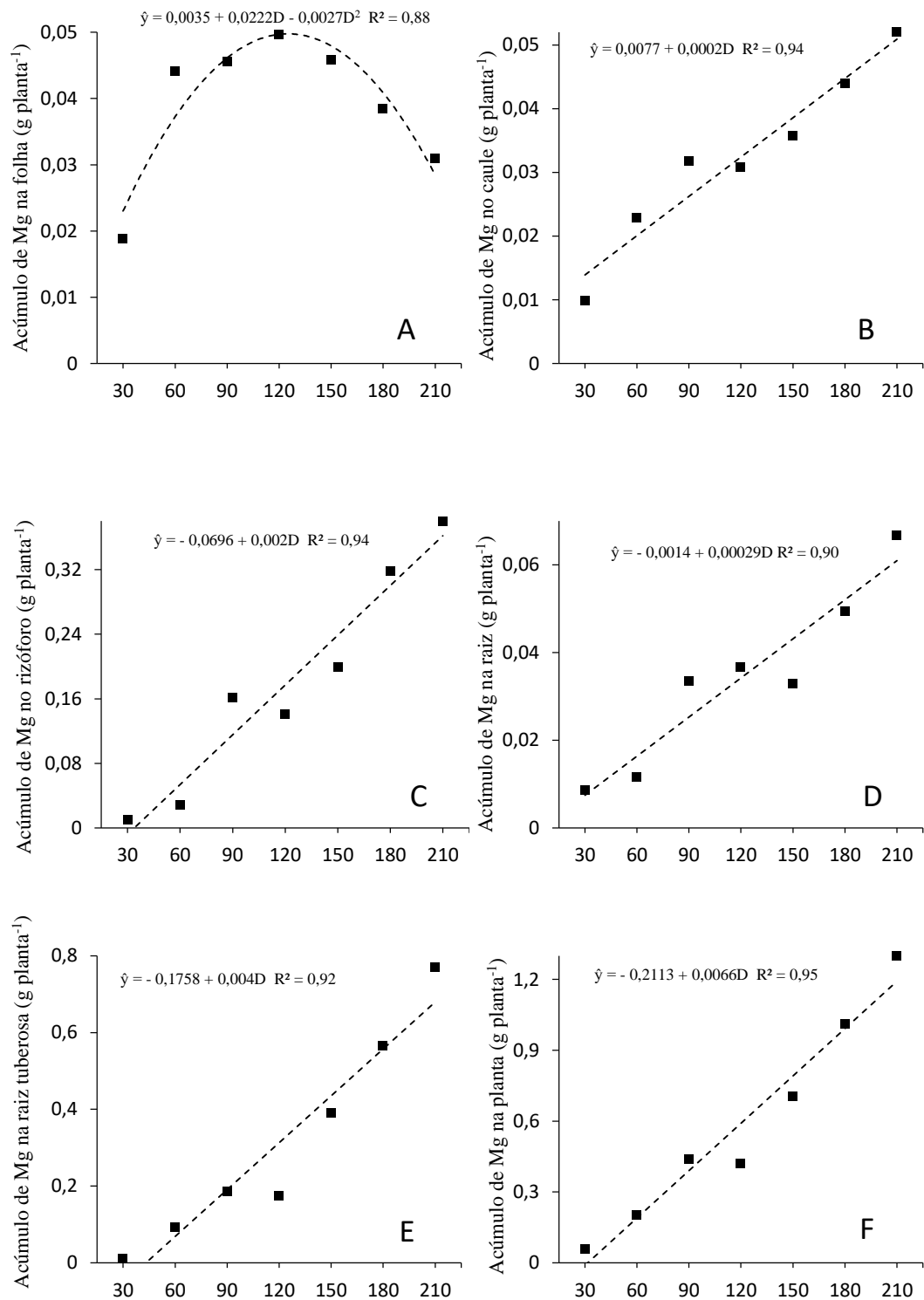


Figura 11. Acúmulo de Mg nas folhas (A), caules (B), rizóforos (C), raízes (D), raízes tuberosas (E) e na planta inteira (F) da yacón em função dos dias após o plantio (Alegre/ES 2017).

Observa-se que do total de 1,29 g de Mg acumulados na planta aos 210 DAP, 0,76 g foram alocados nas raízes tuberosas (59%), 0,37 g alocados nos rizóforos (29%), 0,06 g alocados nas raízes (5%), 0,05 g alocados nos caules (4%) e 0,03 g alocados nas folhas (3%) (Figura 12).

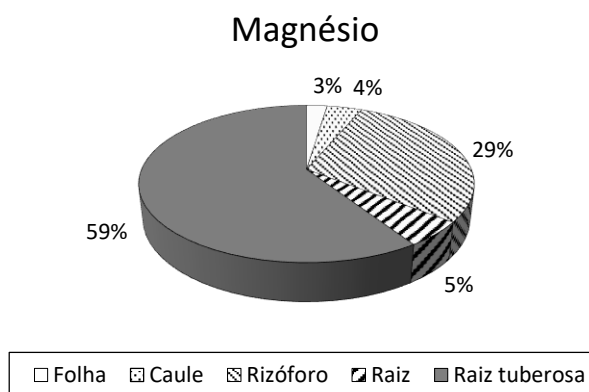


Figura 12. Proporção de Mg acumulado nos órgãos analisados da yacon aos 210 dias após o plantio (Alegre/ES 2017).

4.3 MARCHA DE ABSORÇÃO DE MICRONUTRIENTES

4.3.1 Ferro

O maior teor de Fe foi observado nas raízes (Tabela 9). As raízes apresentaram elevados teores desse nutriente, isso ocorre provavelmente devido à grande presença de Fe nos Latossolos e uma alta seletividade das plantas para alocarem essa elevada concentração de Fe nas raízes.

Os elevados teores de Fe verificados nas raízes da yacon apresentam uma controvérsia, isso porque o Fe é um micronutriente que está associado aos cloroplastos nas plantas, tendo papel importante nos processos fotossintéticos. Nas plantas, os cloroplastos estão presentes nas células, sendo que a maior parte ocorre nas folhas e outra parte nos caules e ramos, onde ocorre a maior incidência de luz. Dessa forma, os altos teores de Fe nas raízes podem estar associados à fisiologia das plantas e a quantidade de Fe no solo, tendo em vista que o Fe é considerado de baixa mobilidade nos tecidos vegetais, e, que devido à baixa taxa de translocação, pode ocorrer acumulação desse nutriente nas raízes. Vale ressaltar que as raízes não apresentam cloroplastos, ao menos que estas sejam submetidas a algum tipo de estímulo luminoso (DECHEN e NACHTIGALL, 2006; MARSCHNER, 2012; TAIZ et al., 2017). Dessa forma, fica claro que

os maiores teores radiculares de Fe é resultado do comportamento comum desse elemento em acumular-se nas raízes.

Tabela 9. Teor de Fe em cada parte da planta de yacon ao longo do ciclo da cultura (Alegre/ES 2017)

Órgãos	Dias após o plantio						
	30	60	90	120	150	180	210
	Teor de Fe (mg kg⁻¹)						
Folha	727,53	517,20	448,39	410,64	735,48	827,56	919,65
Caule	495,11	192,41	134,39	96,54	119,54	126,97	134,41
Rizóforo	2391,51	958,10	585,40	342,10	411,87	511,71	611,55
Raiz	3694,51	3212,26	3856,48	5133,98	4716,97	4653,46	4589,95
Raiz tuberosa	1215,62	361,45	284,74	221,11	125,64	161,18	196,71

O acúmulo de Fe nas folhas e nos rizóforos em função do tempo ajustou-se a um modelo quadrático (Figuras 13A e 13C). Nas folhas o acúmulo máximo estimado de Fe foi atingido aos 180 DAP (22,11 mg planta⁻¹). O acúmulo de Fe nas folhas foi um pouco diferente do observado para os demais nutrientes nesse órgão, o que pode ser explicado pelo aumento do teor do mesmo a partir dos 150 DAP (Tabela 9), adiando a diminuição no acúmulo mesmo com a redução na massa seca (Figura 13A).

