

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA,
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

Paula de Souza Cardoso

**CRESCIMENTO, DESENVOLVIMENTO E PRODUTIVIDADE DE
MANDIOCA EM FUNÇÃO DA ADUBAÇÃO E MANEJO DE PLANTAS
DANINHAS**

Santa Maria, RS

2021

Paula de Souza Cardoso

**CRESCIMENTO, DESENVOLVIMENTO E PRODUTIVIDADE DE
MANDIOCA EM FUNÇÃO DA ADUBAÇÃO E MANEJO DE PLANTAS
DANINHAS**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação Profissional em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), como requisito parcial para obtenção do título **Mestre em Engenharia Agrícola.**

Orientador: Prof. Dr. Alencar Junior Zanon

Santa Maria, RS

2021

Cardoso, Paula de Souza
CRESCIMENTO, DESENVOLVIMENTO E PRODUTIVIDADE DE
MANDIOCA EM FUNÇÃO DA ADUBAÇÃO E MANEJO DE PLANTAS
DANINHAS / Paula de Souza Cardoso.- 2021.
54 p.; 30 cm

Orientador: Alencar Junior Zanon
Coorientador: Nereu Augusto Streck
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós
Graduação em Engenharia Agrícola, RS, 2021

1. Mandioca 2. Fertilidade 3. Plantas Daninhas 4.
Início de acumulação de amido 5. Produtividade de raízes
de mandioca I. Junior Zanon, Alencar II. Augusto Streck,
Nereu III. Título.

Paula de Souza Cardoso

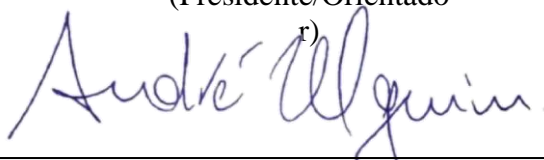
**CRESCIMENTO, DESENVOLVIMENTO E PRODUTIVIDADE DE
MANDIOCA EM FUNÇÃO DA ADUBAÇÃO E MANEJO DE
PLANTAS DANINHAS**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação Profissional em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), como requisito parcial para obtenção do título **Mestre em Engenharia Agrícola**.

Aprovada em 11 de fevereiro de 2021:



Alencar Junior Zanon, Dr. (UFSM) - Videoconferência
(Presidente/Orientado)



André da Rosa Ulguim, Dr. (UFSM) – Videoconferência



**Luana Fernandes Tironi, Dr^a. (EMATER/Ascar-RS) -
Videoconferência**

Santa Maria, RS.
2021

DEDICATÓRIA

A toda minha família, em especial aos meus pais, por sempre terem me mostrado o melhor caminho a seguir, e que os estudos sempre são a melhor opção, mesmo não tendo as mesmas oportunidades na qual eu tive, sempre me incentivaram e me apoiaram.

AGRADECIMENTOS

À Deus por me guiar sempre nas melhores escolhas, e estar presente me mostrando sempre o melhor caminho com tranquilidade e calma.

À Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola pela oportunidade de ter realizado o Mestrado.

Aos meus pais Mario e Elisabeth que sempre foram incansáveis para me proporcionar minhas realizações, me mantendo calma e tranquila, são meus alicerces para superar quaisquer obstáculos.

Ao meu orientador Alencar Junior Zanon pela oportunidade de ingresso no curso de mestrado, todo apoio e orientações nesses dois anos e meio, me mantendo tranquila para as melhores escolhas, um exemplo a ser seguido. Gratidão pelo melhor orientador que eu tive.

Às minhas irmãs Laura e Patrícia por segurar os alicerces nos meus momentos de ausência e aos meus sobrinhos por serem minha luz de felicidade.

Ao meu namorado Estevan que esteve presente nessa trajetória auxiliando sempre no que foi preciso, com muita calma e paciência.

Aos colegas da Equipe Simanihot e FieldCrops pela acolhida incrível que eu tive, em especial aos que me ajudaram diretamente Gilmara Peripolli, Alexandre Alves, Charles Patrick, Eduardo Friderich, Moises Nascimento, Anderson Hass e aos demais, muito obrigada.

Às minhas amigas Bruna Lago e Gilmara por serem incansáveis ao meu lado, transmitindo tranquilidade e uma amizade verdadeira, me deixando firme nos meus objetivos.

À minha vó e minha prima irmã Liziane por todos os dias estarem comigo mesmo que virtualmente.

Aos meus anjos da guarda in memoriam vô Derocy e a vó Vani, sempre estão juntos a mim, são 19 anos que caminham lado a lado e sinto-os presentes todos os dias.

À Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural - Emater/RS-ASCAR, em especial ao Luiz Fernando de Oliveira e a Luana Tironi, exemplos a serem seguidos.

A todos que diretamente ou indiretamente contribuíram para que esse sonho seja realizado, minha gratidão eterna.

RESUMO

CRESCIMENTO, DESENVOLVIMENTO E PRODUTIVIDADE DE MANDIOCA EM FUNÇÃO DA ADUBAÇÃO E MANEJO DE PLANTAS DANINHAS

AUTOR: Paula de Souza Cardoso
ORIENTADOR: Alencar Junior Zanon

O aumento da população mundial, que poderá exceder 10 bilhões em 2050, exigirá a produção de alimentos de baixo custo e fácil produção. Em virtude disso, a mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) foi eleita pela ONU a cultura do século XXI. O objetivo desse estudo foi verificar a influência da adubação e o período de controle de plantas daninhas no crescimento e desenvolvimento da cultura da mandioca, e determinar um indicador morfológico para identificar o início da acumulação de amido (IAA) e a produtividade em cultivares de mandioca. Foram realizados dois estudos, o primeiro foi conduzido em lavouras de mandioca em Ibarama e Santa Maria no Rio Grande do Sul em 2018/2019 representando as práticas de manejo realizadas pelos agricultores como a quantidade de fertilizantes e o controle de plantas daninhas. O segundo estudo foi realizado em Santa Maria nos anos agrícolas 2018/2019 e 2019/2020 com o objetivo de determinar o número de folhas no início de acumulação de amido e a produtividade de sete cultivares registradas e não registradas de mandioca. A produtividade de raízes tuberosas quando realizado a adubação e controle de plantas daninhas foi de 43,5 Mg ha⁻¹, atingindo 80% do potencial de produtividade, além do aumento no acúmulo de matéria seca de parte área em 50%. O IAA pode ser identificado pelo indicador morfológico número de folhas, variando de 24 folhas na cultivar IAC 576 até 33 folhas na cultivar Fepagro RS13.

Palavras-chaves: *Manihot esculenta* Crantz. Fertilidade. Capinas. IAA. Produtividade

ABSTRACT

GROWTH, DEVELOPMENT AND YIELD OF CASSAVA AS A FUNCTION OF FERTILIZATION AND WEED MANAGEMENT

AUTHOR: Paula de Souza Cardoso

ADVISOR: Alencar Junior Zanon

The increase in the world population, which may exceed 10 billion in 2050, will require low-cost and easy production. As a result, cassava (*Manihot esculenta* Crantz) was chosen by the UN as the 21st century crop. The objective of this study was to verify the influence of fertilization and the period of weed control on the growth and development of the cassava crop, and to determine a morphological indicator to identify the beginning of starch accumulation (BSA) and the yield in cassava cultivars. Two studies were carried out, the first was conducted in cassava field in Ibarama and Santa Maria in Rio Grande do Sul in 2018/2019 representing the management practices carried out by farmers such as the fertilizer amount and weed control. The second study was carried out in Santa Maria in the 2018/2019 and 2019/2020 growing season in order to determine the number of leaves at the beginning of starch accumulation and the yield of seven registered and unregistered cassava cultivars. The yield of tuberous roots when fertilizing and controlling weeds was 43.5 Mg ha⁻¹, reaching 80% of the yield potential, besides of the 50% increase the accumulation in shoot dry matter. BSA can be identified by the morphological indicator number of leaves, ranging from 24 leaves in IAC 576 cultivar to 33 leaves in Fepagro RS13 cultivar.

Keywords: *Manihot esculenta* Crantz. Fertility. Weeding. BSA. Productivity.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

CAPÍTULO 1

- Figura 1 - Accumulated monthly rainfall (mm), average maximum and minimum temperatures (°C) and average global solar radiation flux density (MJ m⁻² day) from October / 2018 to May/2019 in Ibarama, RS, Brazil (A) and Santa Maria, RS, Brazil (B). Source: INMET, 2019..... 34
- Figura 2 - Produtividade de raízes e de hastes de mandioca da cultivar Vassourinha e a produtividade simulada de raízes (PP) estimada através do modelo Simanihot na safra 2018/2019, para Ibarama, RS 36

CAPÍTULO 2

- Figura 1 - Precipitação mensal acumulada (mm), temperaturas máxima e mínima (°C) e radiação solar média (MJ m⁻² dia⁻¹) em Santa Maria/RS durante o período de outubro/2018 (A) e outubro/2019 a junho/2020 (B) Fonte Instituto Nacional de Meteorologia 43
- Figura 2 - Relação entre o diâmetro de raiz (mm) e o número de folhas na haste principal no início de acumulação de amido nas cultivares registradas BRS 396 (A), BRS 399 (B), IAC 576 (C), Fepagro RS13 (D) durante a safra 2018/2019 e Fepagro RS13 (E) na safra 2019/2020 em Santa Maria, RS, Brasil 44
- Figura 3 - Relação entre diâmetro de raiz (mm) e o número de folhas na haste principal no início de acumulação de amido nas cultivares não registradas Aceguá (A), Frita (C) e Vassourinha (D) na safra 2018/2019, e Aceguá (B) e Vassourinha (E) na safra 2019/2020 em Santa Maria, RS, Brasil 45
- Figura 4 - Produtividade de raízes de mandioca, expressa em massa fresca (Mg ha⁻¹) em sete cultivares em 2018/2019 (A) e 2019/2020 (B) no experimento conduzido em Santa Maria, RS, Brasil 47

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

Tabela 1 -	Soil chemical properties, in the 0-20cm layer, at the locations where the experiment took place in Ibarama and Santa Maria, RS, Brazil.....	32
Tabela 2 -	Management practices used in the South of Brazil that make up the T1 (high technological level), T2 (medium technological level) and T3, T4 and T5 (low technological level) treatments used in the experiments conducted in Ibarama and Santa Maria, RS, Brazil.....	33
Tabela 3 -	Productivity in dry mass ($Mg\ ha^{-1}$) of cassava leaves, stems and roots of the Vassourinha cultivar at different stages of development and depending on management practices in experiments conducted in Ibarama and Santa Maria, RS, Brazil, in the 2018/2019 agricultural year.....	35
Tabela 4 -	Comparison of the average cassava roots yield of the Vassourinha cultivar ($Mg\ ha^{-1}$) between treatments that do not apply herbicide (T2, T3, T4 and T5) and treatment T1 (apply pre-emergent herbicide) - Contrast C1 ; treatments that do not apply fertilizer (T4 and T5) and the treatment that applies the entire fertilization recommendation (T1) - Contrast C2; treatments that apply half the recommended dose of fertilizer (T2 and T3) and treatments that do not apply fertilizer (T4 and T5) - Contrast C3; and treatments using 3 weedings (T1, T2 and T4) and treatments using one or two weedings (T3 and T5) - Contrast C4, for Ibarama-RS, Brazil in the 2018/2019 harvest.....	37

CAPÍTULO 2

Tabela 1 -	Número de folhas na haste principal em que ocorre o início de acumulação de amido em sete cultivares de mandioca obtidos a partir das equações de regressão entre o diâmetro de raízes e o número de folhas para as cultivares registradas (BRS 396, BRS 399, IAC 576, Fepagro RS13) e não registradas (Aceguá, Frita, Vassourinha) durante os anos agrícolas 2018/2019 e 2019/2020 em Santa Maria, RS, Brasil	46
------------	--	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Objetivo Geral.....	13
1.2	Objetivos específicos.....	13
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1	A CULTURA DA MANDIOCA.....	13
2.2	ADUBAÇÃO.....	14
2.3	CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS.....	15
2.4	POTENCIAL DE PRODUTIVIDADE	16
2.5	INÍCIO DA ACUMULAÇÃO DE AMIDO	16
2.6	CULTIVARES	17
3	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	18
3.1	CAPÍTULO 1 – O MANEJO DE PLANTAS DANINHAS E ADUBAÇÃO LIMITAM A PRODUTIVIDADE POTENCIAL DE MANDIOCA EM AMBIENTE SUBTROPICAL	18
3.2	CAPÍTULO 2 – INÍCIO DE ACUMULAÇÃO DE AMIDO E PRODUTIVIDADE DE RAÍZES EM CULTIVARES DE MANDIOCA REGISTRADAS E NÃO REGISTRADAS.	38
4	DISCUSSÃO	50
5	CONCLUSÃO.....	51
6	REFERÊNCIAS.....	52

1 INTRODUÇÃO

A cultura da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) foi eleita a cultura do século XXI (FAO, 2013), por ser um dos principais alimentos energéticos em países em desenvolvimento, na América do Sul, África e Ásia. Estima-se que em 30 anos a população mundial aumentará em 2 bilhões de habitantes, aumentando em 50 a 70% a demanda por alimentos (ONU, 2019). Nesse contexto, intensifica a necessidade em produzir alimentos menos exigentes em insumos. A mandioca é um alimento que apresenta elevada concentração de carboidratos nas raízes, e sua parte aérea é rica em proteína, sendo aproveitada para alimentação humana e animal (FAO, 2013).

