

DIANA PATRICIA URREA RAMÍREZ

**MODELO PARA RECOMENDAÇÃO DE CORRETIVOS E
FERTILIZANTES PARA A CULTURA DA BATATA *Solanum tuberosum*
COM BASE NO BALANÇO NUTRICIONAL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título Magister Scientiae.

**VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2015**

Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa

T

U81m
2015

Urrea Ramirez, Diana Patrícia, 1987-

Modelo para recomendação de corretivos e fertilizantes para a cultura da batata *Solanum tuberosum* com base no balanço nutricional / Diana Patrícia Urrea Ramirez. – Viçosa, MG, 2015. vi, 79f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui apêndice.

Orientador: Victor Hugo Alvarez Venegas.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 66-76.

1. Solos - Adubação e fertilizantes. 2. Fertilidade do solo. 3. *Solanum tuberosum*. 4. Plantas - Nutrição. 5. Produtividade agrícola. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Solos. Programa de Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas. II. Título.

CDD 22. ed. 631.8

DIANA PATRICIA URREA RAMÍREZ

**MODELO DE RECOMENDAÇÃO DE CORRETIVOS E
FERTILIZANTES PARA A CULTURA DA BATATA *Solanum tuberosum*
COM BASE NO BALANÇO NUTRICIONAL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título Magister Scientiae.

APROVADA: 26 de fevereiro de 2015.

Hermínia Emília Prieto Martínez

Leonardus Vergütz

Reinaldo Bertola Cantarutti

Víctor Hugo Álvarez Venegas

(Orientador)

AGRADECIMENTOS

À Organização dos Estados Americanos, pelo programa de bolsas de estudo para estudantes da América Latina, pela gestão que fez para que hoje eu possa estar acabando meu mestrado no Brasil.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de estudo.

À Universidade Federal de Viçosa, por ter me dado a oportunidade de estudar o curso de Pós-graduação e pelos benefícios que recebi, ao ser tratada como mais uma pessoa da comunidade acadêmica, independente de minha condição de estrangeira.

Ao Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de realizar o Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas.

Ao Professor Victor Hugo Alvarez, pela orientação, a infinita paciência e a confiança que depositou em mim, durante o desenvolvimento da pesquisa.

Ao Professor Júlio César Lima Neves, pela coorientação e pela disposição que sempre teve para esclarecer minhas dúvidas.

Ao Professor Paulo Cezar Rezende Fontes, pelo assessoramento a respeito da aplicação do modelo na cultura da batata.

Às meus amigos que me acompanharam à distância, Marcela, Oscar, Gina, Karol, Susan, Yady, Lady, Alexa e Camilo.

Às maravilhosas pessoas que conheci no Brasil e que me acompanharam todo este tempo, especialmente à Lina, César, Diego, Álvaro e Katy.

Finalmente, à minha família, as pessoas mais importantes na minha vida, sua presença sempre foi um incentivo para mim, não é meu logro é seu.

RESUMO

URREA RAMÍREZ, Diana Patricia, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2015. **Modelo para recomendação de corretivos e fertilizantes para a cultura da batata *Solanum tuberosum* com base no balanço nutricional.** Orientador: Víctor Hugo Álvarez V. Coorientador: Júlio César Lima Neves.

A batata tem importância mundial em termos de consumo humano, que é comparável à de grandes culturas, como trigo, arroz e milho. A bataticultura brasileira não adota critérios técnico-científicos quanto à correção do solo e nutrição mineral da planta, comprometendo assim a rentabilidade. Já que a necessidade de fertilização varia de acordo com a produtividade esperada, é necessário ter um modelo que seja mais concordante com as diferentes realidades. O Departamento de Solos da UFV desenvolveu o Modelo de Recomendação de Corretivos e Fertilizantes FERTICALC, baseado no balanço entre o requerimento e o suprimento para obtenção da dose recomendada para cada nutriente. Assim, o objetivo do trabalho foi melhorar o sistema de recomendação de adubação para a cultura da batata, mediante o modelo para recomendação de corretivos e fertilizantes FERTICALC-Batata, elaborado por meio da sistematização e modelagem das informações disponíveis na literatura. O FERTICALC-Batata expressa tanto o requerimento, quanto o suprimento para cada nutriente em termos de dose, devendo ser a diferença entre ambos, igual à dose recomendada do nutriente via fertilizante. O requerimento é a demanda dos nutrientes, corrigidas pela taxa de recuperação dos mesmos pela planta, para atingir uma produtividade determinada, por ciclo de produção. A demanda resulta do somatório dos conteúdos dos nutrientes nos diferentes compartimentos da planta, para o caso da batata os compartimentos considerados foram: tubérculo, folhas, caules e raízes. Por outro lado, o módulo suprimento considera quatro tipos de fontes de nutrientes para a cultura: o suprimento pelas formas disponíveis no solo, pela matéria orgânica, pelos resíduos vegetais e finalmente, o suprimento de Ca e Mg pela calagem. Foram comparadas as doses recomendadas para N, P e K, pelo método tabelado da Quinta Aproximação (Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais) e os resultados obtidos com o modelo FERTICALC-Batata, nas simulações, dita comparação foi feita para a produtividade de 30 t/ha, e teve como resultado que as doses do N e do K, são equivalentes quando foram calculadas pelos dois métodos, mas, a dose do P, é muito menor no FERTICALC, o que provavelmente seja devido a uma superestimação das doses recomendadas na Quinta Aproximação. Também foi evidente a carência de dados suficientes para ter uma modelagem para cada uma das variedades de batata. Isto pode ser feito em futuras pesquisas, pois a exatidão vai melhorar com o incremento da estratificação das recomendações do FERTICALC.