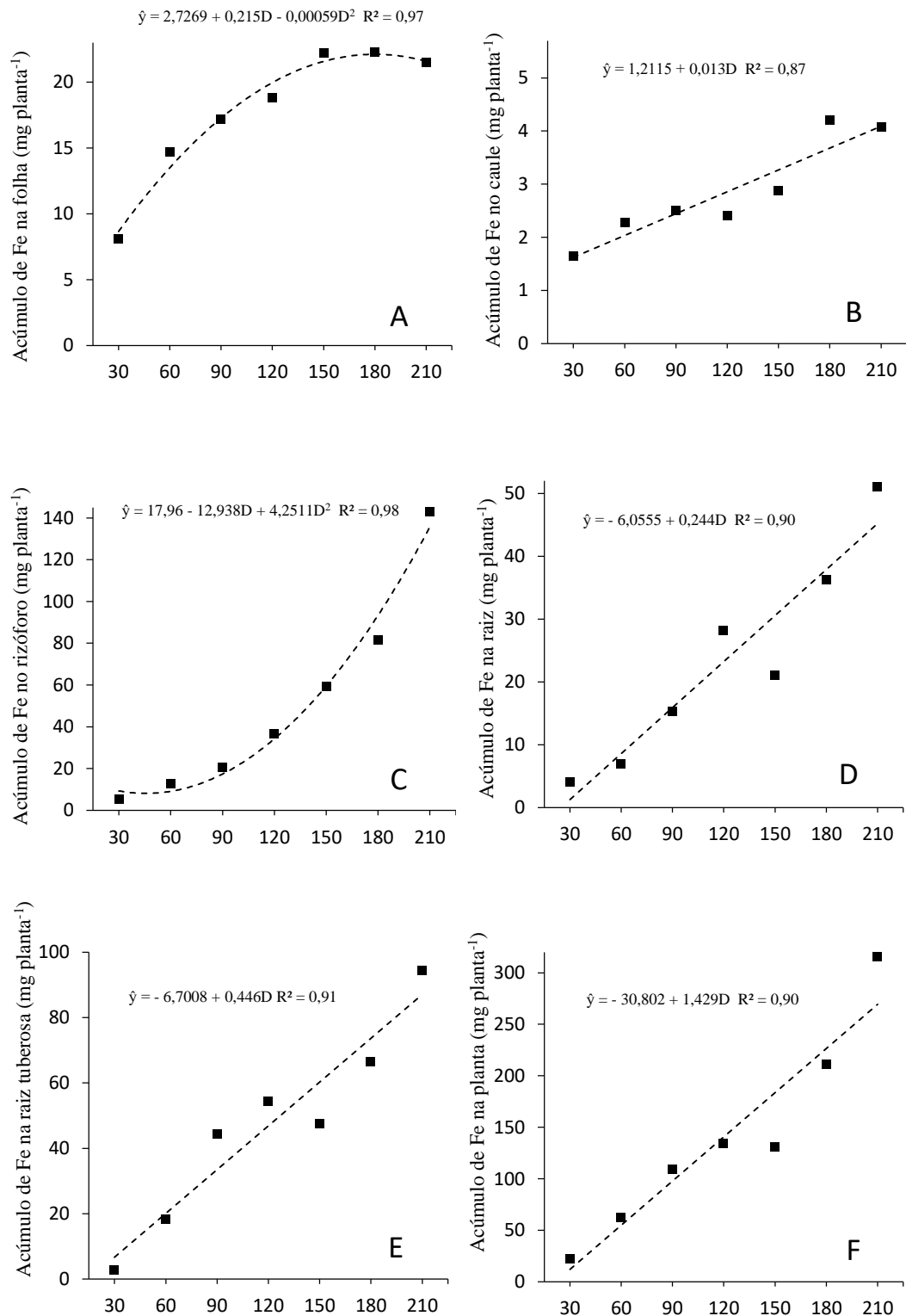


Figura 13. Acúmulo de Fe nas folhas (A), caules (B), rizóforos (C), raízes (D), raízes tuberosas (E) e na planta inteira (F) da yacon em função dos dias após o plantio (Alegre/ES 2017).

O acúmulo de Fe nos rizóforos foi mais acentuado a partir dos 150 DAP atingindo o máximo estimado aos 210 DAP (135,69 mg planta⁻¹). Para os demais órgãos da planta, assim como na planta toda, o acúmulo de Fe em função do tempo ajustou-se a um modelo linear (Figuras 13B, 13D, 13E e 13F). O total estimado desse micronutriente acumulado na planta foi de 269,28 mg planta⁻¹, equivalendo a 5,38 kg ha⁻¹.

Observa-se que do total de 315,70 mg de Fe acumulados na planta aos 210 DAP, 142,99 mg foram alocados nos rizóforos (45%), 94,52 mg alocados nas raízes tuberosas (30%), 51,00 mg alocados nas raízes (16%), 21,49 mg alocados nas folhas (7%) e 5,67 mg alocados nos caules (2%) (Figura 14).

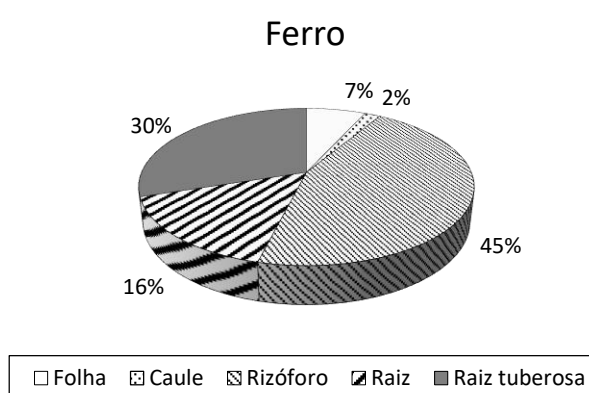


Figura 14. Proporção de Fe acumulado nos órgãos analisados da yacon aos 210 dias após o plantio (Alegre/ES 2017).

4.3.2 Cobre

Os teores foliares de Cu foram crescentes até 150 DAP sem, no entanto, sofrer queda drástica nos últimos dois meses de cultivo (Tabela 10). Nas raízes tuberosas, os teores desse nutriente se elevaram até 90 DAP, decrescendo a seguir, provavelmente devido ao ganho de biomassa desse órgão comercial. Esses resultados com os encontrados por Fernandes (2010), que observou maiores teores de Cu em cultivares de batata na época de enchimento de tubérculos.

Esses resultados chamam a atenção para o papel do Cu no metabolismo de carboidratos nas plantas. Além disso, o Cu desempenha outros papéis importantes na planta, tais como lignificação da parede celular, biossíntese de substâncias envolvidas em processos de resistência das plantas a certas doenças, participação em reações redox, além de ser constituinte de vários tipos de proteínas (MARSCHNER, 2012; TAIZ et al., 2017).