A produtividade da cultura da mandioca no Brasil é de 14,70 Mg ha⁻¹ (IBGE, 2019), sendo o quinto maior produtor mundial, ficando abaixo da Nigéria, República Democrática do Congo, Tailândia e Indonésia (FAO, 2019). No Brasil, e principalmente no Rio Grande do Sul (RS), a agricultura familiar é a principal responsável pela produção de mandioca, com destino para subsistência e consumo animal. As lavouras de mandioca normalmente são cultivadas em solos com baixa fertilidade, muitas vezes com pouca ou nenhuma aplicação de fertilizantes (TIRONI et al., 2019). A produtividade das lavouras de mandioca encontra-se abaixo do potencial produtivo da cultura que é de aproximadamente 60 Mg ha⁻¹ (BORGES et al., 2020). Produtividades menores que o potencial da cultura estão relacionadas com práticas de manejo ineficientes, por exemplo, controle tardio de plantas daninhas, baixa densidade de plantio e não correção da fertilidade dos solos (FERMONT et al., 2009; ALBUQUERQUE et al., 2014; EZUI et al., 2016).

O Brasil possui mais de 4500 acessos de mandioca, chamado de cultivares e no Rio Grande do Sul são cultivadas atualmente 90 a 100 acessos (TIRONI et al., 2019). Os acessos são classificados em relação ao teor de ácido cianídrico apresentado em suas raízes, e são definidas em mandioca mansa e brava (amarga ou venenosa). Além disso, as cultivares mansas são classificadas em forrageira, indústria e em mesa. As de mesa, são caracterizadas por fácil descascamento e tempo curto de cozimento. As forrageiras apresentam maior crescimento de parte aérea. As de indústria possuem aumento de produção e alto teor de amido. O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) possui o registro nacional de todas as cultivares de mandioca plantadas no Brasil.

O início de acumulação de amido (IAA) é o estágio de desenvolvimento no qual ocorre o início de translocação dos fotoassimilados para as raízes. Neste estágio, a planta requer práticas de manejo para alcançar altas produtividades da cultura, como a ausência de

competição com plantas daninhas e adubação nitrogenada em cobertura (TIRONI et al., 2019). Schons et al., (2007) identificaram que o IAA ocorre na cultivar FEPAGRO RS 13 quando as plantas apresentam 21 folhas na haste principal, porém este experimento foi realizado em vasos, não representando a realidade das lavouras de mandioca no Brasil. Sendo assim, são necessários estudos para identificar o número de folhas associado ao IAA, a nível de lavoura, nas principais cultivares utilizadas pelos agricultores no Sul do Brasil, com o objetivo de fornecer informações que aumentem a eficiência no uso de recursos e forneçam informações práticas para extensionistas e agricultores.

1.1 Objetivo Geral

Verificar a influência do uso de fertilizantes e o período de controle de plantas daninhas no crescimento e desenvolvimento da cultura da mandioca, e determinar um indicador morfológico para identificar o IAA e a produtividade em cultivares de mandioca.

1.2 Objetivos específicos

1. Avaliar a resposta ao uso de fertilizantes e períodos de controle de plantas daninhas no acúmulo de matéria seca de folhas, hastes e raízes e na produtividade de massa fresca de raízes de mandioca.
2. Identificar um indicador morfológico baseado em número de folhas acumuladas na haste principal para o início de acumulação de amido e avaliar a produtividade de massa fresca de raízes de sete cultivares de mandioca.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A CULTURA DA MANDIOCA

Originária da América do Sul, a mandioca, é uma planta nativa do Brasil sendo transportada pelos portugueses durante os séculos XVI e XVII para a África, Ásia e Caribe (FADUNDES et al., 2009). Pertence à família Euphorbiaceae, é um arbusto perene propagado vegetativamente utilizando-se pedaços de caule denominados manivas, hábito indeterminado e

a estrutura morfológica pode diferir de acordo com a cultivar. Com relação à parte aérea, apresentam o caule ereto (monopodial), caule ramificado com inflorescência (simpódio) em duas, três ou quatro hastes (LAGO et al., 2011; TIRONI et al., 2015). O crescimento e o desenvolvimento da cultura da mandioca são influenciados pela temperatura, fotoperíodo, radiação solar e disponibilidade hídrica. Temperaturas abaixo de 16°C podem promover atraso da brotação das manivas, reduzindo o peso seco das raízes e a taxa de crescimento foliar (ALVES et al., 2002; ALVES et al., 2006), e temperaturas acima de 37°C inibem a brotação.

A mandioca é considerada um dos principais alimentos energéticos, especialmente nos países em desenvolvimentos, onde é cultivada em pequenas áreas e com baixo nível tecnológico. Além da alimentação humana, a mandioca é utilizada na alimentação animal e como matéria prima para diversos produtos agroindustrializados (BIRATU et al., 2018). As folhas são comestíveis, ricas em vários nutrientes, principalmente proteínas, chegando a ter 28% de proteína bruta (VALANDRES FILHO et al., 2006). As raízes são uma importante fonte de carboidratos e as folhas são ricas em proteínas, vitaminas, minerais além de outros nutrientes. A raiz é constituída essencialmente por amido, fibra alimentar, proteínas, lipídios e minerais como potássio, cálcio, fósforo, sódio e ferro (JERUMETH et al., 2018; SOUZA et al., 2008). O amido é a fonte mais importante de carboidratos na alimentação humana, representando cerca de 80 a 90% de todos os polissacarídeos da dieta com grande valor nutricional.

A mandioca é cultivada em todas as regiões do Brasil por ser uma espécie rústica e por apresentar desempenho satisfatório em condições de solos com baixa fertilidade. A época de plantio da mandioca varia entre as regiões do Brasil, sendo de extrema importância para o bom desenvolvimento da cultura e seu rendimento. A época adequada para o plantio da mandioca deve coincidir com o final da estação chuvosa e temperatura superior a 17 °C para garantir a brotação das manivas e o desenvolvimento inicial das plantas. No Rio Grande do Sul conforme o zoneamento agrícola a época de plantio é de 11 de agosto à 31 de novembro, porém há um decréscimo do potencial de produtividade a partir do dia 11 de setembro de 282 kg ha dia⁻¹ (BORGES et al., 2020)

2.2 ADUBAÇÃO

A produtividade média de raízes tuberosas de mandioca foi de 14,7 Mg ha⁻¹ em 2019 (IBGE, 2019) no Brasil, ou seja, quase quatro vezes menor que o potencial produtivo da cultura (BORGES et al., 2020). Um dos fatores que causam a baixa produtividade de raízes está relacionada à baixa quantidade de fertilizante investido na produção de mandioca, além da

cultura já ser cultivada principalmente em áreas com baixa fertilidade natural (ALVES et al., 2006). A produção da mandioca está vinculada ao acúmulo de reservas nas raízes das plantas. Para que ocorra esse acúmulo de amido é necessário que a planta esteja bem nutrida, pois a falta de nutrientes irá reduzir o crescimento e desenvolvimento da planta (STRECK et al., 2014).

A cultura da mandioca extrai grande quantidade de nutrientes do solo e, em função disto, a presença de nutrientes, em quantidades adequadas, favorece o aumento na produtividade (RÓS et al., 2013; THOMÁS et al., 2016). Diante dessa importância e escassez de trabalhos na literatura, torna-se necessário estudar o efeito da adubação na produtividade de raízes e parte aérea. As maiores respostas da mandioca à adubação têm sido alcançadas com a aplicação de fósforo, potássio, nitrogênio e zinco (CATHERINE, 2018). A resposta da mandioca à adubação depende das condições do solo, quando cultivada em solos com fertilidade média a alta, normalmente, há pouca ou nenhuma resposta à adubação, enquanto, em solos com baixa fertilidade, há aumento de produtividade com o uso de fertilizantes (RÓS et al., 2013; THOMÁS et al., 2016). Em média, para uma produção de 25 Mg ha⁻¹ de raízes de mandioca são extraídos 123 kg de nitrogênio (N), 146 kg de potássio (K), 27 kg de fósforo (P), 46 kg de cálcio (Ca) e 20 kg de magnésio (Mg) (MATTOS et al., 2003; CARDOSO et al., 2003). O potássio, nitrogênio e o fósforo são os três nutrientes mais importantes para a acumulação de amido da mandioca (ODEDINA et al., 2015).

2.3 CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS

O controle de plantas daninhas é um dos principais fatores de manejo em uma lavoura de mandioca, a competição por plantas daninhas pode causar perdas de até 96% na produtividade (PERESSIN et al., 2013). Entre os períodos críticos de interferência estão o período anterior à interferência (PAI), período total de prevenção à interferência (PTPI) e o período crítico de prevenção à interferência (PCPI) fica entre os limites superiores do PAI e do PTPI, onde o produtor deve realizar algum controle das invasoras para evitar perdas na produtividade da cultura (FONTES et al., 2014). A mandioca apresenta crescimento inicial lento e é cultivada em espaçamentos maiores, variando de 0,8m a 1,5m, e dependendo das condições climáticas demora em torno de até 4 meses para o fechamento da entrelinha, o que favorece crescimento das plantas daninhas.

A produtividade de raiz de mandioca depende do método (intensidade) de controle de plantas daninhas durante o período de crescimento e o intervalo entre um controle e outro (KANTCHÉ et al., 2017). A concorrência das plantas daninhas nos primeiros 60 dias reduz pela

metade a produção de raízes, após este período, pelo crescimento da cultura acontece o sombreamento, reduzindo, assim, a capacidade vegetativa das plantas invasoras (NASCIMENTO et al., 2017).

2.4 POTENCIAL DE PRODUTIVIDADE

Modelos matemáticos são ferramentas que proporcionam descrever interações entre a planta e o ambiente, quanto ao crescimento, desenvolvimento e produtividade da cultura. Esses modelos devidamente adaptados e testados permitem auxiliar extensionistas e produtores para a escolha do manejo adequado (STRECK et al., 2003 a,b). Os modelos utilizados para simular a produtividade de culturas agrícolas podem ser agrupados em modelos empíricos e mecanísticos. Os modelos baseados em relações estatísticas, são conhecidos como modelos empíricos. Os modelos matemáticos mecanísticos, descrevem por meio de equações os processos, sendo necessário compreender os processos envolvidos nos fenômenos de estudo para posteriormente procurar relações matemáticas baseadas em soluções analíticas ou numéricas (STRECK et al., 2013).

O modelo Simanihot (GABRIEL et al., 2014; TIRONI et al., 2017) foi desenvolvido para a cultura da mandioca, sendo um modelo matemático ecofisiológico dinâmico, baseado em processos, que simula o crescimento, desenvolvimento como a ocorrência dos estágios fenológicos, duração das fases, acúmulo e separação de matéria seca, emissão e expansão de folhas e hastes, além do sistema radicular em raízes fibrosas e tuberosas (TIRONI et al., 2017) e simula a produtividade e o potencial de produtividade para o estado do Rio Grande do Sul, Brasil . O software e sua documentação estão disponíveis para a comunidade e podem ser acessados no site do Simanihot (<http://w3.ufsm.br/simanihot/>). Na sua versão 1.2, o modelo dispõe de seis cultivares (FEPAGRO RS13, FEPAGRO RS 14, Estrangeira, Cascuda, Paraguaia e São José) calibradas e validadas para a região sul do Brasil (TIRONI et al. 2017).

2.5 INÍCIO DA ACUMULAÇÃO DE AMIDO

O início de acumulação de amido (IAA) em raízes de mandioca é um estágio de desenvolvimento importante no ciclo da cultura, visto que inicia a translocação dos fotoassimilados das folhas para o principal órgão de reserva da planta que é as raízes onde ocorre a acumulação de amido, alterando a partir de então a relação fonte/dreno (MATTHEWS et al., 1994). A identificação do IAA (uma raiz com mais de 1 cm de diâmetro) tem extrema

importância prática no campo, pois aumenta a demanda por nitrogênio na planta de mandioca a partir desse estágio, e por isso este é o momento de realizar a adubação nitrogenada em cobertura (SCHONS et al., 2007). Em batata, o início de acumulação de amido foi relacionado com o número de folhas na haste principal (PAULA et al., 2005). Porém, em mandioca, na literatura encontra-se que o IAA inicia com 20 folhas, entretanto a pesquisa foi realizada somente para uma cultivar e o experimento foi realizado em vasos, onde a planta esteve sempre nutrida e sem estresse.

2.6 CULTIVARES

As cultivares de mandioca são classificadas em mandioca mansa, na qual a concentração de ácido cianídrico é inferior a 100mg/Kg, que tem características e possui cozimento rápido, na qual está ligado a três principais características de preferência do consumidor, que são a textura, a maciez e o sabor das raízes. As mandiocas determinadas bravas é quando o teor de ácido cianídrico na raiz fresca é superior a 100 mg/kg (BOLHUIS, 1954), sendo considerada tóxica para alimentação em forma in natura, sendo necessário o processamento antes do consumo (TAGLIAPIETRA et al., 2019).

As cultivares possuem três classificações em relação a finalidade, sendo de mesa, indústria e forragem. As de mesa tem características de baixa concentração de ácido cianídrico, fácil descascamento e cozimento rápido. As de indústria caracterizam por alto teor de amido e as forrageiras possuem grande crescimento da parte aérea, proporcionando alta produtividade e valor nutritivo para a alimentação animal, quanto em forma de silagem quanto em feno.