ABSTRACT

URREA RAMÍREZ, Diana Patricia, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February 2015. **Liming and fertilizer recommendation model for potato crop *Solanum tuberosum* based in nutritional balance.** Adviser: Víctor Hugo Álvarez V. Co-Adviser: Júlio César Lima Neves.

Potato has importance in terms of human consumption is comparable to major crops such as wheat, rice and maize. The Brazilian potato cultivation does not meet technical-scientific criteria when soil correction and mineral nutrition of the plant are taken into account, which generates a decrease in the profitability. The need for fertilization varies according to the expected productivity; therefore, it is necessary to have a model which fits more to the different realities. The UFV's soil department has developed the Liming and Fertilizer Recommendation Model for Crops FERTICALC, based on a balance between the request and the supply to obtain the recommended dose for each nutrient. Thus, with the objective of improving the fertilizing recommendation system for the potato crop, this research has generated the model of Lime and Fertilizer FERTICALC-Potato, generated through the systematization and modeling of information available in the literature. The FERTICALC-Potato expressed both the requirement, and the supply for each nutrient in terms of dose. The difference between both, should be equal to the recommended dose of nutrient track fertilizer. The requirement is the demand of nutrients corrected by the rate of recovery of the plant to achieve a productivity determined by production cycle. The demand results from the sum of nutrient's contents in the different compartments of the plant. For potato the compartments considered were: tuber, leaves, stems and roots. Moreover, the supply module considers four types of nutrient sources for the crop: supply from available in the soil, organic matter, plant residues and finally the supply of Ca and Mg by liming. The results showed the importance of liming as Ca and Mg supply source. Was compared the recommended dose for N, P and K with the tabulated method of the "Quinta aproximação" (Recommendations for fertilizers and liming use in Minas Gerais), with the results of FERTICALC-Potato model, in the simulations, the comparisons was made for the productivity of 30 t/ha, obtaining as a result that, the N and K, is equivalent in both methods, but the P, is much smaller in FERTICALC, which is probably due to an overestimation of the requirement in the fifth approximation. It was also evident a lack of data, to have a modeling for each potato variety. This can be done with the help of future research, because the accuracy will improve with increasing stratification of FERTICALC recommendations.

SUMARIO

| | |
|---|----|
| 1. INTRODUÇÃO..... | 1 |
| 2.1 Características Gerais da Cultura | 3 |
| 2.1.1 Origem, taxonomia e características botânicas..... | 3 |
| 2.1.2 Requerimentos edafoclimáticos..... | 4 |
| 2.1.3 Importância econômica..... | 5 |
| 2.1.4 Qualidade nutritiva dos tubérculos | 7 |
| 2.2 Fisiologia do desenvolvimento da cultura da batata | 7 |
| 2.2.1 Fenologia de <i>S. tuberosum</i> | 7 |
| 2.2.2 Estágios do desenvolvimento da cultura e partição de assimilados..... | 9 |
| 2.2.3 Fluxo de carbono | 9 |
| 2.3 Exigências nutricionais da cultura..... | 11 |
| 2.3.1 Exportação de nutrientes..... | 12 |
| 2.4 Necessidade de calagem da cultura da batata | 13 |
| 2.5 Modelo FERTICALC..... | 14 |
| 3. MATERIAL E MÉTODOS..... | 17 |
| 3.1 Necessidades de calagem | 17 |
| 3.1.1 Método de neutralização do Al e elevação dos teores Ca+Mg (MG: Minas Gerais)..... | 17 |
| 3.1.4 Cálculo do suprimento de cálcio e magnésio pela calagem | 21 |
| 3.2 Desenvolvimento do sistema FERTICALC-Batata..... | 22 |
| 3.2.1 Módulo Requerimento | 22 |
| 3.2.1.1 Requerimento de nutrientes pela planta | 22 |
| 3.2.1.2 Requerimento de sustentabilidade..... | 28 |
| 3.2.2 Módulo Suprimento | 28 |
| 3.2.2.1 Suprimento pelo solo | 30 |
| 3.2.2.2 Suprimento pelos resíduos orgânicos..... | 33 |
| 3.2.2.3 Suprimento pela matéria orgânica..... | 35 |
| 3.2.2.4 Suprimento pela Calagem | 38 |
| 3.3. Dose recomendada | 38 |
| 3.4 Simulações no Modelo | 39 |

| | |
|--|----|
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 40 |
| 4.1 Calagem..... | 40 |
| 4.2 Modelo FERTICALC-Batata | 43 |
| 4.2.1 Requerimento do nutriente pela planta | 43 |
| 4.2.2 Suprimento de nutrientes | 51 |
| 4.3 Balanço nutricional pelo FERTICALC-Batata | 54 |
| 4.4 Recomendações de adubação do FERTICALC-Batata..... | 54 |
| 4.5 Comparações com outros métodos de recomendação | 57 |
| 4. CONCLUSÕES..... | 65 |
| 6. REFERENCIAS | 66 |
| 7. APENDICE | 77 |

1. INTRODUÇÃO

Apesar de a batata ser considerada apenas mais um item do grupo das hortaliças no Brasil, mundialmente, sua importância em termos de consumo humano é comparável à de grandes culturas, ficando atrás somente do trigo, arroz e milho (Hiroshi & Bernardes, 2013). É um dos dez alimentos mais importantes produzidos nos países em desenvolvimento (Espinal et al., 2005), cultivada em cerca de 130 países e consumida por mais de um bilhão de pessoas (CIP, 2011).