Tabela 10. Teor de Cu em cada parte da planta de yacon ao longo do ciclo da cultura (Alegre/ES 2017)

Órgãos	Dias após o plantio						
	30	60	90	120	150	180	210
	Teor de Cu (mg kg⁻¹)						
Folha	3,77	4,55	6,25	6,81	7,60	6,66	5,72
Caule	3,71	6,01	10,26	11,94	5,69	4,65	3,60
Rizóforo	6,57	9,14	9,44	8,58	5,45	4,75	4,04
Raiz	6,33	8,69	12,85	15,54	7,16	6,98	6,80
Raiz tuberosa	3,00	4,61	8,31	6,14	4,07	3,73	3,40

O acúmulo de Cu nas folhas, caules, raízes tuberosas e na planta toda em função do tempo ajustou-se a um modelo quadrático (Figuras 15A e 15B). Para as folhas e caules, esse comportamento é explicado pela tendência de redução no acúmulo de massa seca nesses órgãos (Figuras 2A e 2B). Para as raízes tuberosas (Figura 15E) as variações nos teores desse nutriente elucidam esse comportamento, considerando a redução considerável a partir dos 120 DAP (Tabela 10). Como as folhas, caules e, principalmente, as raízes tuberosas, as quais representam mais da metade do acúmulo de massa seca da planta, apresentaram ajuste quadrático acabaram por influenciar o comportamento do acúmulo de Cu na planta toda (Figura 15F). Para os rizóforos e as raízes, o acúmulo desse nutriente ao longo do tempo ajustou-se a um modelo linear.

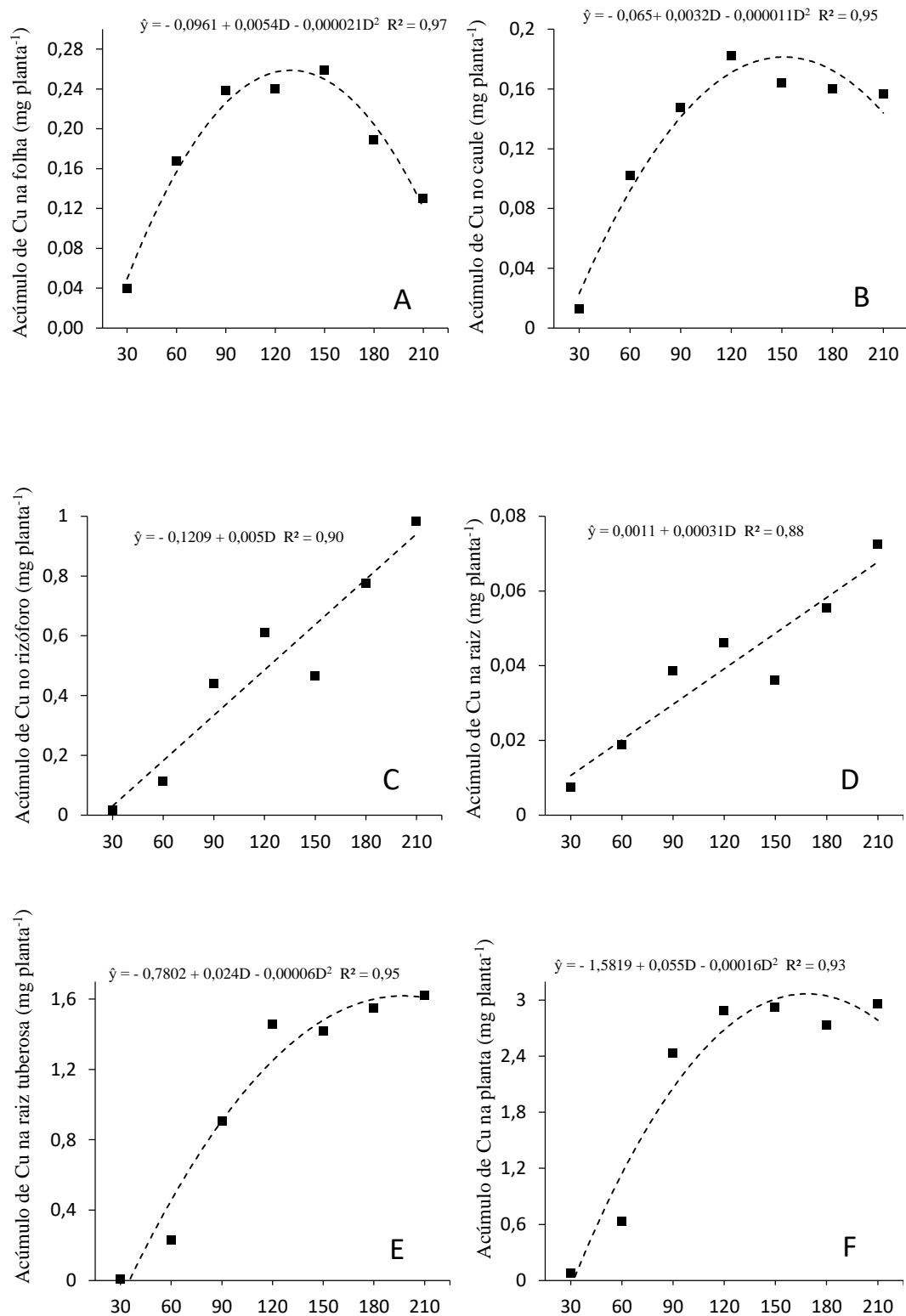


Figura 15. Acúmulo de Cu nas folhas (A), caules (B), rizóforos (C), raízes (D), raízes tuberosas (E) e na planta inteira (F) da yacón em função dos dias após o plantio (Alegre/ES 2017).

Observa-se que do total de 2,96 mg de Cu acumulados na planta aos 210 DAP, 1,62 mg foram alocados nas raízes tuberosas (55%), 0,98 mg alocados nos rizóforos (33%), 0,15 mg alocados nos caules (5%), 0,13 mg alocados nas folhas (4%) e 0,07 mg alocados nas raízes (3%) (Figura 16).

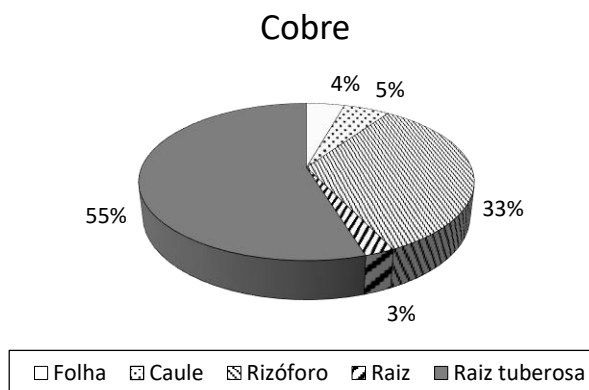


Figura 16. Proporção de Cu acumulado nos órgãos analisados da yacon aos 210 dias após o plantio (Alegre/ES 2017).

4.3.3 Manganês

Durante o ciclo de cultivo da yacon, as folhas exibiram maiores teores de Mn em comparações aos demais órgãos vegetais (Tabela 11). Para as folhas e caules o maior teor desse nutriente foi observado aos 150 DAP, diferentemente dos órgãos subterrâneos (rizóforos, raízes e raízes tuberosas) onde os maiores teores ocorreram aos 30 DAP. Além de ser essencial na síntese de clorofila, o Mn participa como co-fator de várias enzimas importantes como peroxidases e algumas ligadas ao metabolismo do C e do N. Sob deficiência de Mn há uma redução no conteúdo de clorofila e constituintes das membranas do cloroplasto, como fosfolipídios e glicoproteínas (MARSCHNER, 2012; TAIZ et al., 2017).