As cultivares de mandioca apresentam adaptações a diferentes condições edafoclimáticas e normalmente são capazes de suportar condições adversas de cultivo, o que lhes confere maior estabilidade na produção. Isso justifica, a grande diversidade de cultivares utilizadas pelos agricultores de mandioca do Brasil, e por muitas vezes são nomes populares nas quais não tem registro da cultivar no registro nacional de cultivares (TIRONI et al., 2019).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 CAPÍTULO 1 – O MANEJO DE PLANTAS DANINHAS E ADUBAÇÃO LIMITAM A PRODUTIVIDADE POTENCIAL DE MANDIOCA EM AMBIENTE SUBTROPICAL

**Weed management and fertilization limit the potential of cassava
productivity in subtropical environment**

ABSTRACT

The objectives in this study were to evaluate the response to fertilization and different weed control periods in the accumulation of dry matter of cassava leaves, stems, roots and fresh mass productivity of tuberous roots, and to quantify the losses of productivity through the model Simanihot. Two experiments were carried out on commercial fields in two locations in Rio Grande do Sul State, Brazil (Ibarama and Santa Maria) during the 2018/2019 growing season. Five treatments, varying from low technological level (without chemical fertilizer application and only weeding) to high technological level (application of fertilization and use of herbicides), were used to represent management practices commonly used by farmers in Southern Brazil. The Simanihot model was used to simulate growth, development, and productivity of cassava under potential conditions. The high technological level treatment (T1) showed a 72% increase in root productivity, greater plant growth and greater development in relation to the low technological level treatment with weed control (T5). T1 produced 31.39 Mg ha⁻¹ of fresh cassava roots, representing 18.4 Mg ha⁻¹ more than at the low technological level treatment (T4) and the average technological level treatment (T2). It is possible to reach 80% of the potential productivity by keeping the crop free from weed interference and with the application of fertilizers.

Keywords: *Manihot esculenta* Crantz; fertility; weeds; s-metolachlor; Simanihot

INTRODUCTION

Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) is the third largest source of energy in the diet of population from developing countries, being widely grown in tropical and subtropical regions of Africa, Latin America and Asia (Tironi et al., 2019). Cassava was chosen by the United Nations Food and Agriculture Organization as the food of the 21st century, through the project “Save and Grow: Cassava” for guaranteeing food security for more than 800 million people around the world (Howeler et al., 2013 ; Trachta et al., 2020). Brazil occupies a prominent position in the production of cassava, being the fourth largest world producer, only behind Nigeria, Thailand and Indonesia (FAO, 2020). Despite the vast diversity of uses that the different parts of the plant has, the greatest added value is in the roots, which are used for food, both human and animal, process industries and medicines, being grown mainly on family smallholdings (Tironi et al., 2019).

The average roots productivity of cassava in Brazil during the last five years was 15.0 Mg ha⁻¹ of roots (IBGE, 2019). However, it is below the potential productivity of the crop, which is approximately 60 Mg ha⁻¹ (Borges et al., 2020). Low yield is related to predominantly planting in soils with low fertility, acids and inadequate weed management (Fermont et al., 2009; Albuquerque et al., 2014; Tironi et al., 2017; Tironi et al., 2019).

The lack or inefficiency of weed control and the low amount of fertilizers in the cassava crop are the main limitations for the increase of tuberous roots yield (Ezui et al., 2016). The beginning of the control and the weeding frequency during the development of the crop directly interferes in the roots yield of cassava (Peressin et al., 2013). In studies carried out in the central region of Kongo, in Africa, it was observed that when the first

weeding is carried out before the end of the first month after planting, productivity increased in comparison to the weeding carried out in the second, third and seventh months after planting (Kintché et al., 2017).

The main damages caused by the interference of weeds to the cassava crop are associated with competition for water, light and nutrients (Alves Filho et al., 2015), which can cause a reduction in yield by up to 90%, in addition to increasing production costs and operational difficulty to the harvest (Peressin et al., 2013; Kintché et al., 2017). Another factor that limits cassava yield is the availability of nutrients, as a cassava crop extracts large amounts of nutrients from the soil, mainly potassium (K), nitrogen (N) and phosphorus (P). For example, to produce 25 Mg ha⁻¹ of cassava roots, 146 kg K Mg⁻¹, 123 kg N Mg⁻¹ and 27 kg P Mg⁻¹ (Mattos et al., 2003) are needed, nutrients that, in adequate quantities, favor the accumulation of starch and consequently the increase in root yield (Rós et al., 2013; Thomás et al., 2016).

Considering that weed management and fertilization are important factors in the yield gaps in cassava production, it is necessary to know the magnitudes of their effects, and for this purpose the use of ecophysiological models is necessary to correctly estimate the impacts these factors have in the growth, development and productivity. An example of such a model is Simanihot (Gabriel et al., 2014; Tironi et al., 2017), being the only ecophysiological model that considers environmental conditions and the response of the cassava in subtropical regions, which we used in this study. Therefore, this study presents an approach to factors related to weeds and fertilization using methodologies to estimate yield gaps, following the Global Yield Gap Atlas (GYGA, 2020). The objectives in this study were: (a) to evaluate the response to the use of fertilizers and weed control periods in the accumulation of dry matter of leaves, stems and roots, and in the yield of fresh mass of tuberous roots and (b) quantify yield losses using the Simanihot model.

MATERIAL AND METHODS

The experiments were carried out in two commercial fields from October 2018 to May 2019, in the municipality of Ibarama (29 ° 25'S, 53 ° 08'W and altitude of 317m) and Santa Maria (29 ° 41'S, 53 ° 43'W and altitude of 113m), in Rio Grande do Sul (RS) State, Brazil. In Ibarama, the soil is classified as “neossolo regolítico”, with the A horizon sitting directly onto the C horizon, therefore, little developed, shallow and well drained. The soil in Santa Maria is an “argissolo arênico”, a deep and well-drained soil (Streck et al., 2018). The chemical characteristics of the soils are shown in Table 1.

The soil preparation was conventional, with two harrows. Planting was on October 24 and October 26, 2018 in Ibarama and Santa Maria, respectively. Five management practice scenarios varying from the low technological level (without fertilizer application and only weeding) up to the high technological level (application of fertilizer and use of herbicides) were evaluated (Table 2), based on the reality of cassava smallholdings in southern Brazil, in order to provide an evaluation of the interaction between fertilizers and weed management .

The cassava cultivar used was Vassourinha, one of the most planted in southern Brazil, which features a large number of stems per plant and lateral sprouting, white pulp, easy peeling and rapid cooking (Tironi et al., 2019). Planting was carried out in plots of 280 m², using a spacing of 1m x 0.8m, and a plant density of 12,500 plants ha⁻¹, in a randomized block design with four replicates. Planting was with stakes having 5 to 7 buds and the fertilization (in the T1, T2 and T3 treatments) was carried out following the technical recommendations (CQFSRS/SC, 2016). In the experiment in Santa Maria, lime was applied three months before planting with a dose of 1.96 Mg ha⁻¹ of dolomitic limestone (PRNT 100%). In Santa Maria, fertilizer rates at planting were 12 kg N ha⁻¹,

65 kg P₂O₅ ha⁻¹ and 50 kg K₂O ha⁻¹. In the Ibarama experiments were used 6 kg N ha⁻¹, 25 kg P₂O₅ ha⁻¹ and 25 kg K₂O ha⁻¹. A dressing fertilization was applied, 64 kg N ha⁻¹ and 128 kg N ha⁻¹ in Ibarama and Santa Maria, respectively, when plants had between 25 and 30 leaves. The herbicide S-metolachlor was applied in pre-emergence in the T1 treatment at a dose of 640g a.i. ha⁻¹ with a sprayer, equipped with tips of the 110.015 type, with a calibrated spray volume of 200 L ha⁻¹. Manual weeding was carried out in Ibarama and Santa Maria in periods of 69 and 67, 99 and 107, 137 and 137 days after planting, with 10 to 15, 25 to 30, 40 to 45 leaves, respectively. The total precipitation during the cassava developmental cycle in Ibarama and Santa Maria was 1,755 mm and 1,248 mm, respectively (Figure 1).

In order to evaluate growth and development, 12 plants were collected during the developmental cycle. The first evaluation took place 69 days after planting (DAP), and the following were made at intervals of 30 days after the first sampling. In these periods, the plants had 10 to 15, 25 to 30, and 40 to 45 leaves, respectively. In Santa Maria, the experiments were interrupted on 4/8/2019 (167 days after planting) due to the occurrence of anthracnose and cercosporiosis diseases. Weed control was carried out at critical moments in the growth and development of cassava based on the number of leaves; it occurred when T1, T2 and T4 plants had from 10 to 15, 25 to 30, 40 to 45 leaves, T3 had from 10 to 15 and from 25 to 30 leaves, and T5 had between 10 to 15 leaves.

Yield was determined according to the methodology proposed by Tironi et al. (2015), determining fresh mass (MF) and dry mass (MS) of cassava roots. The collected cassava plants were separated into leaves, stems and roots in each collection, and then dried out in an oven at 65°C until reaching a constant mass. The fresh weight was determined by separating marketable (RC) and non-marketable (RNC) roots, for RC the

length must be greater than 10 cm and diameter greater than 2 cm; and for RNC diameter between 1 and 2 cm and length less than 10 cm (Schons et al., 2009).

To simulate the yield potential of cassava, the Simanihot, a process-based model was used, which has already been calibrated and validated in Rio Grande do Sul (Gabriel et al., 2014; Tironi et al., 2017; Borges et al., 2020). The Simanihot model allows to simulate the growth, development and yield of cassava roots for potential and water-limited conditions. For the simulations, the meteorological data from the automatic stations belonging to INMET were used, for Ibarama, the station located in the municipality of Tupanciretã (Latitude: -29.0893814°, Longitude: -53.82665025°, Altitude: 462 m) was used, as it meets the standards of proximity and similarity in altitude.

To evaluate the effect of the interaction between fertilization and weed control, the productivity of the experiments (Mg ha^{-1} of fresh roots) were compared with the yield potential of the crop. The results were submitted to analysis of variance (ANOVA) using the SISVAR software (Copyright Daniel Furtado Ferreira 1999-2018), version 5.7, means comparison tests using the Tukey test ($p \leq 0.05$) and Scheffé test for the analysis of contrasts.

RESULTS AND DISCUSSION

The 2018/2019 growing season was influenced by the warm phase of the ENOS Phenomenon, El Niño, which resulted in precipitation above normal climatological conditions. The excess of humidity caused low temperatures in the soil (16°C), and as a result, there was a delay in the plants sprouting that favored the occurrence of diseases such as anthracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides*) and cercosporiosis (*Cercosporidium henningsii*, *Cercosporidium viçosae*). The minimum and maximum temperatures for most part of the production cycle were greater than 14°C and less than

30°C, respectively (Figure 1). The higher temperatures and solar radiation are typical conditions during the summer in subtropical regions (December, January and February). In both places of study, the peak of solar radiation occurred in December, with 24 MJ m⁻² day⁻¹.

Fertilizing according to the technical recommendation associated with weed control by applying pre-emergent, plus three weedings, provided greater accumulation of dry matter (MS) of leaves, stems and roots in all collections carried out during the productive cycle in Ibarama (Table 3). T1 presented 90%, 76% and 83% more DM of leaves, stems and roots, respectively, than T5 in Ibarama. Similar results were found by Munyahali et al. (2015), in a study carried out in Kalehe, territory of the province of South Kiwu, in eastern Democratic Republic of Congo, where they found that the application of fertilizers in cassava provided an increase of 19 and 21% in root yield.

In Santa Maria, when the plants had from 40 to 45 leaves, a significant difference of 11.11% was identified in the accumulation of leaf MS in treatment T2 compared to treatments T1 and T5. For the accumulation of MS in stem, T1 and T2 showed a difference from the other treatments, with an increase of 83.0%, 38.46% and 58.46% in relation to treatments T5, T4 and T3, respectively. The tuberous root MS had a significant difference from T2 compared to T5 with an increase of 71.08% in root yield (Table 3).

By March, the experiment carried out in Santa Maria showed a decrease in MS in all parts of the plants, due to the incidence of diseases (Table 3). In Ibarama, T5 had a significant difference of 0.31 Mg ha⁻¹ leaf MS compared to T4. Sampling of leaves, stems and roots in the periods from 10 to 15 leaves and from 25 to 30 leaves showed that T1 presented significant effect in relation to the other treatments. Comparing T1 with T5, there was a difference in the first dry matter sampling (Table 3) of 0.12 Mg ha⁻¹, 0.16 Mg ha⁻¹ and 0.11 Mg ha⁻¹, and in the second sampling there was a difference of 0.57 Mg ha⁻¹.

¹, 0.73 Mg ha⁻¹ and 1.98 Mg ha⁻¹, respectively for leaves, stems and roots. In the recollection made from 40 to 45 leaves, T1 measurements were also significantly higher in relation to the other treatments for leaf dry matter, in the production of stem MS, T1 differed from T4 and T5, and for roots, T1, which presented higher significant differences, resulted in the highest productivity, as well as in the sampling at 130 leaves (Table 3). These differences are justified by soil fertility and weed control, T1 had a higher MS because it had more nutrients available for growth and less competition for water, light and nutrients due to weed controls (Streck, 2014).

The presence of weeds and the absence of fertilizer (T5) promoted a reduction of 12 Mg ha⁻¹ in root yield, 1.65 Mg ha⁻¹ MS in leaves and 2.88 Mg ha⁻¹ MS in stems, compared to T1 (Table 3). The intensities of weed interference in table 3 is observed by lower productivity and by the reduction in plant growth, evidencing the competition for environmental resources such as water, light and nutrients (Alves Filho et al. 2015), with a significant response to T1. Weed control is one of the main management factors in a cassava crop, and the competition between the crop and weeds caused a loss of approximately 50% in root productivity in the T5 treatment in Ibarama in the recollection made at “130 leaves” (Table 3).

The potential productivity (PP) was 55.29 Mg ha⁻¹ in Ibarama (Figure 2). There is a difference compared to the potential productivity simulated by the Simanihot model, simulation models proved that crops reach 70 to 90% of the its productive potential (Van Ittersun et al., 2013). The productivity achieved in T1 demonstrates that the weed control and the use of fertilizers are the main factors that limit the productivity of cassava.

The productivity decrease between the high technological level treatment (pre-emergent herbicide applications followed by 3 weedings - T1) and the low level treatment (traditional control with only one weeding) (Figure 2) can be attributed to inefficient weed

controls, especially in the early stages where culture is more sensitive to competition (Aye, 2011; Tironi et al., 2019).