A produção mundial em 2009 foi de 329,5 Mt, numa área de 18,6 Mha (FAOSTAT, 2010). A produção brasileira de batata em 2012 foi 3,52 Mt em 130,4 kha, atingindo a produtividade média de 26,93 t/ha (AGRIANUAL, 2013), ocupando o lugar 18 como país produtor no mundo e o segundo na América do Sul depois do Peru (Hiroshi & Bernardes, 2013).

A adubação da cultura da batata é uma prática agronômica importante, permite incrementar notavelmente o rendimento e a qualidade dos tubérculos, precisando de um investimento alto em capital (Sierra et al., 2002). Segundo a ABBA (2008), a bataticultura brasileira não adota critérios técnico-científicos quando a correção do solo e nutrição mineral da planta. Esse fato pode comprometer a produtividade e afetar significativamente o custo de produção, pois, o consumo relativo de fertilizantes por unidade de área na cultura é muito alto, ocupando a primeira posição dentre as principais culturas, pelo que se deve dar especial atenção a este aspecto.

Na prática, as formas de recomendação da adubação estão baseadas no uso de tabelas feitas com calibrações regionais, de acordo com características do solo e com a cultivar. Esse método procura fazer uma classificação distinguindo classes de fertilidade, o que resulta em inconvenientes derivados da heterogeneidade do solo, que cambia de uma para outra localidade, e ficar numa mesma classe. Também a necessidade de fertilização varia de acordo com a produtividade esperada, assim, é necessário ter um modelo que seja mais concordante com a realidade da dinâmica do solo, a interação com a planta e o esgotamento dos nutrientes.

A modelagem é oriunda de uma área do conhecimento chamada análise de sistemas, que visa conceituar, integrar e generalizar o conhecimento científico pela simplificação da realidade, que é bem mais complexa, e que resulta em uma ferramenta de auxílio para simulações de diversos cenários e eventualmente, serve como ferramenta para a toma de decisões (Neto et al., 1998).

Os modelos são abstrações da realidade. A chave para uma efetiva modelagem está no equilíbrio entre o realismo e a abstração na reprodução do sistema. Não existe, portanto um modelo certo ou errado, mas sim, modelos com diversos graus de aproximação à realidade, para diversas circunstâncias (Muniz et al., 2007). Dessa forma, a modelagem permite a evolução segura de um sistema de recomendação de adubação, por sugerir mudanças cada vez mais refinadas, pela fundamentação lógica de sua constituição (Oliveira, et al., 2005).

De acordo a ideia proposta por Barros et al., (1995), com o software NUTRICALC para a cultura de eucalipto, e posteriormente adotada por Novais & Smyth (1999), para o cálculo do requerimento de P, o Departamento de Solos da UFV desenvolveu os Modelos de Recomendação de Corretivos e Fertilizantes FERTICALC, que procura resolver os problemas derivados do uso de tabelas, considerando assim, a dinâmica do solo, o suprimento de nutrientes nas frações mineral e orgânica, e o requerimento da cultura ajustado segundo a produção de matéria seca total por quilograma de nutriente absorvido.

Diante do anteriormente exposto, o objetivo de este trabalho foi desenvolver um sistema para recomendação de corretivos e fertilizantes para a cultura da batata fundamentado no balanço de nutrientes, mediante a construção do modelo FERTICALC-Batata.

2. REFERENCIAL TEORICO

2.1 Características Gerais da Cultura

2.1.1 Origem, taxonomia e características botânicas

A batata (*Solanum tuberosum* L.) é originária dos Andes peruanos e bolivianos na região do Lago Titicaca, onde já era cultivada há mais de 8 000 anos. A batata foi introduzida na Europa em 1573 através do território espanhol, inicialmente usada como planta ornamental, e passou a ser cultivada no continente europeu no século XVII. Sua importância nutricional foi logo reconhecida pelos governos de uma Europa devastada e dizimada pela Guerra dos Trinta Anos (1618–1648). Depois disso, foi difundida em outros continentes pela colonização europeia, inclusive no Brasil, em que inicialmente era cultivada em pequena escala em hortas familiares, sendo chamada de batatinha, assim como na construção de ferrovias ganhou o nome de batata inglesa, por ser uma exigência nas refeições dos técnicos vindos da Inglaterra (ABBA, 2008).

A batata pertence ao gênero *Solanum*, a espécie *Solanum tuberosum* pode ser dividida em duas subespécies: *Solanum tuberosum* subsp. *tuberosum*, produzida na Europa e América do Norte, e *Solanum tuberosum* subsp. *andigena*, restrita a plantações nos Andes na América do Sul. As diferenças morfológicas entre as duas espécies são muito pequenas, sendo a principal distinção entre as subespécies, a necessidade absoluta de fotoperíodo curto para tuberação em *andigena*, não sendo verificado o mesmo para *tuberosum* (Almeida, 2006).