Tabela 11. Teor de Mn em cada parte da planta de yacon ao longo do ciclo da cultura (Alegre/ES 2017)

Órgãos	Dias após o plantio						
	30	60	90	120	150	180	210
Teor de Mn (mg kg ⁻¹)							
Folha	62,08	64,91	80,66	103,48	208,51	146,84	85,17
Caule	29,31	27,70	34,29	47,79	74,01	60,65	47,29
Rizóforo	17,14	10,47	5,76	5,36	9,05	6,81	4,57
Raiz	27,52	17,43	17,80	21,83	20,50	20,13	19,76
Raiz tuberosa	9,15	5,18	6,44	3,31	5,02	5,03	5,04

Com exceção das folhas, onde o acúmulo de Mn em função do tempo ajustou-se a um modelo quadrático, todos os órgãos da planta apresentaram ajuste linear para o acúmulo desse nutriente em função do tempo (Figura 17). Nas folhas, o máximo acúmulo estimado foi observado aos 135 DAP (4,54 mg planta⁻¹) (Figura 17A). Tal comportamento pode ser explicado principalmente pela queda das folhas levando ao decréscimo de massa seca e consequentemente do Mn acumulado, além disso ocorreu também redução na concentração desse nutriente nas folhas aos 180 e 210 DAP (Tabela 11). Nos demais órgãos da planta o máximo estimado de Mn acumulado foi aos 210 DAP. O total estimado de acúmulo desse nutriente foi de 10,15 mg planta⁻¹, equivalendo a 203 g ha⁻¹.

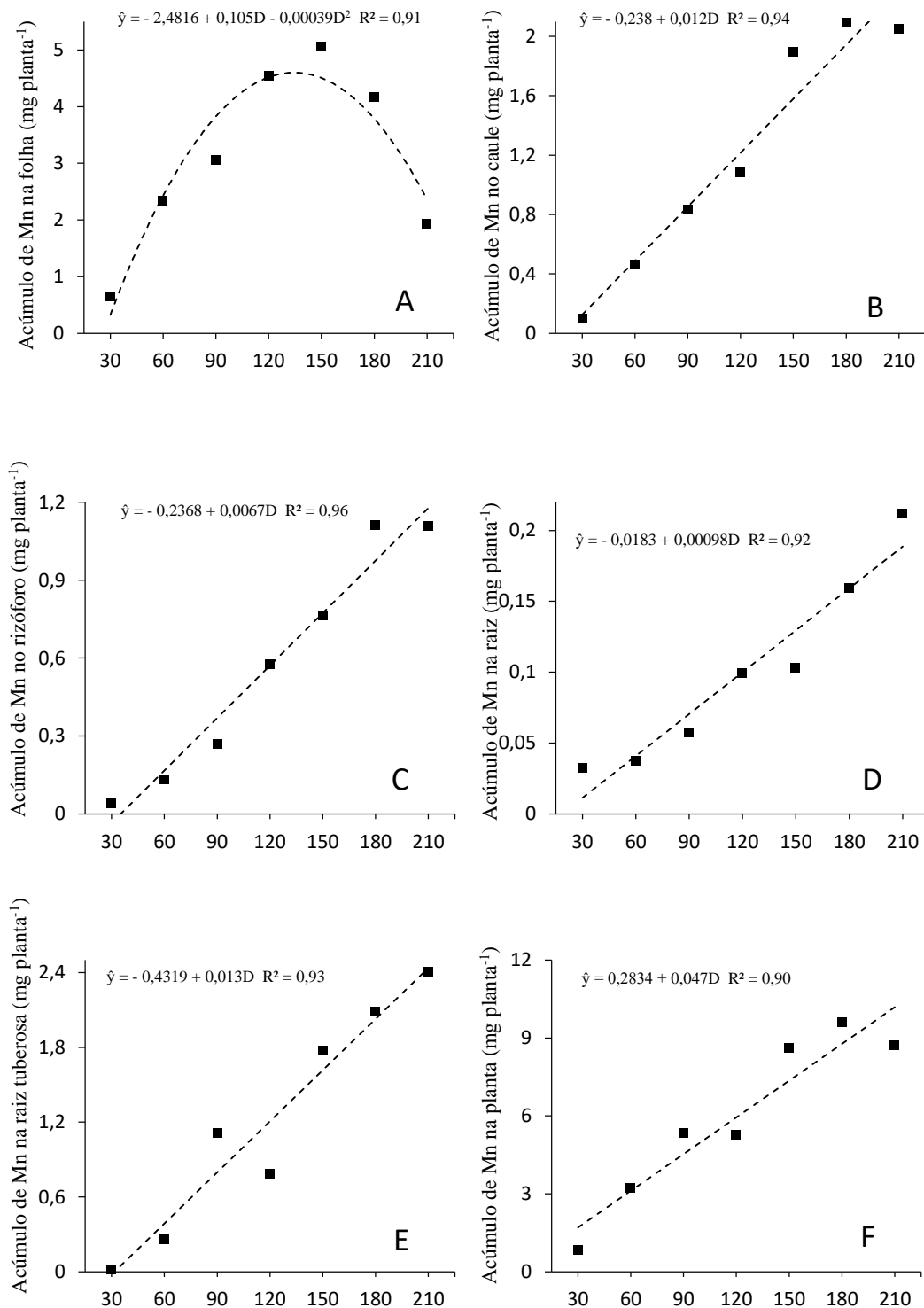


Figura 17. Acúmulo de Mn nas folhas (A), caules (B), rizóforos (C), raízes (D), raízes tuberosas (E) e na planta inteira (F) da yacon em função dos dias após o plantio (Alegre/ES 2017).

Observa-se que do total de 8,71 mg de Mn acumulados na planta aos 210 DAP, 2,40 mg foram alocados nas raízes tuberosas (31%), 2,05 mg alocados nos caules (27%), 1,93 mg alocados nas folhas (25%), 1,10 mg alocados nos rizóforos (14%) e 0,21 mg alocados nas raízes (3%) (Figura 18).

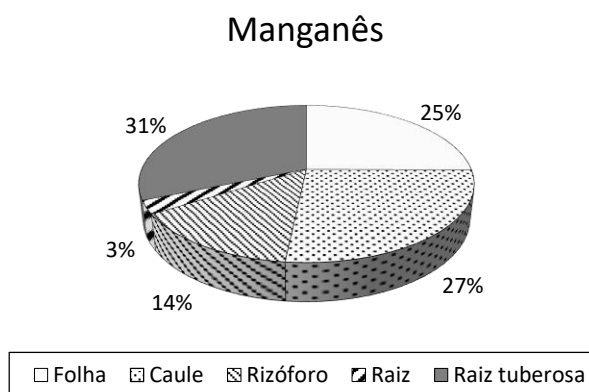


Figura 18. Proporção de Mn acumulado nos órgãos analisados da yacon aos 210 dias após o plantio (Alegre/ES 2017).

4.3.4 Zinco

Durante o ciclo de cultivo da yacon, exceto 60 DAP, as folhas exibiram maiores teores de Zn em comparações aos demais órgãos vegetais (Tabela 12). Fernandes (2010) também verificou maiores teores de Zn nas folhas e menores teores desse nutriente nos tubérculos da batateira do cultivar Mondial. Nos órgãos subterrâneos os maiores teores desse micronutriente ocorreram entre os 120 e 180 DAP, enquanto que para as folhas e caules as maiores concentrações de Zn foram no final do ciclo da cultura.