The application of the recommended dose of fertilizer in the T1 treatment was statistically higher than other treatments that did not use fertilizer (T4 and T5) and to the treatments that used half of the recommended dose (T2, T3) contrast C1 in Table 4. The higher productivity of roots can be attributed to the greater availability of nutrients in the soil. Thus, the transport of photoassimilates from the aerial part to the roots is favored. The C2 contrast showed a significant difference comparing the conditions of fertility correction. The C3 contrast confirms the statistical difference between the recommended doses of fertilizers against without its application, showing the importance of soil correction to achieve greater productivity.

The number of weedings proved to be one of the factors that limits cassava roots productivity. When compared to the performance of 3 mechanical controls against 1 and 2 interventions, a statistical difference was observed, as shown in contrast C4 (Table 4). A study carried out in Kongo also showed a reduction in root productivity when compared to those that obtained a greater number of weedings (Kintché, 2019).

The results found in this study will encourage cassava producers to correct their soil using fertilizers and controlling weeds during periods during critical developmental phases, so that plants can express their maximum productive potential. A suggestion for future studies is to evaluate the response of the NPK fertilizer through the crop demand curve for these nutrients, evaluating each nutrient individually and a study on weed control methods, evaluating physical and chemical control.

CONCLUSION

The presence of weeds during the first 100 days reduces about 70% of the DM production of the plant and 79.2% of fresh roots productivity, being a strategic period for growth and development of the crop when it is free from competition.

The use of recommended fertilizer rates, including the correction of Ca and Mg levels when necessary, associated with maintaining the crop free from weed competition, are management practices that contribute to achieve productivity of 80% of the productivity potential for subtropical environments.

ACKNOWLEDGMENTS

We thank Charles Patrick de Oliveira de Freitas, Andeson Hass, Gilmara Peripolli, Veronica Furzer, Larissa Pozzer, Camila Menegheti, farmers Odonelson Ávila and Paulo Puntel, and the extension consultants from Emater / RS – Ascar Luis Fernando Oliveira, Giovane Vielmo and Lilian Alessandra Rodrigues. This study was supported by the National Council for Scientific Development (CNPq), Universal Call MCTIC / CNPq No. 28/2018.

REFERENCES

- Albuquerque, J.A.A.; Evangelista, M.O.; Mates, A.P.K.; Alves, J.M.A.; Oliveira, N.T.; Sedyama, T.; Silva, A.A. Occurrence of weeds in cassava savanna plantations in Roraima. *PlantasDaninha*, v.32, p.91–98, 2014. Doi.org/10.1590/S0100-83582014000100010
- Alves Filho, P. P. C.; Galvão, J. R.; Neves, L. B.; Costa, I. R. Resposta da cultivar de mandioca roxinha à adubação NPK. *Revista Raízes e Amidos Tropicais*, v. 11, n.1, p.1-7, 2015. DOI: 10.18677/EnciBio_2017B38

AYE, T. M. Cassava Agronomy: Land Preparation, Time and method of planting and harvest, Plant spacing and Weed control. In: Centro Internacional de Agricultura Tropical - CIAT (org.). The Cassava Handbook. A Reference Manual based on the Asian Regional Cassava Training Course, held in Thailand. p. 588 – 612, 2011.

Borges, J.M.; Zanon, A.J.; Silva, R.M.; Balest, D.; Alves, A.F.; Freitas, C.P.O.; Both, V.; Lima, A.T. Potencial de produtividade da mandioca em função da época de plantio em ambiente subtropical. Revista de ciências agroveterinárias, v.19, p. 263,269, 2020. Doi.org/10.1590/1678-4499.0352

[CQFS RS/SC; NRS-SBCS] Comissão de Química e Fertilidade do Solo e Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul. (2016). Manual de adubação e de calagem para os Estados de Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. Porto Alegre: CQFS RS/SC.

Ezui, K.S.; Franke, A.C.; Mando, A.; Ahiabor, B.D.K.; Tetteh, F.M.; Sogbedji, Giller, K.E. Fertiliser requirements for balanced nutrition of cassava across eight locations in West Africa. Field Crops Reserch v.185, p.69–78, 2016. Doi.org/10.1016/j.fcr.2015.10.005

FAO. 2019. FAOSTAT database. FAO, Home. <http://www.fao.org/news/archive/news-by-date/2019/pt/> (20 de dezembro. 2019).

Gabriel, L. F.; Streck, N. A.; Roberti, D. R.; Chielle, Z. G.; Uhlmann, L. O.; Silva, M. R.; Silva, S. D. Simulating cassava growth and yield under potential conditions in Southern Brazil. Agronomy Journal, v. 106, p. 1119-1137, 2014. Doi:10.2134/agronj2013.0187

IBGE. Levantamento sistemático da produção agrícola. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/6588#resultado>. Acesso em: 1 de julho de 2019.

Kintché, K.; Hauser, S.; Mahungu, N.m.; Ndonda, A.; nhami, N.; Uzokwe, V.N.E.; Yomeni, M.; Ngamitshara, J.; Ekoko, B.; Akem, C.. Pypers, P.; Mattungulu, K.P.;

Kehbila, A.; Valanuwe, B. Cassava yield loss in farmer fields was mainly caused by low soil fertility and suboptimal management practices in two provinces of the Democratic Republic of Congo. *European Journal of Agronomy*, v.89, p. 107-123, 2017. Doi.org/10.1016/j.eja.2017.06.011

Peressin, V.A. Manejo integrado de plantas daninhas na cultura da mandioca. Campinas: Instituto Agronômico, Editora IAC, 2013. 54p.

Schons, A.; Streck, N. A.; Kraulich, B.; Pinheiro, D. G.; Zanon, A. J.; Emissão de folhas e início de acumulação de amido em raízes de uma variedade de mandioca em função da época de plantio. *Ciência Rural*, 37, 1586-1592, 2007. Doi.org/10.1590/S010384782007000600013

Streck, V.E., Kämpf, N., Dalmolin, R.S.D., Klamt, E., Nascimento, P.C., Giasson, E., Pinto, L.F.S. Solos do Rio Grande do Sul. 3º ed, 2018.

Rós, A.B.; Hirata, A.C.S.; Narita, N. Produção de raízes de mandioca e propriedades química e física do solo em função de adubação com esterco de galinha. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.43, n.3, jul./set, 2013. Doi.org/10.1590/S1983-40632013000300001

Tagliapietra, B.L.; Zanon, A.J.; Silva, M.N.; Alves, A.F.; Freitas, C.P.O.; Tironi, L.F.; Jiménez, M.S.E.; Cardoso, P.S.; Santos, A.T.L.; Tonel, G.P.; Rodrigues, L.B.; Richards, N.S.P.S.; Streck, N.A. Mandioca para alimentação humana e animal. Santa Maria: Editora Gráfica Palloti, 2019, p.1-104.

Thomás, P.C.; Almeida, J.J.J.; Smiljanic, K.B.A. Exigências Nutricionais Da Mandioca (*Manihotesculenta* Crantz). XI Semana Universitária, Ciência Alimentando o Brasil. Pesquisa de Fitotecnia da UNIFIMES. 2016.

Tironi, L. F.; Uhlmann, L. O.; Streck, N. A.; Samboranha, F. K.; Freitas, C. P. O.; Silva, M. R. Desempenho de cultivares de mandioca em ambiente subtropical. *Bragantia*, Campinas, v.74, n. 1, p.58-66, 2015. Doi.org/10.1590/1678-4499.20200018

Tironi, L. F.; Streck, N. A.; Gubiani, P.I.; Benedetti, R.P.; Freitas, C.P.O. Simanipot: A process-based model for simulating growth, development and productivity of cassava. *Engenharia Agrícola*, v.37, p.471-483, 2017. DOI: 10.1590 / 1809-4430-eng.agric.v37n3p471-483 / 2017

Tironi, L. F.; Streck, N. A.; Gubiani, P.I.; Benedetti, R.P.; Freitas, C.P.O. A process-based model for simulating growth, development and productivity of cassava. *Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering*, Jaboticabal ,p.119, 2019.

Tironi, L. F.; Alves, A. F.; Zanon, A. J., Freitas, C. P. O.; Santos, A. T. L.; Cardoso P. S; Tonel, G. P.; Rodrigues, L. B.; Tagliapietra, B. L.; Silva, M. N.; Streck, N. A. *Ecofisiologia da mandioca visando altas produtividades*. Santa Maria: Editora Gráfica Palloti, 2019, p.1-136.

Trachta, M.A.; Zanon, A.J.; Alves, A.F.; Freitas, C.O.; Streck, N.A.; Cardoso, P.S.; Santos, A.T.L.; Nascimento, M.F.; Rossato, I.G.; Simões, G.P.; Amaral, K.E.F.; Streck, I.L.; Rodrigues, L.B. Leaf área estimation with nondestructive method in cassava. *Bragantia*, Campinas, v.79, n.4, p.347-359, 2020.

Van Ittersum, M.K.; Cassman, K.g.; Grassini, P.; Wolf, J.; Tittonell, P.; Hochman, Z. Yield gap analysis with local to global relevance - A review. *Field Crops Research*, v.143, p.4–17, 2013.

Table 1. Soil chemical properties, in the 0-20cm layer, at the locations where the experiment took place in Ibarama and Santa Maria, RS, Brazil.

Analyzed properties	Ibarama	Santa Maria
pH (1:1 H ₂ O)	5,2	4,6
Base saturation (%)	83,6	12,0
Saturation Al (%)	2,9	46,7
Clay (%)	16,0	13,0
Organic matter (%)	1,5	0,9
CTC ¹ pH7 (cmol _c /dm ³)	28,7	7,0
P (mg/dm ³)	50,8	6,6
K (mg/dm ³)	236,0	36,0
Ca (cmol _c /dm ³)	17,57	0,5
Mg (cmol _c /dm ³)	5,83	0,2

¹ CTC = Cation exchange capacity

Table 2. Management practices used in the South of Brazil that make up the T1 (high technological level), T2 (medium technological level) and T3, T4 and T5 (low technological level) treatments used in the experiments conducted in Ibarama and Santa Maria, RS, Brazil.

Management practices	Treatments				
	T1	T2	T3	T4	T5
Liming	¹ Applied, only with lack of Ca and Mg	Not applied	Not applied	Not applied	Not applied
Fertilization	Full recommended dose ²	Half of recommended dose ²	Half of recommended dose ²	Not applied	Not applied
Herbicide	Pre-emergent ³	Not applied	Not applied	Not applied	Not applied
Weedings	3	3	2	3	1

¹ Liming applied in the municipality of Santa Maria ² According to soil analysis and following the recommendations of the “Manual de Adubação e Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina”, 2016.³ Application of s-metolachlor with a dose of 2,0 gi.a. ha⁻¹, and spray volume of 200 L ha⁻¹.

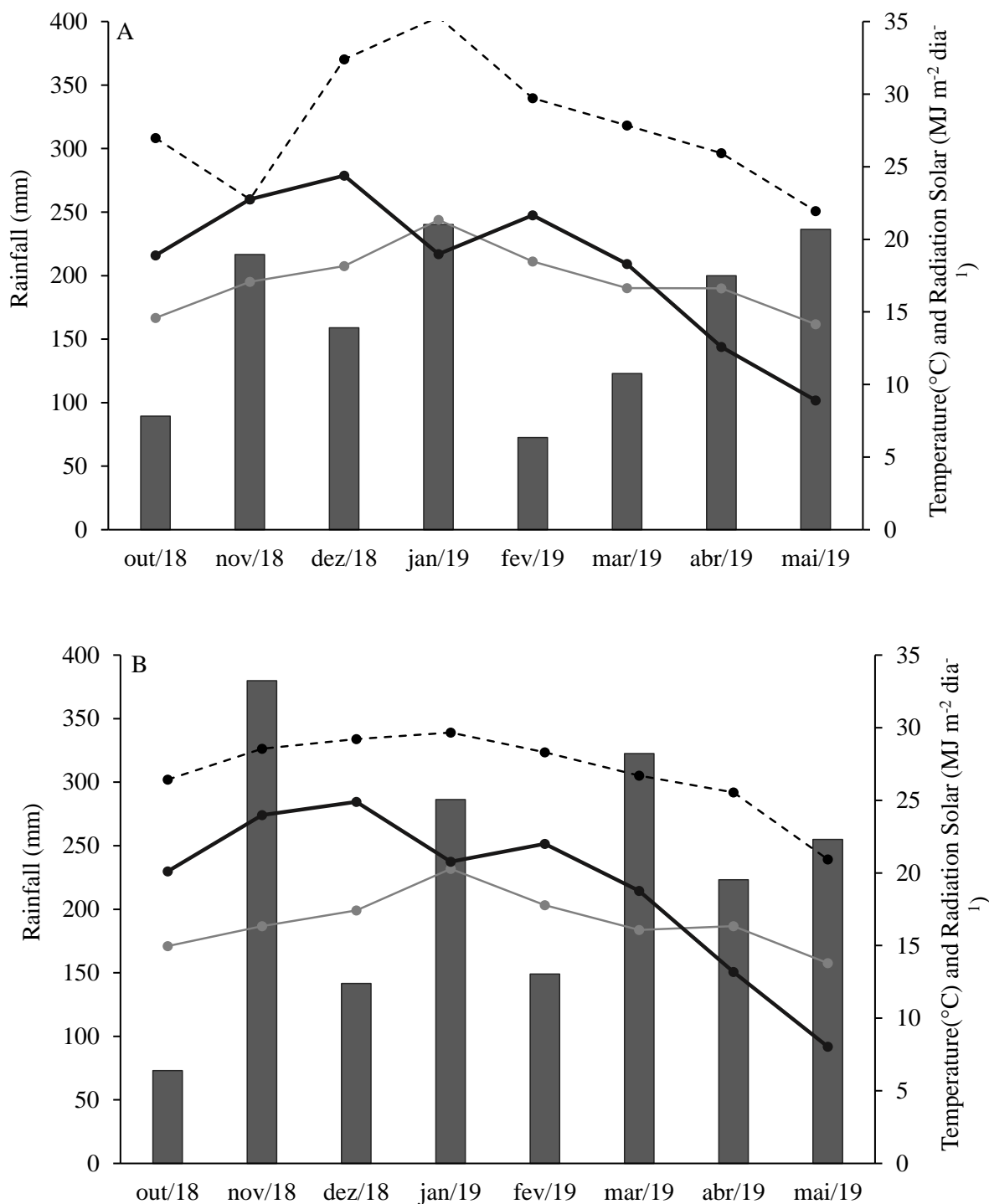


Figure 1. Accumulated monthly rainfall (mm), average maximum and minimum temperatures (°C) and average global solar radiation flux density (MJ m⁻² day) from October / 2018 to May/2019 in Ibarama, RS, Brazil (A) and Santa Maria, RS, Brazil (B).