A planta possui caules aéreos e subterrâneos especializados: os primeiros são herbáceos, eretos, de secção angulosa e ramificação simpoidal, e os segundos podem ser divididos em dois tipos os estolões e os tubérculos. O tubérculo é um caule modificado que se forma na extremidade de um estolho, acumula amido como substância de reserva e possui entrenós cujas gemas são chamadas olhos. Uma vez maduro o tubérculo possui periderme (casca), córtex, anel vascular e medula central. A forma é geralmente redonda ou oval alongada. A cor da polpa geralmente é branca ou amarela, e da casca varia entre castanho-claro, vermelho ou violeta (Almeida, 2006).

2.1.2 Requerimentos edafoclimáticos

Radiação e fotossíntese

O ponto de compensação da luz para as folhas da batata está entre os 10 a 20 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ de fótons (Corchuelo, 2005). Estes valores indicam que respondem fotosinteticamente a condições de sombra, mas apresentam adaptabilidade a condições de radiação relativamente altas.

Requerimentos hídricos para o desenvolvimento da cultura

Já que o sistema radicular não é tão extenso, se requer um solo com conteúdos ótimos de água e bem drenados, para que as raízes tenham uma disponibilidade suficiente de água e uma oxigenação adequada. A seca induz fechamento dos estômatos, com baixas taxas de fixação de CO_2 e conseqüentemente prematura senescência foliar, o que indica que a batata é uma espécie mesofítica muito sensível ao estresse hídrico (Corchuelo, 2005).

Fotossíntese na batata

A temperatura ótima na superfície foliar para a fotossíntese na cultura da batata é muito ampla, oscilando entre os 18 e 24 °C. A resposta ao “frio” e “congelamento” varia amplamente entre os diferentes genótipos. As baixas temperaturas ocasionam redução na taxa fotossintética e tem efeitos nocivos no crescimento dos cultivares, nas relações hídricas e nos processos de translocação e distribuição de C.

Na fotossíntese o CO_2 fixado é reduzido a carboidratos, que são importantes para a produção de tubérculos e de outros órgãos, tais como raízes principais e secundárias, caules, primários, secundários e folhas (Rodríguez, 2001). A produção de matéria seca é determinada pelo equilíbrio entre fotossíntese e respiração. A batata é uma espécie classificada como pouco eficiente na fixação de CO_2 , fato que afeta o crescimento e a produção de matéria seca.

Segundo Fuentealba (2001), a batata não tem qualidades especiais para resistência à seca, os estômatos permanecem abertos continuamente, exceto nas

horas do crepúsculo e em casos de murchamento, o que explica a necessidade de água e ambiente úmido para que a planta expresse o máximo potencial produtivo.

Já que não tem a possibilidade da ativação dum mecanismo de bloqueio que irá reduzir a perda de água.

A oferta de batata no Brasil praticamente ocorre durante todo ano, devido a diferentes épocas de plantio conforme o quadro 1. Com relação a produção anual brasileira, aproximadamente metade da oferta ocorre no período de dezembro a março, da safra oriunda do plantio das águas. Também ocorrem boas produções no período de abril a maio e de agosto a setembro (Campos & Scotti, 1995).

Quadro 1. Período de plantio das safras de batata no Brasil

| Safra | Características | Época de plantio |
|-------|-----------------|----------------------------|
| 1 | Das águas | Agosto a novembro |
| 2 | Meia água | Dezembro e fevereiro/março |
| 3 | De inverno | Abril a junho |

Adaptado de: Campos & Scotti, 1995

2.1.3 Importância econômica

A batata é importante no sistema de alimentação mundial, é a quarta cultura de maior importância depois do trigo, arroz e milho e sua produção representa 50 % da produção mundial de raízes de tubérculos. O maior fluxo comercial se realiza, tanto a nível mundial como na América do Sul, como batata processada (ODEPA, 2010).

Até o início de 1990, quase a totalidade da batata se produzia e consumia na Europa, América do Norte e nos países da antiga União Soviética. Desde então, tem se ocorrido um espetacular aumento da produção e da demanda de batata na Ásia, África e América do Sul, em que a produção tem aumentado de menos de 30 Mt no princípio do decênio de 1960 a mais de 165 Mt em 2007. Em 2005, pela primeira vez, a produção de batata dos países em desenvolvimento excedia a dos países desenvolvidos. China tem se convertido no primeiro produtor mundial de batata (FAO, 2010).

Quanto à produtividade, ao nível mundial, a América do Sul ocupa o último lugar comparada com os outros continentes e com América do Norte

(Quadro 2) que alcançam produtividades maiores de 40 t/ha. O Peru e o Brasil são os principais produtores de batata na América do Sul, com mais de 3,3 Mt por ano, numa área de 270 e 142 kha e rendimentos de 12,6 e 23,7 t/ha, respectivamente. A Argentina e a Colômbia ocupam o terceiro e quarto lugar como produtores, com uma produção de 1,9 Mt e rendimentos de 28,7 e 17 t/ha (FAOSTAT, 2010).