Tabela 12. Teor de Zn em cada parte da planta de yacon ao longo do ciclo da cultura (Alegre/ES 2017)

Órgãos	Dias após o plantio						
	30	60	90	120	150	180	210
	Teor de Zn (mg kg ⁻¹)						
Folha	46,23	56,23	92,28	85,29	131,76	129,79	127,82
Caule	45,83	60,10	49,36	74,45	89,52	91,40	93,28
Rizóforo	32,17	37,13	35,62	32,78	56,51	39,54	22,58
Raiz	54,48	60,56	63,62	75,02	65,32	61,53	57,75
Raiz tuberosa	30,53	29,64	36,59	24,60	43,52	36,36	29,21

Nas folhas o acúmulo de Zn em função do tempo ajustou-se a um modelo quadrático (Figura 19A), comportamento que reflete o acúmulo de massa seca no referido órgão. O máximo acúmulo estimado desse nutriente foi aos 142 DAP (1,47 mg planta⁻¹). Nos demais órgãos da planta, o acúmulo de Zn foi linear (Figuras 19B a 19F), atingindo o máximo de acúmulo estimado aos 210 DAP. O total estimado de acúmulo desse nutriente foi de 10,48 mg planta⁻¹, equivalendo a 209,7 g ha⁻¹.

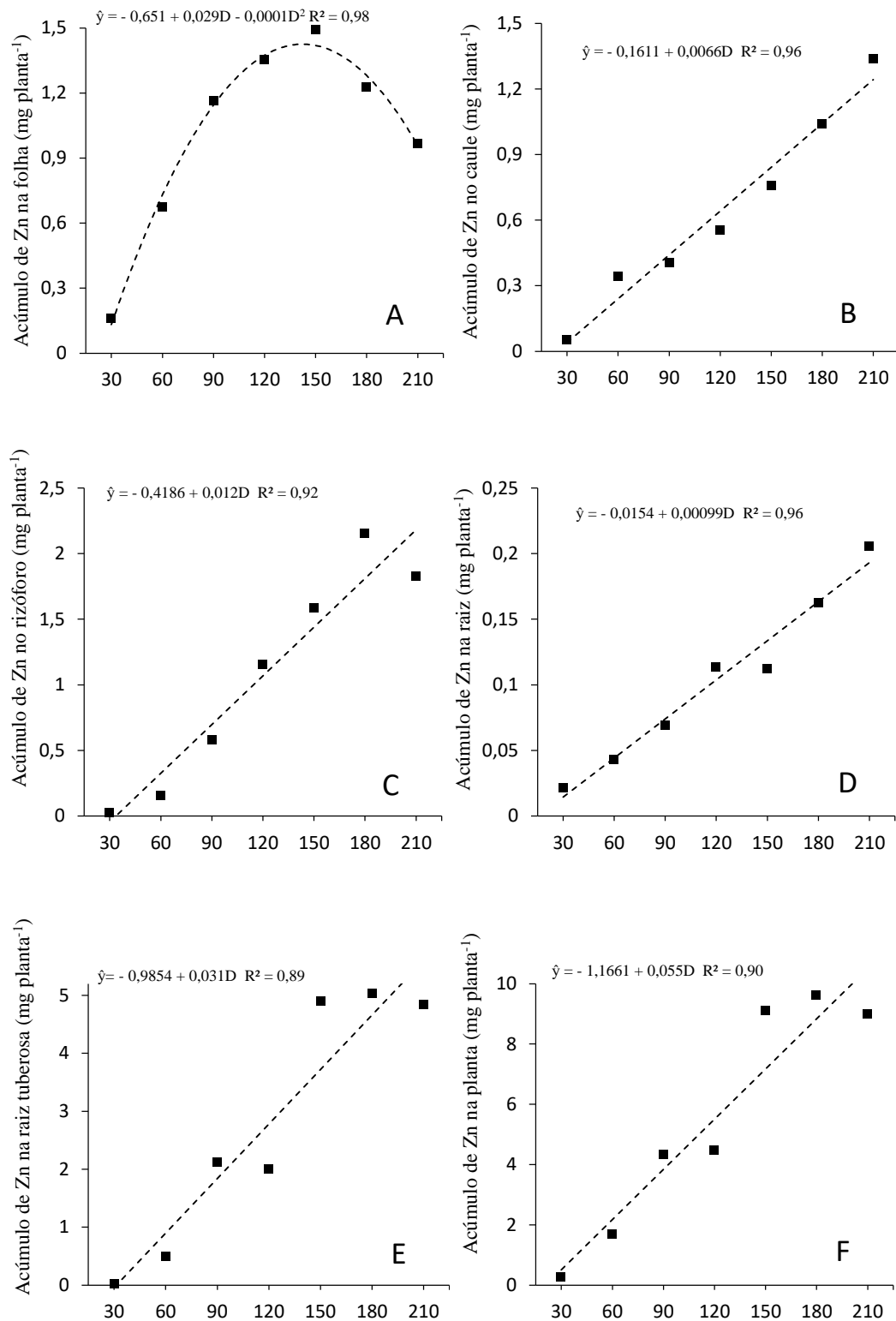


Figura 19. Acúmulo de Zn nas folhas (A), caules (B), rizóforos (C), raízes (D), raízes tuberosas (E) e na planta inteira (F) da yacon em função dos dias após o plantio (Alegre/ES 2017).

Observa-se que do total de 8,98 mg de Zn acumulados na planta aos 210 DAP, 4,64 mg foram alocados nas raízes tuberosas (52%), 1,82 mg alocados nos rizóforos (20%), 1,33 mg alocados nos caules (15%), 0,96 mg alocados nas folhas (11%) e 0,20 mg alocados nas raízes (2%) (Figura 20).

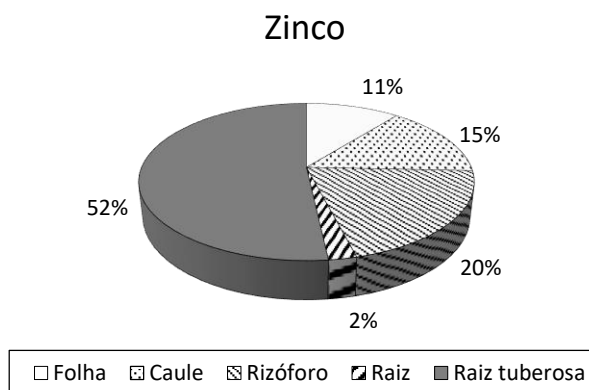


Figura 20. Proporção de Zn acumulado nos órgãos analisados da yacon aos 210 dias após o plantio (Alegre/ES 2017).

4.4 DISTRIBUIÇÃO E EXTRAÇÃO DOS NUTRIENTES PELA PLANTA

O nitrogênio foi o macronutriente mais acumulado nas folhas da yacon aos 210 DAP, com um total de 15,8 kg ha⁻¹ de N alocados nesse órgão. O segundo macronutriente mais acumulado pelas folhas da yacon foi o Ca, com um total de 14,3 kg ha⁻¹. O K foi responsável pela terceira maior taxa de acúmulo foliar, atingindo 3 kg ha⁻¹. O P e o Mg foram os macronutrientes menos acumulados nas folhas aos 210 DAP, com 1,1 e 0,6 kg ha⁻¹, respectivamente (Tabela 13). Esses resultados divergem de outros autores em outras culturas, como Furlani et al. (1978), que encontraram em folhas de olerícolas tuberosas, como a cenoura e a beterraba, as seguintes ordem acúmulo: K>N>Ca>S>Mg>P e K>N>Mg>Ca>P>S, respectivamente. Na cultura da batata doce, Echer et al. (2009), encontraram a seguinte ordem decrescente de acúmulo dos macronutrientes pelas folhas: N>K>Ca>Mg>S>P.