Source: INMET, 2019.

Table 3. Productivity in dry mass (Mg ha^{-1}) of cassava leaves, stems and roots of the Vassourinha cultivar at different stages of development and depending on management practices in experiments conducted in Ibarama and Santa Maria, RS, Brazil, in the 2018/2019 agricultural year.

T ¹	Ibarama				Santa Maria			
	Times of evaluation (leaf)							
	10 a 15	25 a 30	40 a 45	130	10 a 15	25 a 30	40 a 45	99
Leaves (Mg ha^{-1})								
T1	0,26a ²	0,83a	1,83a	- ³	0,12 ^a	0,24a	0,02b	0,27a
T2	0,11b	0,21b	0,74b	-	0,07 ^a	0,19a	0,37 ^a	0,35a
T3	0,11b	0,21b	0,74b	-	0,07 ^a	0,19a	0,18b	0,29a
T4	0,14b	0,21b	0,49c	-	0,07 ^a	0,24a	0,27ab	0,38a
T5	0,14b	0,26b	0,18d	-	0,07 ^a	0,08a	0,06c	0,18a
Stems (Mg ha^{-1})								
T1	0,25a	1,17a	1,79a	3,64a	0,08 ^a	0,32a	0,62 ^a	0,58ab
T2	0,09b	0,34b	0,84ab	2,75a	0,05 ^a	0,22a	0,65 ^a	1,03a
T3	0,09b	0,34b	0,84ab	0,93b	0,05 ^a	0,22a	0,27bc	1,01a
T4	0,09b	0,23b	0,59b	0,81b	0,05 ^a	0,27a	0,40b	0,50ab
T5	0,09b	0,44b	0,42b	0,75b	0,05 ^a	0,15a	0,11c	0,34b
Roots (Mg ha^{-1})								
T1	0,15a	2,50a	5,68a	14,04a	0,01 ^a	0,26a	0,52ab	1,16ab
T2	0,03b	0,41b	3,04b	8,11b	0,02 ^a	0,27a	0,83 ^a	0,35c
T3	0,03b	0,41b	3,04b	4,95c	0,02 ^a	0,27a	0,51ab	1,82a
T4	0,04b	0,34b	1,75bc	3,91c	0,01 ^a	0,29a	0,54ab	0,87bc
T5	0,04b	0,52b	0,95c	1,99c	0,01 ^a	0,17a	0,24b	1,17b

¹Q: Treatments; T1: application of fertilizer and liming according to technical recommendation, pre-emergent and three weedings; T2: application of half of the fertilizer dose according to the technical recommendation, no liming and three weedings; T3: application of half of the fertilizer dose according to the technical recommendation, no liming and two weedings; T4: absence of fertilizer and liming, three weedings; T5: without application of fertilizer and liming, weeding. ²Means followed by the same letter in the column do not differ significantly by the Tukey test ($p \leq 0.05$). ³natural senescence of all leaves due to low temperatures in the last sampling (harvest).

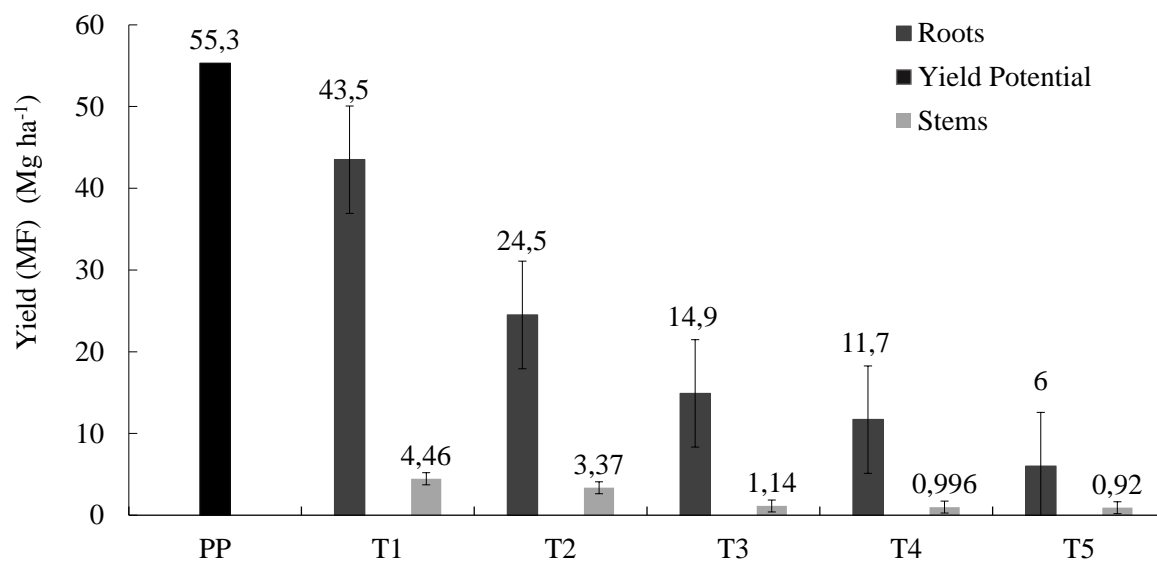


Figure 2. Cassava roots yield and stems production of the cultivar Vassourinha and the simulated root yield (PP) estimated through the Simanihot model in the 2018/2019 harvest, for Ibarama, RS, Brazil.

Table 4. Comparison of the average cassava roots yield of the Vassourinha cultivar (Mg ha^{-1}) between treatments that do not apply herbicide (T2, T3, T4 and T5) and treatment T1 (apply pre-emergent herbicide) - Contrast C1 ; treatments that do not apply fertilizer (T4 and T5) and the treatment that applies the entire fertilization recommendation (T1) - Contrast C2; treatments that apply half the recommended dose of fertilizer (T2 and T3) and treatments that do not apply fertilizer (T4 and T5) - Contrast C3; and treatments using 3 weedings (T1, T2 and T4) and treatments using one or two weedings (T3 and T5) - Contrast C4, for Ibarama-RS, Brazil in the 2018/2019 harvest.

Contrast	Comparison	219 DAP
C1	T1 ¹ X T2+T3+T4+T5	43, 51* X 14,24
C2	T1 X T4+T5	43,51* X 08,82
C3	T2+T3 X T4+T5	19,98* X 08,82
C4	T1+T2+T4 X T3+T5	22,04* X 18,80
CV (%)		33,63

¹ T1 = Full dose of fertilizer and 3 weeding, T2 = Half dose of fertilizer and 3 weeding, T3 = Half dose of fertilizer and 2 weeding, T4 = without fertilizer e 3 weeding, T5= without fertilizer e 1 weeding. *indicates significant difference by the test de Scheffé ($p \leq 0,05$)

**3.2 CAPÍTULO 2 – INÍCIO DE ACUMULAÇÃO DE AMIDO E
PRODUTIVIDADE DE RAÍZES EM CULTIVARES DE MANDIOCA
REGISTRADAS E NÃO REGISTRADAS.**

(Artigo será submetido para Revista Eletrônica Científica da UERGS)

Início de acumulação de amido e produtividade de raízes em cultivares de mandioca registradas e não registradas

Paula de Souza Cardoso

Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)

E-mail: paulasouza_1993@hotmail.com, <http://lattes.cnpq.br/1330757552136903>

Charles Patrick de Oliveira de Freitas

Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)

E-mail: charlespatrick2010@hotmail.com, <http://lattes.cnpq.br/1597791305081952>

Gilmara Peripolli Tonel

Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)

E-mail: gilperipolli@hotmail.com, <http://lattes.cnpq.br/2715120158380522>

Nereu Augusto Streck

Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)

E-mail: nstreck2@yahoo.com.br, <http://lattes.cnpq.br/8121082379157248>

Alencar Junior Zanon

Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)

E-mail: alencarzanon@hotmail.com, <http://lattes.cnpq.br/7337698178327854>

Resumo

O início de acumulação de amido (IAA) modifica a relação fonte/dreno na planta de mandioca, e a partir desse estágio as raízes tuberosas passam a ser o principal órgão de reserva de amido na planta. Os objetivos neste estudo foram identificar o número de folhas acumuladas na haste principal no início da acumulação de amido e avaliar a produtividade de massa fresca de raízes em sete cultivares de mandioca registradas e não registradas. O experimento foi conduzido nos anos agrícolas de 2018/2019 e 2019/2020 em Santa Maria, RS, Brasil, com as cultivares registradas (BRS 396, BRS 399, IAC 576 e Fepagro RS13) e não registradas (Aceguá, Frita e Vassourinha). Para avaliar o início do acúmulo de amido (raiz com diâmetro maior que 10 mm) foram realizadas amostragens após as plantas acumularem 15 folhas na haste principal. A produtividade (Mg ha^{-1}) foi determinada no oitavo mês após o plantio. O indicador morfológico número de folhas acumuladas pode ser utilizado para identificar a campo o início da acumulação de amido e auxiliar em práticas de manejo na cultura da mandioca, o número de folhas variou de 25 a 30 folhas para o início de acumulação de amido nas raízes tuberosas, com exceção da Fepagro RS13 que apresentou 33 folhas. As cultivares Fepagro RS13, Vassourinha, Frita, BRS 399 apresentaram as maiores produtividades nos dois anos agrícolas.

Palavras-chave: *Manihot esculenta* Crantz, prática de manejo, IAA, eficiência no uso de recursos.

Abstract

Beginning of starch accumulation and root yield in registered and unregistered cassava cultivars

The beginning of starch accumulation (BSA) modifies the source/sink ratio in the cassava plant, and from this stage, the tuberous roots become the main starch reserve organ in the plant. The objectives of this study were to identify the number of leaves accumulated on the main stem at the beginning of starch accumulation and to evaluate the productivity of fresh root mass of seven registered and unregistered cassava cultivars. The experiment was conducted during the 2018/2019 and 2019/2020 growing season in Santa Maria, RS, Brazil, with registered cultivars (BRS 396, BRS 399, IAC 576 and Fepagro RS13) and unregistered cultivars (Aceguá, Frita and Vassourinha). To evaluate the beginning of starch accumulation (root diameter greater than 10 mm), samples were taken after the plants accumulated 15 leaves on the main stem. Yield (Mg ha⁻¹) was determined eight months after planting. The morphological indicator number of accumulated leaves can be used to identify the beginning of starch accumulation in the field and to assist in management practices in cassava crop. The number of leaves at the beginning of starch accumulation in the tuberous roots ranged from 25 to 30 leaves for all the cultivars evaluated except Fepagro RS13, which presented 33 leaves. The cultivars Fepagro RS13, Vassourinha, Frita, and BRS 399 showed the highest yields in the two growing seasons.

Keywords: *Manihot esculenta* Crantz, management practice, BSA, resource use efficiency.

Introdução

A mandioca (*Manihot esculenta* .Crantz) é originária da América do Sul e é considerada pela Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO) a cultura do século XXI (FAO, 2018). Devido sua importância e potencial para alimentar mais de 800 milhões de pessoas no mundo, a mandioca é a terceira fonte de energia em países em desenvolvimento, superada apenas pelo arroz e milho (Tironi et al., 2019). O Brasil atualmente é o quarto maior produtor mundial de mandioca com uma produção de 21,5 milhões de toneladas nos últimos cinco anos e uma produtividade média de 15 Mg ha⁻¹ (IBGE, 2020).

O crescimento e o desenvolvimento das plantas são processos independentes, que podem ocorrer concomitante ou não (Wilhelm e McMaster, 1995). Crescimento é uma grandeza física não reversível como incremento de massa, altura, diâmetro e volume, já o desenvolvimento refere-se à diferenciação celular, iniciação e aparecimento de órgãos, como por exemplo emissão de folhas (Hodges, 1991, Wilhelm e McMaster, 1995). O número de folhas (NF) pode ser associado nos momentos importantes do desenvolvimento da cultura da mandioca como o início de acumulação de amido (IAA) e pode ser medido facilmente na planta (Schons et al., 2007). O IAA modifica a relação fonte/dreno na planta de mandioca e a partir deste estágio as raízes tuberosas transformam-se no principal órgão de reserva de amido da planta (Matthews &

Hunt, 1994). Neste estágio específico do ciclo de desenvolvimento, a planta requer práticas de manejo para alcançar altas produtividades, como a adubação nitrogenada em cobertura e a ausência de plantas daninhas competindo por água, luz e nutrientes (Tironi et al, 2019).

O número de folhas é um indicador morfológico preciso para determinar o IAA de forma rápida, que busca atender uma demanda prática de extensionistas e pesquisadores, fornecendo informações que permitem os produtores melhorarem a eficiência nas práticas de manejo. Em estudo com esse objetivo, conduzido em condições controladas (vasos) e sem limitações de água e nutrientes, Schons et al. (2007) definiram que o IAA ocorreu quando a cultivar Fepagro RS 13 apresentou 20 folhas na haste principal. Todavia, existe uma carência de informações, em condição de lavoura, sobre qual é o número de folhas no início do IAA nas principais cultivares de mandioca utilizadas por agricultores no Sul do Brasil. Este estudo teve como objetivo identificar o número de folhas acumuladas na haste principal no início da acumulação de amido e avaliar a produtividade de massa fresca de raízes de sete cultivares de mandioca registradas e não registradas.