Quadro 2. Produção de batata do mundo por ano.

| | Área cultivada | Quantidade | Rendimento |
|------------------|----------------|---------------|-------------|
| | Mha | Mt | t/ha |
| África | 1,54 | 16,71 | 10,8 |
| Asia e Oceanía | 8,73 | 137,34 | 15,7 |
| Europa | 7,47 | 130,220 | 17,4 |
| América do Sul | 0,96 | 15,68 | 16,3 |
| América do Norte | 0,62 | 25,34 | 41,2 |
| MUNDO | 19,32 | 325,30 | 16,8 |

Fonte: Adaptado de FAOSTAT, 2010

No Brasil, o rendimento médio por área vem aumentando: em 1991 a produtividade média nacional era de 14,1 t/ha, em 2000 foi de 17,8 t/ha (FAOSTAT, 2010). A Região Sudeste se destaca, porque ali se concentra mais da metade da produção nacional com produtividade média de 26,31 t/ha, depois vem à região Sul, com média de 18,61 t/ha (Quadro 3).

Dentre os estados da região Sudeste, Minas Gerais apresentou produtividade de 26,60 t/ha com uma participação de 32 % do produzido no Brasil, São Paulo com 22,66 t/ha e Espírito Santo, 15,21 t/ha. Dentre os estados da região Sul, o Paraná apresentou maior produtividade com 20 t/ha e participação de 22 % no total de produção brasileira de batata (ABBA, 2001).

Quadro 3. Produção Brasileira da batata por ano

| | Área cultivada | Quantidade | Rendimento |
|---------------|----------------|------------------|--------------|
| | ha | t | t/ha |
| Nordeste | 8 102 | 293 730 | 36,25 |
| Sudeste | 69 019 | 1 816 002 | 26,31 |
| Sul | 67 839 | 1 076 643 | 18,61 |
| Centro Oeste | 6 027 | 232 250 | 38,53 |
| Brasil | 140 987 | 3 418 625 | 24,25 |

Fonte: AGRIANUAL, 2007

2.1.4 Qualidade nutritiva dos tubérculos

O ano 2008 foi declarado pela Organização das Nações Unidas, como o ano Internacional da Batata, como sinônimo da luta contra a fome no mundo. Também porque o cultivo do vegetal tem crescido nos países em desenvolvimento pelas suas amplas propriedades como alimento, já que, depois do ovo e do leite, o tubérculo é o terceiro alimento com maior valor biológico.

A batata apresenta em média 2,1 g/kg de proteína na matéria fresca, o seja, aproximadamente 104 g/kg na matéria seca do tubérculo, isto pode ser considerado excelente se levamos em conta que o trigo e o arroz apresentam valores na ordem de 130 e 75 g/kg, respectivamente.

Com relação às vitaminas, a batata é uma importante fonte de vitaminas para a nutrição humana, principalmente ácido ascórbico, as principais vitaminas do complexo B presentes são tiamina, riboflavina, niacina, piridoxina e ácido fólico (ABBA, 2008), indicando que poderá ser uma das melhores alternativas alimentares para os povos dos países subdesenvolvidos ou em desenvolvimento.

2.1.5 Usos da batata

O tubérculo da batata é usado principalmente como alimento para as pessoas, também tem utilizações na indústria de alimentos (batata processada em diferentes formas como flocos ou chips, pré-cozida, pré-frita congelada, bolinhas, farinhas e amidos), alimentação de animais (como forragem e silagem) e na indústria química (álcool para licor de consumo humano, etanol ou como diluente na indústria de cosméticos, lacas e tinturas). Também usada como amido solúvel, como dextrina (em curtumes, cartão, papel, carimbos e colas), e como dextrose (indústria cervejeira, pó para gelatinas, sorvetes e conservas), entre outros (Estrada, 2008).

2.2 Fisiologia do desenvolvimento da cultura da batata

2.2.1 Fenologia de *S. tuberosum*

O desenvolvimento dum cultura pode se dividir em: crescimento vegetativo, desenvolvimento das partes vegetativas coletáveis, desenvolvimento reprodutivo e senescência. Segundo a escala para mono e dicotiledôneas, BBCH

(Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt and Chemical Industry), proposta por Hack et al. (2001) as principais características dos estágios fenológicos são resumidas no quadro 4.

Quadro 4. Estágios fenológicos da cultura da batata segundo a escada BBCH

| Código¹ | Estado | DDE² | Descrição |
|---------------------------|---------------------------------|------------------------|---|
| 0.0 | Brotacão – Germinação | 0 | Os tubérculos terminam o processo de latência; as gemas se desenvolvem dando lugar aos novos brotos; os quais quebram a superfície do solo e emergem. Quando isto ocorre em 50% das plantas, determina-se a emergência. |
| 0.9 | | | |
| 1 | Desenvolvimento de folhas | 29 | As folhas aparecem ao longo do desenvolvimento do caule e os ramos; as folhas começam a crescer até alcançar um comprimento maior que 4 cm. |
| 1.9 | | 81 | |
| 2 | Formação de brotos laterais | 29 | Formação de brotos laterais visíveis. |
| 3 | Elongação dos brotos principais | 67 | Processo de cobertura do cultivo devido à elongação das hastes e os ramos. |
| 3.9 | | | |
| 4 | Formação do tubérculo | 40 | Compreende do alargamento do estolho até alcançar o máximo da massa total do tubérculo, no qual se desprendem facilmente os estolões e a pele já não é removível com facilidade. |
| 4.9 | | 144 | |
| 5 | Aparição do órgão floral | 54 | Da aparição dos primeiros botões florais da primeira inflorescência na haste principal, até a aparição das primeiras pétalas nessa inflorescência. |
| 5.9 | | 67 | |
| 6 | Floração | 81 | Primeiras flores abertas até o final da floração. |
| 6.9 | | 95 | |
| 7 | Desenvolvimento do fruto | 93 | Inicia-se com a aparição das primeiras bagas e finaliza quando elas alcançam seu máximo tamanho. |
| | | 124 | |
| 8 | Maturação dos frutos e sementes | | Os frutos começam a trocar de cor do verde até o marrom escuro; as sementes passam de uma cor pálida até escura. |
| 9 | Senescência | 124 | Começa com o amarelamento das folhas até que se tornam marrons e finalmente morrem; as hastes perdem sua cor verde a secam. Por último o tubérculo é coletado. |
| | | 144 | |