Para os caules, rizóforos e raízes tuberosas a ordem decrescente de acúmulo dos macronutrientes foi a mesma: Ca>N>K>P>Mg. Nas raízes aos 210 DAP a ordem de absorção dos macronutrientes teve uma pequena alteração, onde o P passou a ser menos acumulado do que o Mg, dessa forma, a ordem decrescente de acúmulo foi Ca>N>K> Mg>P.

Tabela 13. Acúmulo de nutrientes e produção de massa seca pelos órgãos da yacon aos 210 DAP (Alegre/ES 2017)

Órgão	MS (kg ha ⁻¹)	Absorção								
		(kg ha ⁻¹)					(g ha ⁻¹)			
		N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Mn	Zn
Folha	467,5	15,8	1,1	3,0	14,3	0,6	429,8	2,6	38,7	19,3
Caule	844,9	13,7	1,3	5,0	26,6	1,0	113,4	3,1	41,0	26,7
Rizóforo	4675,9	40,4	8,0	20,1	64,6	7,5	2859,9	19,6	22,1	36,4
Raiz	221,7	4,2	0,4	2,0	4,6	1,3	1020,1	1,4	4,2	4,1
Raiz tuberosa*	9610,4	97,7	22,2	76,6	156,9	15,3	1890,5	32,4	48,1	92,9
Total	15820,4	171,8	33,0	106,9	267,0	25,7	6313,7	59,1	154,1	179,4

*Exportado pela colheita das raízes tuberosas; MS= massa seca.

Em termos de extração pela colheita, o Ca foi o macronutriente mais extraído pelas raízes tuberosas, alcançando 156,9 kg ha⁻¹. O segundo macronutriente mais extraído foi o N (97,7 kg ha⁻¹) seguido pelo K, P e Mg com 76,6; 22,2 e 15,3 kg ha⁻¹, respectivamente. Esses resultados diferem dos encontrados por outros autores em outras olerícolas tuberosas, como na cultura da batata doce, na qual Echer et al. (2009) concluíram que o N foi o nutriente mais extraído, seguido pelo K, Ca, P, S e Mg. Espíndola et al. (1998) avaliando a influência da adubação verde sobre o acúmulo de N, P e K nas ramas e nas raízes tuberosas da batata-doce, concluíram que o K foi o macronutriente mais extraído, seguido pelo N e P.

As proporções de acúmulo dos macronutrientes estudados na planta de yacon aos 210 DAP podem ser observadas na Figura 21. O macronutriente mais acumulado pela planta foi o Ca (267,2 kg ha⁻¹), seguido pelo N (172,0 kg ha⁻¹), K (106,9 kg ha⁻¹), P (33,2 kg ha⁻¹) e Mg (25,9 kg ha⁻¹).

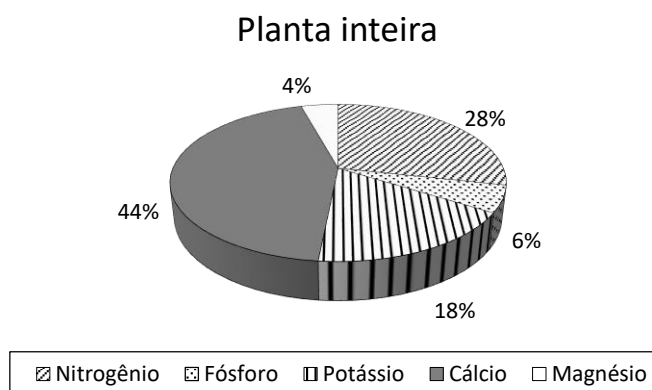


Figura 21. Proporção dos macronutrientes analisados acumulados pela yacon aos 210 dias após o plantio (Alegre/ES 2017).

O Fe foi o micronutriente mais acumulado nas folhas da yacon aos 210 DAP, com um total de 429,8 g ha⁻¹. O segundo micronutriente mais acumulados nas folhas da yacon foi o Mn, com um total de 38,7 g ha⁻¹. O Zn foi responsável pela terceira maior taxa de absorção, atingindo acúmulo foliar de 19,3 g ha⁻¹. O Cu dentre os micronutrientes estudados foi o que teve menor acúmulo nas folhas (2,6 g ha⁻¹). Esses resultados corroboram com os encontrados em outras olerícolas tuberosas por Furlani et al. (1978), que ao estudarem a marcha de acúmulo de micronutrientes nas culturas da beterraba e cenoura relataram a seguinte ordem decrescente de acúmulo, para ambas as culturas: Fe>Mn>Zn>B>Cu. Os caules e as raízes apresentaram a mesma ordem de acúmulo de micronutrientes que as folhas (Fe>Mn>Zn>Cu), já os rizóforos e as raízes tuberosas tiveram uma pequena alteração na ordem de acúmulo quando comparados aos demais órgãos da planta, sendo o Zn mais absorvido do que o Mn (Fe>Zn>Mn>Cu) (Tabela 13).

Em termos de extração pela colheita, o Fe foi o micronutriente mais extraído pelas raízes tuberosas, chegando a atingir 1.890,5 g ha⁻¹. O segundo micronutriente mais extraído foi o Zn (92,9 g ha⁻¹), seguido pelo Mn e pelo Cu com 48,1 e 92,9 kg ha⁻¹, respectivamente.

As proporções de acúmulo dos micronutrientes estudados na planta de yacon aos 210 DAP pode ser observada na Figura 22. O micronutriente mais acumulado pela planta foi o Fe, seguido pelo Zn, Mn e Cu.

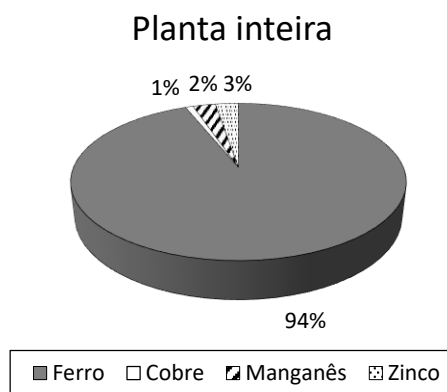


Figura 22. Proporção dos micronutrientes acumulados pela yacon aos 210 dias após o plantio (Alegre/ES 2017).

Esses resultados evidenciam que a maioria dos nutrientes absorvidos encontram-se nas raízes tuberosas, e por isso serão exportados pela colheita, tornando assim esse órgão o principal dreno de nutrientes da planta, da mesma forma que os frutos na abobreira (VIDIGAL et al., 2007), no tomateiro (FAYAD et al., 2001), e na cultura da melancia (GRANGEIRO e CECÍLIO FILHO, 2005).

Concluindo, a ordem decrescente de extração de nutrientes pela cultura da yacon verificada nesse experimento é: Ca>N>K>P>Mg>Fe>Zn>Mn>Cu. Esses resultados divergem dos encontrados por alguns autores em outras culturas, nas quais geralmente os nutrientes mais absorvidos são o N e o K, a exemplo dos resultados obtidos por Pacheco et al. (2005), que observaram maior extração de N pela planta de abóbora e por Fontes e Lima (1993), que verificaram maior extração de K por plantas de pepino.