Material e métodos

Foram conduzidos experimentos de campo com a cultura da mandioca nos anos agrícolas de 2018/2019 e 2019/2020 na área experimental do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, RS, Brasil (latitude: 29° 43"S, longitude: 53° 43"W e altitude: 95m). O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cfa, subtropical úmido sem estação seca definida e com verões quentes (KUNINCHNER e BURRIOL, 2001). O solo do local do experimento é classificado como Argissolo Vermelho distrófico arênico, bem drenado, profundo (> 1,5 m) e com baixa fertilidade natural, representando os solos que normalmente são cultivados com mandioca no Sul do Brasil (Streck et al., 2018).

Foram avaliadas sete cultivares, sendo quatro cultivares registradas no Registro Nacional de Cultivares (RNC) do Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA): BRS 396, BRS 399, IAC 576 e Fepagro RS13 e três cultivares não registradas conhecidas popularmente por Aceguá, Frita e Vassourinha. As cultivares BRS 396, BRS 399 e a IAC 576 são biofortificadas, ou seja, melhoradas geneticamente para alta produtividade, baixo teor de ácido cianídrico (HCN) nas raízes e um teor mais elevado de carotenoides (Vitamina A), possuindo a cor da polpa amarelada (Embrapa, 2015). As cultivares Aceguá, Frita e Vassourinha foram utilizadas por serem as mais plantadas no Sul do Brasil com a finalidade de mesa, e a cultivar Fepagro RS13 devido a sua dupla aptidão de utilização como mesa e forrageira (Tironi et al., 2019).

O plantio foi realizado no dia 15 de outubro de 2018 e no dia 7 de novembro de 2019, seguindo um delineamento experimental de blocos ao acaso com quatro repetições, com parcelas de 32 m², utilizando um espaçamento de 1,5m x 0,8m, e densidade de plantas de 8.333 plantas ha⁻¹. O preparo do solo foi realizado de forma convencional com camalhões e utilizado

manivas com 5 a 7 gemas. A correção da fertilidade do solo foi realizada com base na análise do solo e foram aplicados 350 kg ha⁻¹ da fórmula 5-20-20. Após o plantio, foi realizada a aplicação do herbicida s-metolachlor em pré-emergência na dose de 640 g i.a. ha⁻¹ com auxílio de pulverizador costal, munido com pontas do tipo 110.015, calibrado para proporcionar volume de pulverização de 200 L ha⁻¹. O controle de plantas daninhas em pós emergência foi realizado através de capina manual, totalizando três capinas. Não ocorreu incidência de insetos e doenças.

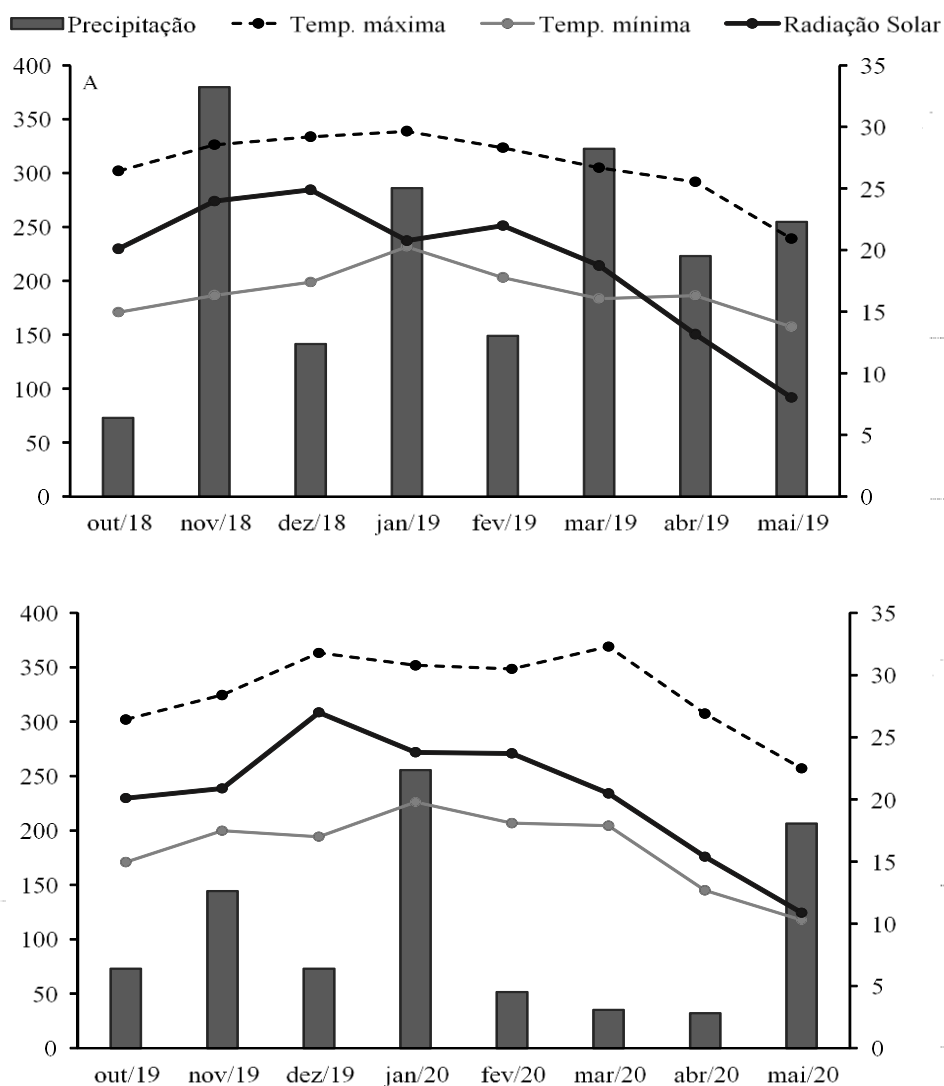
A emergência de plantas foi considerada quando 50% das plantas de cada cultivar estava visível, com a estrutura vegetativa acima do nível do solo. Para a determinação do IAA, após as plantas acumularem 15 folhas na haste principal foram realizadas coletas de seis plantas para cada cultivar aleatoriamente em duas linhas das parcelas, de forma manual e cuidadosa, para não danificar as raízes, com uma frequência de sete dias. Com o uso de um paquímetro mediu-se o diâmetro da maior raiz tuberosa e era contado o número de folhas na haste principal de cada planta. O IAA foi considerado quando a maior raiz tuberosa da planta apresentava diâmetro de 10 mm (Schons, et al 2007). Para as avaliações do número final de folhas na haste principal foram marcadas com anéis coloridos quatro plantas por parcela.

A determinação da produtividade (Mg ha⁻¹) foi realizada conforme a metodologia proposta por Tironi et al. (2015), determinando-se a massa fresca e a massa seca das raízes de mandioca. A massa fresca foi determinada através da separação de raízes comercializáveis (RC) e não comercializáveis (RNC). Para RC o comprimento deve ser maior que 10 cm e diâmetro maior que 2 cm, e para RNC raízes com diâmetro entre 1 e 2 cm e comprimento inferior a 10 cm (Schons et al., 2009). Após esta separação, as raízes foram pesadas para determinação da massa fresca, e após secas em estufas com ventilação forçada a 65 °C, para determinação da massa seca. A análise estatística realizada para as variáveis analisadas foi por meio do SISVAR (Copyrigh Daniel Furtado Ferreira 1999-2018), versão 5.7, através da análise de variância (ANOVA) e teste de comparação de médias de Duncan ($p \leq 0,05$).

Resultados e discussão

O ano agrícola de 2018/2019 teve a influência da fase quente do Fenômeno El Niño Oscilação Sul, o El Niño, o que resultou em precipitações pluviométricas acima da normalidade climatológica, com um acúmulo durante o ciclo da cultura de 1830 mm. Já o ano agrícola 2019/2020 foi um ano neutro em relação ao ENOS, com um acumulado de 969,8 mm de chuva. As médias de temperaturas mínimas e máxima durante o ciclo de desenvolvimento foram maiores que 16 °C e menores que 28 °C (Figura 1A e 1B). A média de temperatura do ar durante os dois ciclos de crescimento e desenvolvimento na fase de emergência até o IAA foram de 22°C e 24°C, respectivamente.

Figura 1. Precipitação mensal acumulada (mm), temperaturas máxima e mínima (°C) e radiação solar média diária ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) em Santa Maria/RS durante o período de outubro/2018 a maio/2019 (A) e outubro/2019 a junho/2020. Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia.



A emergência das cultivares foi em média 15 dias após o plantio. O número de folhas (NF) é um preditor adequado para estimar o diâmetro de raízes, em milímetros, devido aos valores do coeficiente de determinação (R^2) ficarem situados entre 0,42 – 0,85 (Figura 2 e 3). Sendo assim, as equações podem ser utilizadas para estimar o início de acumulação de amido (IAA) para condições similares as descritas no presente trabalho. Desta forma é possível determinar o diâmetro de raízes a partir da contagem do número de folhas na haste principal sem a necessidade de uma amostragem destrutiva. As cultivares BRS 396, BRS 399, IAC 576 e Fepagro RS13 iniciam o aumento em diâmetro das raízes tuberosas com 15 folhas, 14 folhas, 17 folhas e 28 folhas, respectivamente (Figura 2). Já o acúmulo de amido nas cultivares Aceguá, Frita e Vassourinha ocorrem a partir de 15 folhas, 22 folhas e 13 folhas, respectivamente (Figura 3).

Figura 2. Relação entre o diâmetro de raiz (mm) e o número de folhas na haste principal no início de acumulação de amido nas cultivares registradas BRS 396 (A), BRS 399 (B), IAC 576 (C), Fepagro RS13 (D) durante a safra 2018/2019 e Fepagro RS13 (E) na safra 2019/2020 em Santa Maria, RS, Brasil.