¹A escada BBCH divide o desenvolvimento duma cultura em dez fases principais usando os números de 0 a 9 na ordem ascendente, esses estados estão divididos em dez fases secundárias codificadas também de 0 a 9, a utilização de dois dígitos oferece maior precisão na descrição dos estados fenológicos. ²Dias depois da emergência

Fonte: Hack et al., 2001

2.2.2 Estágios do desenvolvimento da cultura e partição de assimilados

Do ponto de vista do destino de assimilados disponíveis para o desenvolvimento, a batateira tem três estágios bem diferenciados (Kooman & Haverkort, 1994).

Estágio 1: vai desde a plantação até o início da tuberização. No início do ciclo a fonte principal de assimilados, são os que estão armazenados na semente, e depois, os produzidos pela área foliar, que são destinados ao crescimento das folhas, hastes e raízes, e no final da fase também dos estolões, neste estágio a planta alcança 200 – 300 cm² da área foliar.

Estágio 2: vai do início da tuberização até o final do crescimento da folhagem. Neste estágio os assimilados disponíveis se compartilham entre o crescimento da área foliar e o crescimento dos tubérculos e estolões. Ao longo deste segundo estágio, na medida em que a planta tem maior quantidade de tubérculos os que aumentam sua força como drenos, uma porção crescente dos assimilados disponíveis vão para esta parte da planta, em detrimento de crescimento da folhagem. Detém-se a ramificação e a aparição das novas folhas, com o que para totalmente o crescimento da folhagem.

Estágio 3: vai desde o final do crescimento da folhagem até o final do crescimento da cultura. O final do crescimento ocorre pela senescência da folhagem. A área foliar neste estágio começa a diminuir porque não há desenvolvimento de folhas novas, as mais velhas vão morrendo e a área foliar no seu conjunto vai gradualmente diminuindo sua eficiência fotossintética, até que não seja suficiente para se manter o crescimento dos tubérculos. Neste estágio então, todos os assimilados disponíveis destinam-se ao crescimento dos tubérculos.

2.2.3 Fluxo de carbono

Este processo está dividido em cinco partes, a primeira fase é a fixação do C na fotossíntese, o segundo é a partição do C fixado na folha em sacarose e amido. A sacarose está disponível para exportação rápida a partir do tecido foliar, já o amido é acumulado na folha para ser remobilizado durante a noite. Na planta de batata o amido é retirado na ordem inversa da sua formação, o produzido

imediatamente antes do período de escuridão é o primeiro a ser mobilizado (Dwelle, 1990). Oparka et al. (1987; citados por Dwelle, 1990), identificaram um “pool” de armazenamento ao longo prazo de amido nas folhas, que pode estar disponível para ambos (os tubérculos e as folhas) ao longo dum período de várias semanas. A terceira fase do fluxo de C é a carga de sacarose no floema, que é um processo ativo, que precisa de energia. A quarta fase é a translocação a longa distância conhecida como fluxo de massa (Dwelle, 1990). A quinta fase é a descarregamento do floema, e utilização dos assimilados pelos tecidos dreno.

Um dreno ativo deve manter baixas concentrações de sacarose no sitio do dreno, este processo é mediado por transportadores, também a turgidez celular parece influenciar o processo de transformação de sacarose em amido. Tem sido sugerido que a sacarose sintase desempenha um papel importante na determinação do potencial relativo de dreno dos tubérculos de batata (Dwelle, 1990).

Em batata, depois do inicio da tuberização aumenta a taxa fotossintética em duas ou três vezes, e na mesma proporção os assimilados são transportados das folhas até os tubérculos. Tem sido relatado que as taxas de fotossíntese são mínimas no momento da iniciação da tuberização, máximo durante o enchimento dos tubérculos e declina no momento em que a cultura atinge 60 - 70 % do rendimento máximo (Dwelle, 1990).

Ñustez et al., (2009), testaram diferentes variedades de batata a acumulação e distribuição da matéria seca até as diferentes partes da planta, que são processos importantes influenciados pelas condições ambientais e que determinam a produtividade numa cultura.

A conclusão relevante do trabalho de Ñustez et al. (2009), é a identificação do estágio crítico de enchimento do tubérculo que foi no final do ciclo da cultura, em que o índice de colheita que relaciona a massa do tubérculo com massa total da planta, $IC = 100 \times mMS_{tub}/mMS_{Pl}$.