5. CONCLUSÕES

A maior dose de adubação proporcionou maiores acúmulos de massa seca na yacon, atingindo $15,8 \text{ t ha}^{-1}$, apresentando comportamento linear indicando a necessidade de estudos com maiores doses.

A maior produtividade de raízes tuberosas também foi alcançada com 140% da dose recomendada.

Os nutrientes mais acumulados pela yacon em ordem decrescente foram: Ca ($267,2 \text{ kg ha}^{-1}$), N ($172,0 \text{ kg ha}^{-1}$), K ($106,8 \text{ kg ha}^{-1}$), P ($33,2 \text{ kg ha}^{-1}$), Mg ($28,8 \text{ kg ha}^{-1}$), Fe ($6,3 \text{ kg ha}^{-1}$), Zn ($179,6 \text{ g ha}^{-1}$), Mn ($174,2 \text{ g ha}^{-1}$) e Cu ($59,2 \text{ g ha}^{-1}$).

A época de maior demanda por nutrientes pela yacon foi a segunda metade do ciclo, época também de maior acúmulo de massa seca nas raízes tuberosas.

6. REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, E.N.; ROLIM, P.M. Potencialidades do yacon (*Smallanthus sonchifolius*) no diabetes Mellitus. **Revista Ciências Médicas**, v.20, n.3-4, p.99-108, 2011.
- AMAYA, J.E.; CÂMARA, F. Efectos de dosis crescentes de nitrógeno y potasio en la calidad y productividad de yacon (*Polymnia sonchifolia* Poep. & Endl) In: SIMPOSIO LATINOAMERICANO DE RAICES Y TUBERCULOS, II, 2001, Universidad Nacional Agraria La Molina. **Anais...Lima/Perú: Centro Internacional de la Papa (CIP)**, 2001.
- BORGES, I. D. **Marcha de absorção de nutrientes e acúmulo de matéria seca em milho**. 168 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.
- BRANDÃO, C. C.; ASQUIERI, E. R.; ATTARAN, S.; DAMIANI, C. Study of the aging of fermented of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) and sensory profile and acceptance. **Food Science And Technology**, [s.l.], v. 34, n. 2, p.332-340, 2014.
- BÜLL, L. T. Nutrição mineral do milho. In: Bull, L. T., Cantarella, H (Eds.). **Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba. p.63-145, 1993.
- CABALCETA, G.; SALDIAS, M. e ALVARADO, A. Absorción de nutrientes en el cultivar de papa MNF-80. **Agronomica Costarricense**, v. 29, p. 107-123, 2005.
- CAMPOS, D; BETALLELUZ-PALLARDEL, I.; CHIRINOS, R.; AGUILAR-GALVEZ, A.; NORATTO, G.; PEDRESCHI, R. Prebiotic effects of yacon (*Smallanthus sonchifolius* Poepp. e Endl), a source of fructooligosaccharides and phenolic compounds with antioxidant activity. **Food Chemistry**, v. 135, p. 1592–1599, 2012.
- CEASA-ES. Centrais de Abastecimento do Espírito Santo. 2017. Disponível em: <http://www.ceasa.es.gov.br/>. Acesso em: 20 de jun. 2017.
- COELHO, A. M. Fertirrigação. In COSTA, E. F.; VIEIRA, R. F.; VIANA, P. A. (Ed). **Quimigação**. Brasília: EMBRAPA, Serviço de Produção de Informação, p. 201-228, 2004.

- DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Micronutrientes. In: FERNANDES, M. S. (Eds.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p. 328-352, 2006.
- DIP, M. R.; MACHADO, M. R.; OLIVEIRA, D. M. T. Estruturas secretoras de órgãos vegetativos de yacon (*Polymnia sonchifolia* – Asteraceae). In: CONGRESSO LATIONAMERICANO DE RAÍZES TROPICAIS I e CONGRESSO BRASILEIRO DE MANDIOCA, 9, São Pedro, 1996. s.p.(resumo 25).
- ECHER, F. R.; DOMINATO, J. C.; CRESTE, J. E. Absorção de nutrientes e distribuição da massa fresca e seca entre órgãos de batata-doce. **Horticultura Brasileira**, Campinas, v. 27, n. 2, p. 176-182, 2009.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA - EMBRAPA. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos**. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 306 p. 2006.
- ESPINDOLA, J. A. Z.; ALMEIDA, D. L.; GUERRA, J. G. M.; SILVA, E. M. R.; SOUZA, F. A. Influência da adubação verde na colonização micorrízica e na produção de batata-doce. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 33, p. 339-347, 1998.
- FAQUIN, V. **Diagnose do estado nutricional das plantas**. 77 f. Curso de Pós -Graduação “Lato Sensu” à distância. (Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas no Agronegócio). – Fundação de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Extensão, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2002.
- FAYAD, J. A.; FONTES, P. C. R.; CARDOSO, A. A.; FINGER, L. F.; FERREIRA, F. A. Crescimento e produção do tomateiro cultivado sob condições de campo e de ambiente protegido. **Horticultura brasileira**. v. 19, p. 365-370, 2001.
- FERREIRA, D. F. Sisvar – Sistema de análise de variância para dados balanceados. Lavras: UFLA, 19 p, 1998.
- FERREIRA, M. E.; CASTELLANE, P. D.; CRUZ, M. C. P. **Nutrição e adubação de hortaliças**. Simpósio sobre nutrição e adubação de hortaliças, Jaboticabal-SP: Potafos. 480 p, 1990.