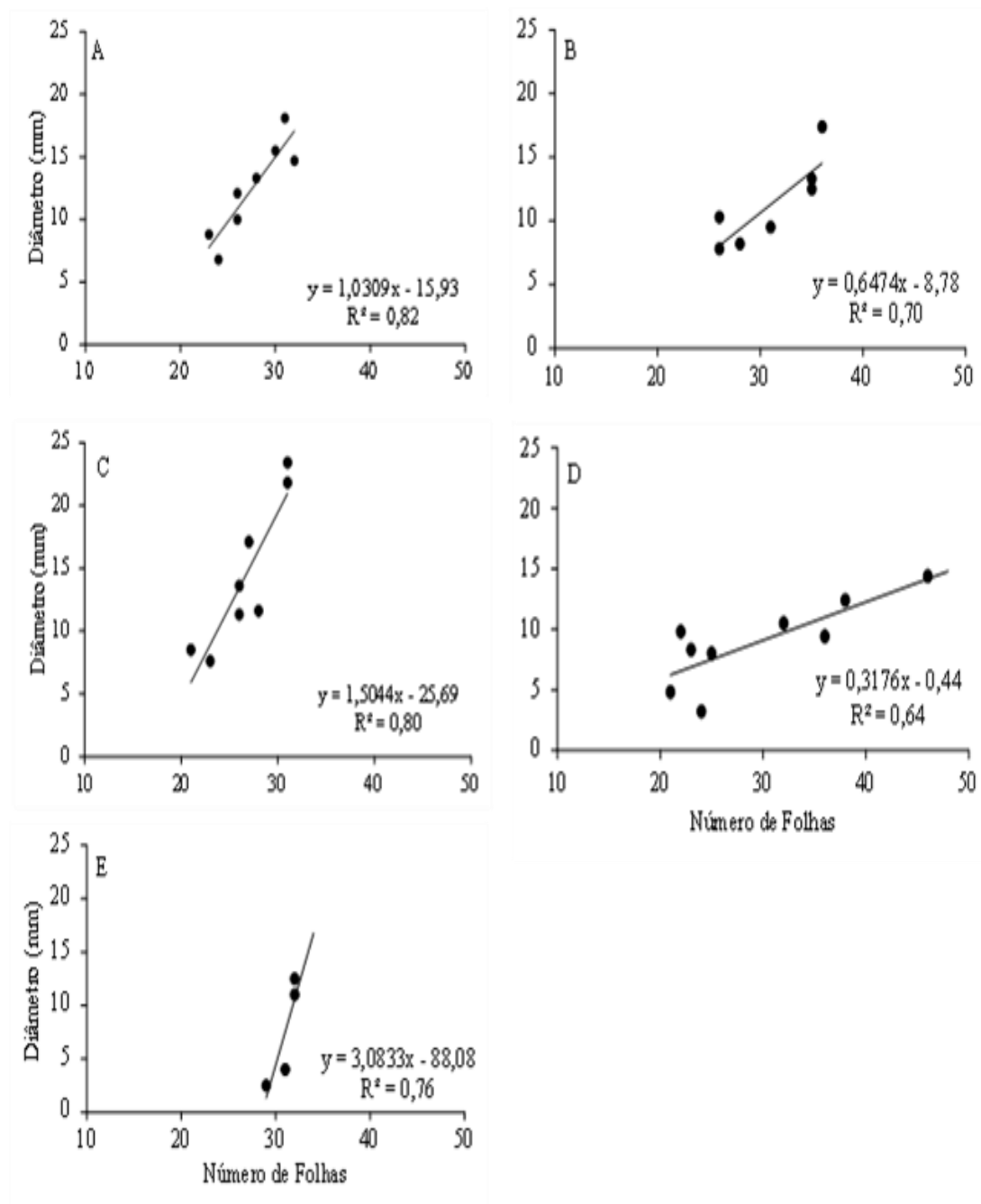
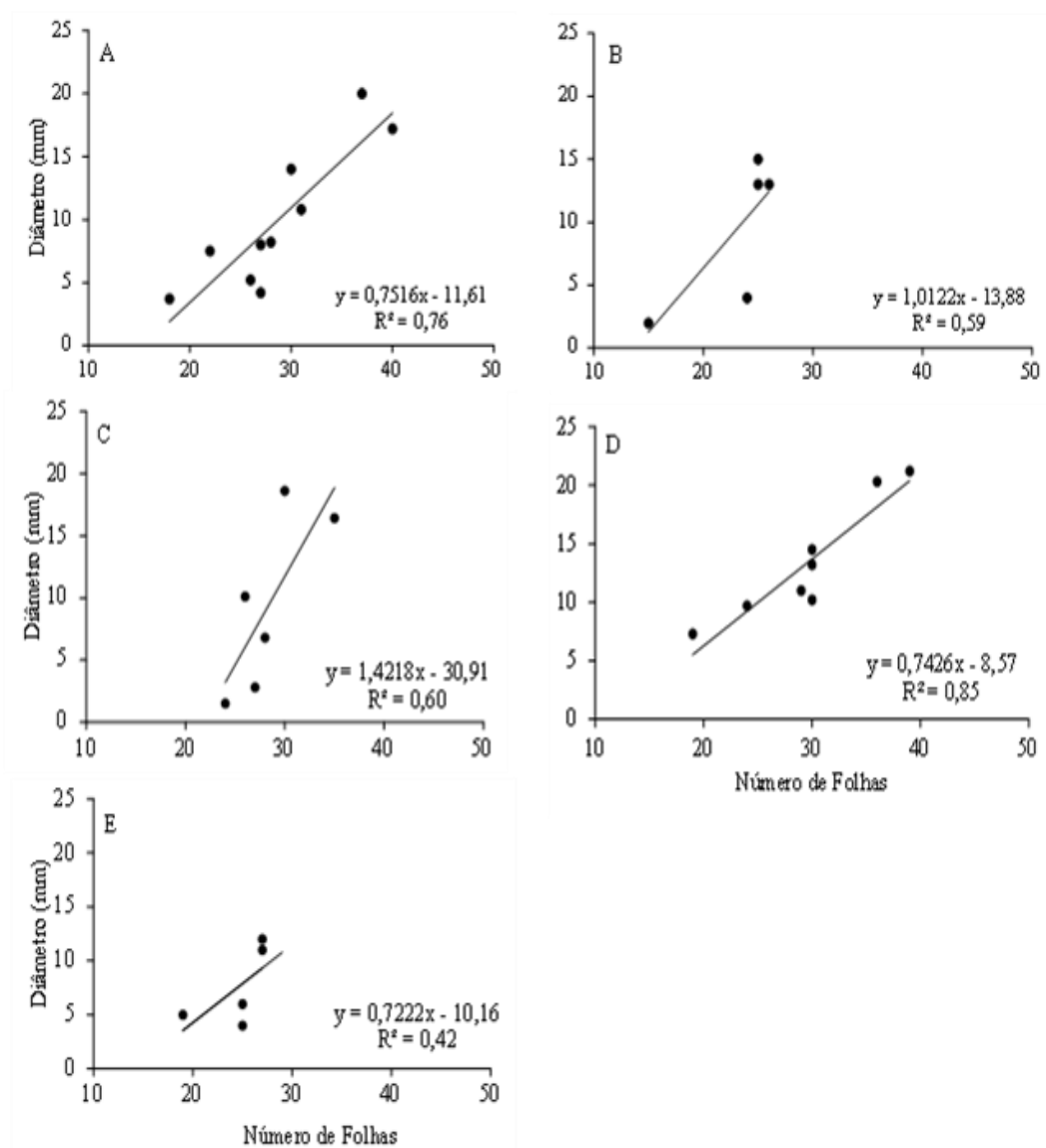


Figura 3. Relação entre diâmetro de raiz (mm) e o número de folhas na haste principal no início de acumulação de amido nas cultivares não registradas Aceguá (A), Frita (C) e Vassourinha (D), e Aceguá (B) na safra 2018/19 e Vassourinha (E) na safra 2019/2020 em Santa Maria, RS, Brasil.



A cultivar IAC 576 teve menor número de folhas para entrar no estágio IAA, com apenas 24 folhas. As cultivares Vassourinha e BRS 396 apresentaram 25 folhas para o IAA, não apresentando diferença entre as duas. As cultivares Frita, Aceguá e BRS 399 iniciaram o IAA com 29 folhas. O número de folhas para IAA da cultivar Fepagro RS 13 foi diferente das demais, apresentando 33 folhas, o maior valor encontrado (Tabela 1). A resposta encontrada neste estudo para a cultivar Fepagro RS13 foi superior a reportada por Schons et al. (2007), que caracterizaram o IAA quando as plantas atingiram 21 folhas. A hipótese para essa diferença é que em cada vaso foram colocadas 2 duas manivas e foram avaliadas duas plantas por vaso, aumentando assim a competição intra-específica. Assim, em média quando as cultivares apresentarem em torno de 25 a 30 folhas (Tabela 1), se recomenda realizar essa prática de manejo da adubação de cobertura de uréia, pois é quando a demanda por esse nutriente aumenta (Tironi et al., 2019).

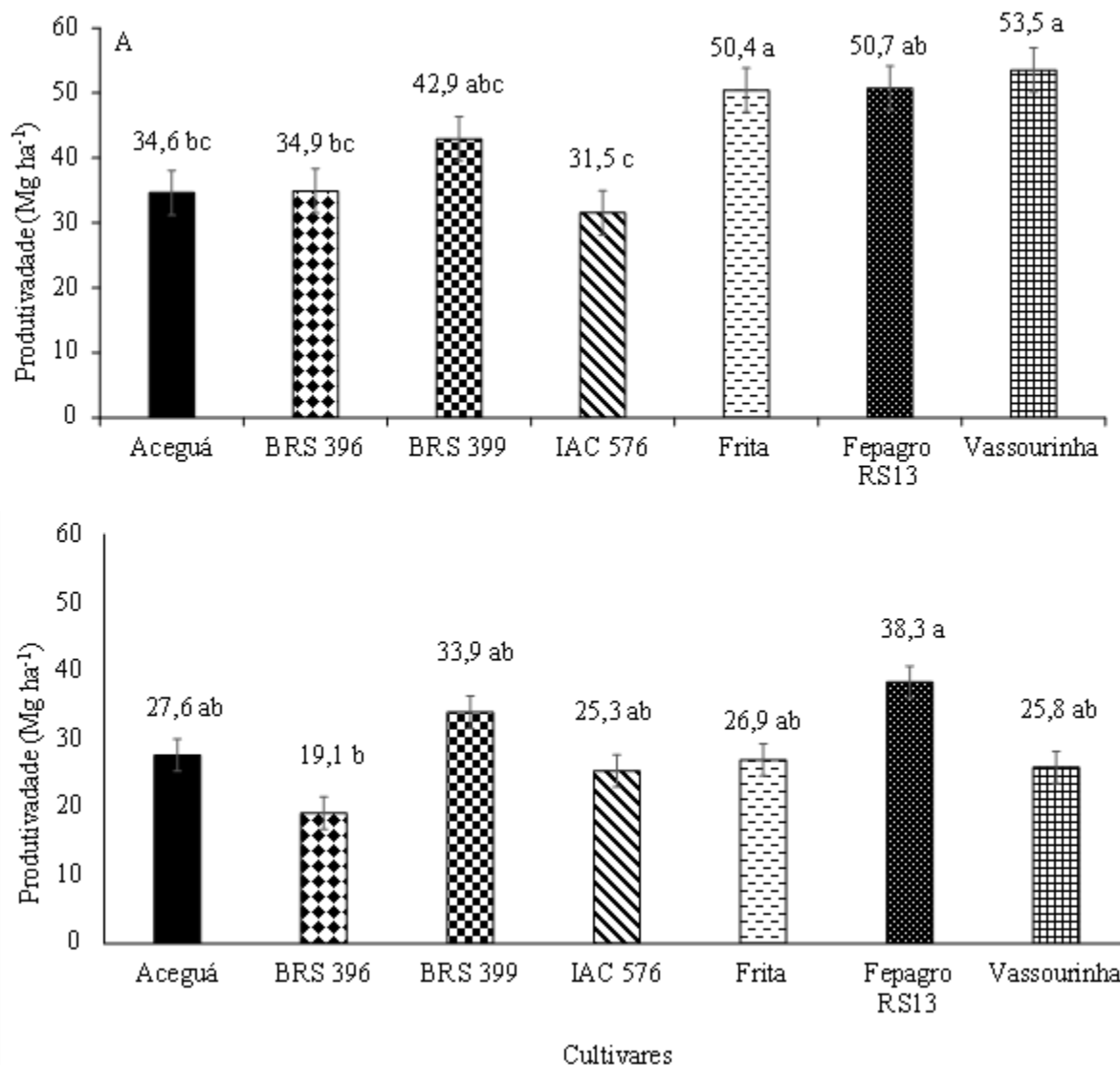
Tabela 1- Número de folhas na haste principal em que ocorre o início de acumulação de amido em sete cultivares de mandioca obtidos a partir das equações de regressão entre o diâmetro de raízes e o número de folhas para as cultivares registradas (BRS 396, BRS 399, IAC 576, Fepagro RS13) e não registradas (Aceguá, Frita, Vassourinha) durante os anos agrícolas 2018/2019 e 2019/2020 em Santa Maria, RS, Brasil.

Número de Folhas no IAA		
Cultivar	Safra 2018/2019	Safra 2019/2020
Aceguá	29 c	24 a
BRS396	25 b	*
BRS 399	29 c	*
Frita	29 c	*
IAC 576	24 a	*
Fepagro RS13	33 d	32 c
Vassourinha	25 b	28 b

*não foi avaliado no ano agrícola 2019/2020.

No ano agrícola 2018/2019 a produtividade média de raízes tuberosas foi maior ($42,64 \text{ Mg ha}^{-1}$) que no ano agrícola 2019/2020 ($28,13 \text{ Mg ha}^{-1}$). Afirmarções na literatura indicam que a mandioca tolera a deficiência hídrica (El-Sharkaws, 2007), entretanto neste estudo foi observado uma redução de $14,51 \text{ Mg ha}^{-1}$ de raízes de mandioca no ano 2019/2020, no qual ocorreu déficit hídrico, o que está de acordo com o trabalho de Neto et al. (2019) que encontraram uma perda de 10 Mg ha^{-1} de raízes no ano com estiagem hídrica. A cultivar Vassourinha apresentou maior produtividade no ano agrícola 2018/2019, atingindo $55,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ (Figura 4A), próximo do potencial produtivo da cultura em ambiente subtropical que é de 60 Mg ha^{-1} (Borges et al., 2020), não diferindo das cultivares Fepagro RS13, Frita e BRS 399. Destaca-se, que as cultivares mais plantadas no Rio Grande do Sul são a Vassourinha e Aceguá e apresentaram uma diferença de produtividade de $18,9 \text{ Mg ha}^{-1}$.

Figura 4. Produtividade de raízes de mandioca, expressa em massa fresca (Mg ha^{-1}), nas cultivares de mandioca na safra 2018/2019 (A) e 2019/2020 (B) no experimento conduzido em Santa Maria, RS, Brasil.



No ano agrícola 2019/2020 a cultivar Fepagro RS13 diferiu estatisticamente da cultivar BRS 396 em produtividade de massa fresca de raízes, não havendo diferença entre as demais (figura 4B). A menor variabilidade de produtividade entre cultivares neste ano agrícola deve-se a baixa precipitação pluviométrica durante o ciclo de desenvolvimento da cultura da mandioca (Figura 1B). As menores produtividades foram observadas devido a deficiência hídrica, semelhante a resultados encontrados na literatura, no qual cultivares de mandioca sob déficit hídrico apresentaram reduções na produtividade de $34,39 \text{ Mg ha}^{-1}$ para $18,48 \text{ Mg ha}^{-1}$ de raízes de mandioca (Matos et al., 2016), e uma redução de 50% na produtividade quando submetido a deficiência hídrica, comparado com uma lâmina de irrigação de 100% (Neto et al., 2020). Destaca-se que, mesmo apresentando diferenças entre as produtividades, a cultivar com menor produtividade foi superior à média do estado do Rio Grande do Sul que é de $17,3 \text{ Mg ha}^{-1}$ (IBGE, 2020), ou seja, a média dos produtores de mandioca no Rio Grande do Sul podem aumentar a produtividade independente da cultivar que estão usando em suas lavouras.

Práticas de manejo como controle de plantas daninhas e adubação nitrogenada em cobertura são essenciais quando ocorre o IAA para que ocorra a expressão do potencial de produtividade da mandioca (Tironi et al., 2019). Em virtude disso, o número de folhas é um indicador morfológico prático e de fácil medida a campo no IAA para tomada de decisões relacionadas as práticas de manejo durante o ciclo da cultura para aumentar a produtividade de raízes e assim diminuir a atual lacuna de produtividade de mandioca.

Conclusões

O indicador morfológico número de folhas acumuladas pode ser utilizado para identificar a campo o início da acumulação de amido e auxiliar em práticas de manejo na cultura da mandioca.

Quando as plantas das cultivares de mandioca Aceguá, BRS 396, BRS 399, Frita, IAC 576, e Vassourinha estiverem com 25 a 30 folhas inicia a acumulação de amido nas raízes tuberosas. Já a cultivar Fepagro RS13 inicia a acumulação de amido nas raízes tuberosas com 33 folhas.

As cultivares BRS 399, Frita, Fepagro RS13 e Vassourinha apresentaram as maiores produtividades de raízes tuberosas.