O índice passa de 53 % na semana 14, a 82 % na semana 18, assim, eles consideraram as semanas 12-18 o período em que a maioria da massa de matéria seca corresponde à acumulação no tubérculo, no entanto isto depende da habilidade do dreno para atrair compostos de C dos órgãos fonte, neste estágio a planta requer bom subministro hídrico, pelo fato do maior incremento da massa de

matéria seca da batata, sendo que este fator pode determinar os rendimentos da cultura.

2.3 Exigências nutricionais da cultura

A batata é uma planta que se adapta a condições de solos com pH ácido, entre 4,5 e 6. É considerada como uma espécie tolerante a concentrações elevadas de acidez trocável.

É uma cultura exigente em adubação, caracteriza-se pela elevada extração de N e, principalmente, de K que pode ser até o dobro da demanda do N, especialmente pelos tubérculos (Quadro 6). Contudo, o excesso de N é, em geral, prejudicial, acarretando desenvolvimento vegetativo exagerado, reduzindo assim as colheitas e a qualidade dos produtos. Além disso, aumenta a predisposição das plantas às doenças (Raij et al., 1985). A cultura requer a aplicação de altas quantidades de P, especialmente no momento da semeadura, pelos fenômenos de adsorção e de fixação de P em solos ácidos, devido à presença de Fe e Al. As maiores demandas ocorrem ao redor de 50 e 60 d depois da emergência e existe um particular sinergismo entre N, P e K aplicados em conjunto (Herrera et al., 2000).

Quanto às funções dos macronutrientes na planta, o K favorece a translocação dos carboidratos, melhora o uso eficiente da água pela planta, a qualidade do produto coletável e, portanto, o preço no mercado. Esse elemento tem um papel importante na formação de tubérculos, razão pela que a sua deficiência, causa redução da produção (Mendonça & Peixoto, 1991).

A disponibilidade do N no solo está diretamente relacionado com o desenvolvimento da planta de batata e o crescimento dos tubérculos, de modo que, raramente se tem disponibilidade suficiente de N no solo, havendo a necessidade de suplementação pela aplicação de fertilizante, em dose apropriada (Gil, 2001). No entanto, o excesso de N não permite uma adequada coloração da batata frita, devido a um incremento no conteúdo de açúcares redutores no tubérculo que produz um escurecimento das frituras (Sierra et al., 2002).

Dentre os micronutrientes o B é o mais importante, isso porque a cultura apresenta comumente deficiência desse elemento. Para os demais micronutrientes,

mesmo quando em teores baixos no solo, a cultura normalmente não responde às aplicações (Raij et al., 1985).

Para diagnose foliar o procedimento recomendado é amostrar 30 plantas, aos 30 d após germinação, retirando a terceira folha a partir do tufo apical (Raij et al., 1985).

Quadro 5. Conteúdo de macronutrientes na planta inteira (extração) e nas raízes e tubérculos (exportação), para uma tonelada de produto colhido, e produtividade comumente observada

| Cultura | Planta inteira | | | | Raízes e tubérculos | | | | Produtividade t/ha |
|---------------|---------------------------------------|-----|---|-----|---------------------|-----|---|-----|-----------------------|
| | N | P | K | S | N | P | K | S | |
| | -----kg/t de raízes e tubérculos----- | | | | | | | | |
| Batata | 5 | 0,5 | 7 | 0,3 | 3 | 0,3 | 4 | 0,1 | 20-30 |

Adaptado de: Raij et al., 1985

2.3.1 Exportação de nutrientes

As altas produtividades da cultura de batata implicam igualmente em alta exportação de nutrientes, estas quantidades dependem de vários fatores, como as exigências da variedade, regímen hídrico, temperatura, produção e manejo da cultura.

No quadro 6, se indicam os requerimentos nutricionais de N, P₂O₅, K₂O, Mg e S para diferentes produtividades. Na guia Microfertisa (2005), para a produtividade de 40 t/ha, indicam uma exportação de 60 kg/ha para Ca e para micronutrientes de 3,2 kg/ha de Fe, 300 g/ha de Zn, 980 g/ha de Mn, 250 g/ha de B e 100 g/ha de Cu.

Quadro 6. Exportação de nutrientes da batata para diferentes produtividades

| Nutriente | Produção (t/ha) | | |
|-----------------------------------|---------------------------|-----|-----|
| | 20 | 40 | 50 |
| | Exportação (kg/ha) | | |
| N | 120 | 210 | 300 |
| P₂O₅ | 40 | 70 | 100 |
| K₂O | 250 | 430 | 600 |
| Mg | 20 | 40 | 60 |
| S | 10 | 20 | 25 |

Adaptado de Guerrero, 1998

A maior demanda de nutrientes da cultura apresenta-se aos 50 d de emergência das plantas (Grandet & Lora, 1978), devido a uma maior intensidade de crescimento e, com ela, uma maior produção da matéria seca, um incremento de raízes e estolões, assim como da área foliar.