- FONTES, R. R.; LIMA J. A. Nutrição mineral e adubação do pepino e da abóbora. In: FERREIRA M. E.; CASTELLANE, P. D.; CRUZ M. C. P. **Nutrição e adubação de hortaliças**. Jaboticabal-SP: Potafos, p. 281-300, 1993.
- FURLANI, A. M. C.; FURLANI, P. R.; BATAGLIA, O. C.; HIROCE, R.; GALLO, J. R.; BERNARDI, J. B.; FORNASIER, J. B.; CAMPOS, H. R. Composição mineral de diversas hortaliças. **Bragantia**. V.37, p. 33-44, 1978.
- FURLANI, A. M. G. Nutrição Mineral. In: KERBAUY, G. B. **Fisiologia Vegetal**, Rio de Janeiro: Guanabara Kooga S.A., p. 40-75, 2004.
- GENTA, S. B.; CABRERA, W. M.; GRAU, A.; SÁNCHEZ S. S. Subchronic 4- month oral toxicity atudy of dried *Smallanthus sonchifolius* (yacon) roots as a diet supplement in rats. **Food and Cheminal Toxicology**, v. 43, p. 1657-1665, 2005.
- 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**, v 185. p. 143-152, 2010.
- GRANGEIRO, L. C.; CECÍLIO FILHO, A. B. Acúmulo e exportação de macronutrientes em melancia sem sementes. **Horticultura brasileira**. v. 23, p. 763-767, 2005.
- GRAU, A.; KORTSARZ, A. M. El retorno del yacon. **Ciencia Hoy**, v.11, n.63, 2001.
- GRAU, A.; REA, J. Yacon *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. e 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, p. 199- 256, 1997.
- GUSSO A. P; MATTANNA P; RICHARDS N. Yacon: benefícios à saúde e aplicações tecnológicas. **Ciência Rural**. v. 45(5), p. 912-919, 2015.
- HABIB, N. C.; HONORÉ, S. M.; GENTA, S. B.; SÁNCHEZ, S. S. Hypolipidemic effect of *Smallanthus sonchifolius* (yacon) roots on diabetic rats: Biochemical approach. **Chemico-Biological Interactions**, v. 194, p. 31-39, 2011.
- 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).
- KAKUTA, H.; SEKI, T.; HASHIDOCO, Y.; MIZUTANI, J. Ent-kaurenic acid and its related compounds from glandular trichoma exudate and leaf extracts of *Polymnia sonchifolia*. **Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry**, v.56, n.10, p.1562-64, 1992.
- KRUGER, F. G. Q. **Adubação mineral, orgânica e biodinâmica de yacon (*Polymnia sonchifolia* POEP & ENDL): rendimento, qualidade e armazenamento.** 2003. 226 f. Tese de Doutorado. (Tesis Doctoral). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho. Botucatu, SP- Brasil, 2003.
- LACHAN, L.; HAVRLAND, B.; FERNANDES, E. C.; DUDJAK, D. Saccharides of yacon [*Smallanthus sonchifolius* (Poepp. et Endl.) H. Robinson] tubers and rhizomes and factors affecting their content. **Plant soil environment**, Czech Republic, v.50, n.9, p.383-390, 2004.
- LIMA, L. A; ZANIN, A. C. W.; MISCHAN, N. M. Acúmulo de matéria seca e de nutrientes por plantas de mandioquinha-salsa colhida dos nove aos doze meses de plantio. **Horticultura Brasileira**. v. 3, p. 76, 1985.
- MACEDO JUNIOR, E. K. **Crescimento e produtividade de pepino (*Cucumis sativus* L.) enxertado e não enxertado, submetido à adubação convencional em cobertura e fertirrigação, em cultivo protegido.** 1998. 129p. Tese (Doutorado em Horticultura), Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu. 1998.
- MACEDO, M. C. M.; HAAG, H. P.; GALLO, J. R. Nutrição mineral de hortaliças. XXI Absorção de nutrientes por cultivares nacionais de batatinha (*Solanum tuberosum* L.). **Anais da ESALQ**, v.34, n.1, p.179-229, 1977.
- MACHADO, S. R.; OLIVEIRA, D. M. T.; DIP, M. R.; MENEZES, N. L. Morfoanatomia do sistema subterrâneo de *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. e Endl.) H. Robinson (Asteraceae). **Revista Brasileira Botânica**, Botucatu, v.27, n.1, p.115-123, 2004.
- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas.** São Paulo: Agronômica Ceres, 638 p. 2006.

- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, A. S. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**, 2 ed. Piracicaba, Potafos. 319 p, 1997.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 3 ed. London: Academic Press, 651 p, 2012.
- MESQUITA FILHO, M. V.; SOUZA, A. F. SILVA, H. R.; SANTOS, F. F.; OLIVEIRA, A. S. Adubação nitrogenada e fosfatada para a produção comercializável de mandioca salsa em Latossolo Vermelho-Amarelo. **Horticultura Brasileira**. v. 14, p. 2, 1996.
- MONTIEL, V. N. **El cultivo de yacon**. Lima, Perú: Instituto Nacional de Investigación Agraria – Boletín Técnico, n.35, p.19-20, 1996.
- MOURA, N. A.; CAETANO, B. F. R.; SIVIERI, K.; HUBANO, L. H.; CABELLO, C.; RODRIGUES M. A. M.; BARBISAN, L. F. Protective effects of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) intake on experimental colon carcinogenesis. **Food and Chemical Toxicology**, v.20, p.2902-2910, 2012.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Lost crops of the incas: little-known plants of the Andes with promise for worldwide cultivation**. Washington: Academy Press, 415 p, 1989.
- OLIVEIRA, G. O.; BRAGA, C. P.; FERNANDES, A. A. H. Improvement of biochemical parameters in type 1 diabetic rats after the roots aqueous extract of yacon (*Smallanthus sonchifolius*). **Food and Chemical Toxicology**, v.59, p.256-260, 2013.
- 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**. v.7, p. 215-220, 2004.
- OLIVEIRA, T. **Classificação de batata yacon na CEAGESP**. Boletim do Centro de Qualidade, Pesquisa e Desenvolvimento da CEAGESP, SP, v.1, n. 4, 2016.
- ORTIZ, C. E.; ORENCO-SANTIAGO, E.; ACIM, N. M. Estimate of macronutrient uptake by arracacha at harvest. San Juan: University of Puerto Rico. 7 p, 1998.
- PACHECO, D. D.; VIDIGAL, S. M.; MOREIRA, S. A. F.; SOUZA, F. V.; LIMA, L. M. S.; MARTINS, F. G; DIAS, W. O. B.; MOREIRA, L. L. Q. Crescimento e marcha de absorção de macronutrientes para abóbora híbrida cultivada em casa de vegetação. In:

- CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 45. **Anais...** Fortaleza: ABH. 2005.
- PEZZOPANE, J. E. M.; CASTRO, F. S.; PEZZOPANE, J. R. M.; CECÍLIO R. A. Agrometeorologia: aplicações para o Espírito Santo. CAUFES, Alegre, ES. 2012.
- PIMENTA, A. R. O.; SALOMÃO, K. C.; SILVA, A. G.; RIBEIRO, L. F. Plantar sem matar para comer sem morrer – o cultivo orgânico de plantas medicinais em Santa Maria de Jetibá, Espírito Santo, sudeste do Brasil. **Natureza online**. v.7 (1), p. 43-50, 2009.
- PRADO, R. M.; NASCIMENTO, V. M. Manejo da adubação do cafeeiro no Brasil. 1. Ed. Ilha Solteira: FEIS/UNESP, 273 p. 2003.
- PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo: A agricultura em regiões tropicais**. São Paulo: Nobel, 549 p. 2002,
- RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres, Potafos. 343p. 1991.
- SANTANA, I.; CARDOSO, M. H. Raiz tuberosa de yacon (*Smallanthus sonchifolius*): potencialidade de cultivo, aspectos tecnológicos e nutricionais. **Ciência Rural**, v. 38, 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), 60p. 2003.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.
- TOSTES, M. G. V.; VIANA, M. L.; GRANCIERI, M.; LUZ, T. C. S.; PAULA, H.; PEDROSA R. G.; COSTA, N. M. B. Yacon effects in immune response and nutritional status of iron and zinc in preschool children. **Nutrition**, v.9142, p.666- 672, 2014.
- VIDIGAL, S. M.; PACHECO, D. D.; FACION, C. E. Crescimento e acúmulo de nutrientes pela abóbora híbrida tipo Tetsukabuto. **Horticultura Brasileira**. v. 25, p. 375-380, 2007.

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

VILHENA S. M. C.; CÂMARA, F. L. A. Produção de raízes e tubérculos de yacon (*Polymnia sonchifolia*) em função da adubação nitrogenada em cobertura. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE RAÍZES TROPICAIS, 1, CONGRESSO BRASILEIRO DE MANDIOCA, 9, 1996, São Pedro. **Anais...** Botucatu: Centro de Raízes Tropicais, sociedade Brasileira de Mandioca. (Área Fitotecnia), 118p. 1996.

VITTI, G. C.; LIMA, E.; CICARONE, F. Calcio, Magnésio e enxofre. In: FERNANDES, M. S. (Ed.) **Nutrição Mineral de Plantas**. Sociedade Brasileira Ciência de Solo, p.298-325, Viçosa, 2006.