Agradecimentos

Agradecemos a Alexandre Ferigolo Alves, Luiza Brum Rodrigues, Mariano Trachta, Moisés do Nascimento Freitas, João Colpo, pela ajuda na condução dos experimentos de campo. Este trabalho foi apoiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico (CNPq), Chamada Universal MCTIC/CNPq n.º 28/2018.

Referências bibliográficas

Borges JM, Zanon A.J, Silva RM, Balest D, Alves AF, Freitas CPO, Both V, Lima, AT Potencial de produtividade da mandioca em função da época de plantio em ambiente subtropical (2020) **Revista de ciências agroveterinárias** 19: 263,269. Doi.org/10.1590/1678-4499.0352

EMBRAPA. (2015) **Pesquisa desenvolve mandiocas biofortificadas nas cores creme, amarela e rosada**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/6812861/pesquisa-desenvolve-mandiocas-biofortificadas-nas-cores-creme-amarela-e-rosada>>. Acesso em: 22 junho, 2019.

El-Sharkawy, AM, Physiological characteristics of cassava tolerance to prolonged drought in the tropics: Implications for breeding cultivars adapted to seasonally dry and semiarid environments (2007) **Plant Physiol**, 19: 257-286. Doi.org/10.1007/s12892-016-0004-9

FAO - **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. (2018). Food Outlook: Biannual Report on Global Food Markets. Roma: FAO. [Accessed May 10 2019]. Available at: <https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/CA0239EN.pdf>.

HODGES TF Predict crop phenology. **Boca Raton**: CRC, 1991. 233p.

IBGE. **Levantamento sistemático da produção agrícola**. 2020. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/6588#resultado>. Acesso em: 1 de julho de 2020.

Kuinchtner A, Buriol GL (2001) Clima do estado do Rio Grande do Sul segundo a classificação climáticas de köppen e Thornthwaite. **Ciências Exatas** 2 (1): 171-182. doi.org/10.5902/1980509835337

Matos FS, Felício R, da Silva L M, Nascente AC de S, Custódio J PC, Guimarães RR, Santos PG de F, da Silveira, PS (2016). Produtividade de cultivares de mandioca sob déficit hídrico. **Agri-environmental sciences**, 2(1): 15-24. Recuperado de <https://revista.unitins.br/index.php/agri-environmental-sciences/article/view/186>.

Matthews RB, Hunt LA (1994) GUMCAS: a model describing the growth of cassava (*Manihot esculenta* L. Crantz). **Field Crops Research**, Amsterdam, 36: 69-84. Doi.org/10.1016/0378-4290(94)90054-X

Neto AG, Souza JM, Bonomo R, Campanharo A, Nascimento, AL (2020) Crescimento da parte aérea e produção de mandioca para mesa sob lâminas de irrigação. **AGRARIAN**, 13 (50): 504-512. Doi.org/10.1590/S1413-70542010000300008

Neto NN, Bonomo R, Souza JM, Nascimento AL, Magalhães AMP (2020) Produtividade e qualidade de mandioca para mesa em diferentes épocas de colheita e lâminas de irrigação. **Botucatu** 24 (4):704-718. Doi.org/10.15809/irriga.2019v24n4p704-718

Schons A, Streck NA, Kraulich B, Pinheiro DG, Zanon, A J (2007). Emissão de folhas e início de acumulação de amido em raízes de uma variedade de mandioca em função da época de plantio. **Ciência Rural** 37: 1586-1592. doi.org/10.1590/S0103-84782007000600013

Streck VE, Kämpf N, Dalmolin RSD, Klamt E, Nascimento PC, Giasson E, Pinto LFS Solos do Rio Grande do Sul (2018) 3º ed.

Tagliapietra BL, Zanon AJ, Silva MN, Alves AF, Freitas CPO, Tironi LF, Jiménez MSE, Cardoso PS, Santos ATL, Tonel G, Rodrigues LB, Richards NSPS, Streck NA (2019). **Mandioca para alimentação humana e animal**. Santa Maria: Editora Gráfica Palloti: 1-97

Tironi LF, Alves AF, Zanon AJ, Freitas CPO, Santos ATL, Cardoso PS, Tonel GP, Rodrigues LB, Tagliapietra BL, Silva MN, Streck NA. (2019). **Ecofisiologia da mandioca visando altas produtividades**. Santa Maria: Editora Gráfica Palloti: 1-136.

WILHELM WW, McMASTER GS. Importance of the phyllochron in studying development and growth in grasses (1995) **Crop Science**, Madison 35(1): 1-3. doi.org/10.2135/cropsci1995.0011183X003500010001x

4 DISCUSSÃO

Práticas de manejo que aumentem a produtividade de raízes a nível de lavoura precisam ser constantemente propostas pela pesquisa, por ser uma cultura cultivada predominantemente na agricultura familiar, por ser pouco tecnificada, e para aumentar a rentabilidade dos produtores. Nos tratamentos que não receberam fertilização N-P-K e não foi realizado o controle de plantas daninhas, foi observada uma redução na produtividade de matéria seca de raízes (Mg ha^{-1}) e na produção de MS de folhas, hastes e raízes durante o ciclo de desenvolvimento. Esse decréscimo pode ser atribuído à interferência das plantas daninhas ao competir com a cultura por água, luz e nutrientes (Alves Filho et al. 2015). No presente estudo foi verificado uma perda de aproximadamente 70% na produtividade de raízes devido a competição por plantas daninhas. Esse fato evidencia que o controle de plantas daninhas é um dos principais fatores que provocam perda de produtividade na lavoura de mandioca.

O potencial de produtividade de raízes simulado pelo modelo Simanihot para Ibarama-RS foi de $55,3 \text{ Mg ha}^{-1}$, 21% maior que a produtividade alcançada no experimento ($43,5 \text{ Mg ha}^{-1}$). A realização de práticas de manejo que visem manter a cultura livre da presença de plantas daninhas constitui uma ferramenta fundamental para atingir altas produtividades, visto que plantas daninhas e fertilidade limitam o desenvolvimento, crescimento e produtividade da mandioca, como foi encontrado em estudos na República Democrática do Congo que apresentou redução na produtividade conforme o menor número de capinas (Kintché, 2019).

As cultivares BRS 399, Frita, Fepagro RS 13 e Vassourinha apresentaram maiores produtividades de raízes em um ano com precipitações de 1830,5 mm, ou seja, acima da normal climatológica, comparado com o ano 2019/2020 com uma média de produtividade das cultivares de $42,6 \text{ Mg ha}^{-1}$ e $28,12 \text{ Mg ha}^{-1}$ no ano com 969,8 mm. As cultivares Frita e Fepagro RS 13 são plantas com maior estatura e podem ser utilizadas com duplo propósito, tanto para alimentação humana, quanto a animal, podendo ser utilizada para produção de silagem e feno. Em um ano com déficit hídrico as cultivares não apresentaram diferenças significativas, apresentando produtividades menores.

O número de folhas no IAA variou de 25 a 33 folhas para as sete cultivares que foram avaliadas. Determinar esse indicador morfológico, baseado em número de folhas, é um fator importante, pois é um estágio fenológico no qual está ocorrendo o transporte

de fotoassimilados para o principal órgão de reserva da planta de mandioca que são as raízes tuberosas. Nesse momento ocorre uma alteração na relação fonte/dreno, sendo necessário realizar práticas de manejo para suprir as demandas da planta, principalmente quanto ao requerimento de nitrogênio da planta (Schons, 2005, Tironi et al., 2019). Inclusive nos estudos 1 e 2 comparando a produtividade da cultivar Vassourinha do T1 em relação ao estudo 2 não apresentou diferença em produtividade, afirmando que a utilização de práticas de manejo como o uso de fertilizantes e aplicação de nitrogênio quando as plantas estão com 25 folhas são medidas eficientes para obter maiores produtividades.

A cultivar Vassourinha, é a mais plantada no estado do Rio Grande do Sul (RS), e juntamente com a Fepagro RS13, Frita, BRS 399 apresentaram maiores produtividades de massa fresca em relação as demais cultivares em um ano sem deficiência hídrica. Isso indica que essas cultivares apresentam características favoráveis para atender o mercado de mandioca de mesa, sendo a cultivar vassourinha de fácil arranquio, cozimento e descascamento, e se destacando pela sua adaptabilidade á diferentes tipos de solos do RS.

Buscamos determinar práticas de manejos que diminuam as lacunas de produtividades existentes na cultura da mandioca, para que possamos atingir altas produtividades. Com isso é necessário realizar o controle de plantas daninhas, aplicação de fertilizantes de acordo com o tipo de solo para a planta crescer e desenvolver, como evidenciado neste trabalho que obteve um incremento de 37 Mg ha⁻¹ de raízes de mandioca.

5 CONCLUSÕES

1 – A aplicação de fertilizante e o controle de plantas daninhas resultou em um aumento de 31,4 Mg ha⁻¹ na produtividade de raízes, diminuindo em 80% a lacuna de produtividade da cultura da mandioca, e um aumento de 50% na produção de matéria seca de folhas.

2 – O início de acumulação de amido varia entre 25 a 30 folhas dependendo da cultivar, sendo um indicador morfológico para aplicação da adubação nitrogenada.

6 REFERÊNCIAS

- Albuquerque, J.A.A., Evangelista, M.O., Mates, A.P.K., Alves, J.M.A., Oliveira, N.T., Sedyama, T., Silva, A.A., 2014. Occurrence of weeds in cassava savanna plantations in Roraima. **Plantas Daninhas** 32, 91–98.
- ALVES FILHO, P. P. C.; GALVÃO, J. R.; NEVES, L. B.; COSTA, I. R. Resposta da cultivar de mandioca roxinha à adubação NPK. **Revista Raízes e Amidos Tropicais**, v. 11, n.1, p.1-7, 2015.
- ALVES, A. A. C. Fisiologia da mandioca: **Aspectos socioeconômicos da mandioca**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2006, Cap.7, p. 138-169.
- ALVES, A.A.C.; SETTER, T.L. Response of cassava leaf area expansion to water deficit: cell proliferation, cell expansion and delayed development. **Annals of Botany**, v.94, p.605-613, 2002.
- BIRATU, G.K. et al., Cassava response to the integrated use of manure and NPK fertilizer in Zambia. **Heliyon**, v.4, p.1-23, 2018.
- Borges, J.M. et al., Potencial de produtividade da mandioca em função da época de plantio em ambiente subtropical. **Revista de ciências agroveterinárias**, v.19, p. 263,269, 2020.
- CATHERINE, J. et al. Cassava Yield and Economic Response to Fertilizer in Tanzania, Kenya and Ghana. **Soil Fertility and crop nutrition**, v.110, p. 1-7, 2018.
- Ezui, K.S. et al. Fertiliser requirements for balanced nutrition of cassava across eight locations in West Africa. **Field Crops Res.** v.185, p.69–78, 2016.
- FAO. 2013. FAOSTAT database. FAO, Rome. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC> (accessed 1 de julho. 2018).
- Fermont et al., Closing the cassava yield gap: An analysis from smallholder farms in East Africa. **Field Crops Research**, v.112, p.24-36, 2009.
- FONTES, J. R. A. et al. **Períodos de interferência de plantas daninhas na cultura da macaxeira, variedade aipim-manteiga, em Terra Firme do Amazonas**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2014. 7. P. (Embrapa Amazônia Ocidental, Circular Técnica 46).
- IBGE. **Levantamento sistemático da produção agrícola**. 2019. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/6588#resultado>. Acesso em: 1 de julho de 2019.
- KINTCHÉ, K. et al., Cassava yield loss in farmer fields was mainly caused by low soil fertility and suboptimal management practices in two provinces of the Democratic Republic of Congo. **European Journal of Agronomy**, v.89, p. 107-123, 2017.

LAGO, I.; STRECK, N.A.; BISOGNIN, D.A.; SOUZA, A.T.; SILVA, M.R. Transpiração e crescimento foliar de plantas de mandioca em resposta ao déficit hídrico no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.1415-1423, 2011.

NASCIMENTO, R.M. et al. Interferência de plantas daninhas na cultura da mandioca resposta à adubação NPK. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.14, p-409-418, 2017.

PERESSIN, V.A. Manejo integrado de plantas daninhas na cultura da mandioca. **Campinas: Instituto Agrônomo**, Editora IAC, 2013. 54p.

TIRONI, L. F. et al. Desempenho de cultivares de mandioca em ambiente subtropical. **Bragantia**, Campinas, v.74, n. 1, p.58-66, 2015.

SOUZA, L. S. et al. Aspectos socioeconômicos e agronômicos da mandioca. Cruz das Almas, Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, 2006. 817 p.

SOUZA, J. M. L. et al. Caracterização físico-química de farinhas oriundas de variedades de mandioca utilizadas no vale do Juruá, Acre. **Acta Amazonica**, v. 38, n. 4, p. 761 – 766, 2008.

STRECK, N.A. et al. Efeito do espaçamento de plantio no crescimento, desenvolvimento e produtividade da mandioca em ambiente subtropical. **Bragantia**, v. 73, p.407-415, 2014.

TUMUHIMBISE, R. et al. Genotype × environment interaction effects on early fresh storage root yield and related traits in cassava. **ScienceDirect**, v.2, p.329-337, 2014.

RÓS, A.B.; HIRATA, A.C.S.; NARITA, N. Produção de raízes de mandioca e propriedades química e física do solo em função de adubação com esterco de galinha. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.43, n.3, jul./set. 2013.

THOMÁS, P.C.; ALMEIDA, J.J.J.; Smiljanic, K.B.A. **EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS DA MANDIOCA** (*Manihot esculenta* Crantz). XI Semana Universitária, Ciência Alimentando o Brasil. Pesquisa de Fitotecnia da UNIFIMES. 2016. VALADARES FILHO, S.C. et al. **Tabelas brasileiras de composição de alimentos para bovinos**. 2.ed. Viçosa, MG: UFV, DZO, 2006.