A respeito da dinâmica de absorção dos nutrientes ao longo do ciclo da batata, Yorinori (2003) para uma produtividade de 24 t/ha, reporta a seqüência de acúmulo máximo de nutrientes para a variedade Atlantic nas safras das águas e da seca. Na safra das águas foi: $N > K > Ca > P > Mg > S > Fe > Mn > Zn > B > Cu$. Na safra da seca, o K trocou de posição com o N, e o P com o Ca. O acúmulo máximo dos nutrientes depende da safra e do nutriente: N (140 e 119); P (17,6 e 15,2); K (134 e 139); Ca (21,7 e 14,6); Mg (14,3 e 6,9); S (10,8 e 14,6) em kg/ha; B (107 e 84,3); Cu (43,5 e 38,9); Fe (1 229 e 790); Mn (250 e 130); Zn (156,6 e 124,6) em g/ha, para as safras das águas e da seca, respectivamente.

2.4 Necessidade de calagem da cultura da batata

Apesar da batata ser considerada planta tolerante à acidez do solo, existe resposta positiva ao uso de calcário, provavelmente associado à fatores indiretos, como a redução dos efeitos daninhos de altas concentrações de Al^{3+} e de Mn^{2+} , bem como pelo aumento da disponibilidade de P (EMBRAPA, 2005).

Na região sul do Brasil, a batata é cultivada em solos predominantemente ácidos, pobres em Ca^{2+} e Mg^{2+} e com altos teores de Al^{3+} e de Mn^{2+} . Em função disto, se recomenda o uso de calcário dolomítico. Assim, a correção da acidez dos solos, pela calagem, é uma das práticas culturais que apresentam um alto benefício e um baixo custo. Mesmo quando cultivada em áreas arrendadas, o que é de uso relativamente comum no cultivo da batata, a calagem é uma prática economicamente viável (EMBRAPA, 2005).

No Brasil, os critérios para recomendação de calagem são vários, segundo os objetivos específicos e princípio analítico envolvido. Destaca-se o método da neutralização do Al, com elevação dos teores de Ca e Mg trocáveis, e de saturação por bases. Embora cada método tenha objetivos específicos, todos eles convergem ao mesmo ponto, que visa corrigir não apenas a acidez ativa (H^+ solução), mas também a acidez trocável (Al^{3+}) e acidez potencial ($H+Al$), além da correção da deficiência de Ca e Mg.

A batata é uma espécie que tem alta resposta a aplicação de fertilizantes, pela baixa densidade radicular, que implica menor capacidade de exploração do perfil, alta resposta às doses de nutrientes aplicados e maior requerimento de água no solo (Sierra et al., 2002)

A produtividade da cultura está estreitamente relacionada com a população de plantas por área e a variedade selecionada, assim, na Quinta Aproximação para Minas Gerais, sugere no espaçamento de $0,80 \times 0,30$ m e uma produtividade esperada de 30 t/ha (Fontes, 1999), as quantidades de macronutrientes relacionados no quadro 7.

Quadro 7. Recomendações de adubação mineral com NPK para Batata.

| Disponibilidade de P ou de K | Dose total | | |
|---------------------------------|-------------------------------|------------------|-----|
| | P ₂ O ₅ | K ₂ O | N |
| | ----- kg/ha ----- | | |
| Baixa | 420 | 350 | 190 |
| Média | 300 | 220 | 190 |
| Boa | 120 | 150 | 190 |
| Muito Boa | 50 | 0* | 190 |

*Podem-se aplicar 150 kg/ha para repor a quantidade exportada pela batata colhida

Adaptado de: Fontes (1999)

O mesmo autor menciona que é recomendável complementar o programa de nutrição da cultura com adubação orgânica a critério do técnico.

Para adubação com Zn e B ele recomenda aplicar, no plantio, 2 kg/ha de B e 4 kg/ha de Zn, e dispensar esta adubação, se estes nutrientes tiverem sido aplicados nos dois últimos cultivos.

2.5 Modelo FERTICALC

Utilizando os princípios do balanço nutricional, o FERTICALC-Batata combina modelos mecanísticos e empíricos, utilizando a menor quantidade de informações possível, sem, comprometer a exatidão das recomendações (Deus, 2012). As recomendações a partir do FERTICALC-Batata são baseadas no balanço nutricional entre perdas e ganhos de nutrientes no sistema solo-planta, que foi obtido pela diferença entre o requerimento do nutriente pela cultura e seu suprimento pelo solo, os resíduos vegetais e a matéria orgânica.

No FERTICALC-Batata se expressa tanto o requerimento (rq), quanto o suprimento (su) para cada nutriente em termos de dose, devendo ser a diferença entre ambos igual à dose recomendada do nutriente ($drNu_i$) via fertilizante (Oliveira, et al., 2005).

O requerimento ($rqNu_i$) é a demanda (dNu_i) dos nutrientes corrigidas pela taxa de recuperação dos mesmos pela planta ($trNu_i_Pl$) (Alvarez V. et al., 2014), para atingir uma produtividade determinada, por ciclo de produção.

$$rqNu_i = dNu_i / trNu_i_Pl \quad (\text{Equação 1})$$

A dNu_i resulta do somatório dos conteúdos (c) dos nutrientes (i) nos diferentes compartimentos da planta (j), para o caso da batata os compartimentos considerados foram: tubérculo (t), folhas (f), caules (c) e raízes (r), de modo que a demanda foi obtida pela equação 2:

$$dNu_i = cNu_{i_t} + cNu_{i_f} + cNu_{i_c} + cNu_{i_r} \quad (\text{Equação 2})$$

O conteúdo do Nu_i , é o resultado de dividir a produtividade esperada no compartimento (j) (mMS_j), pelo coeficiente de utilização biológica (CUB_{ij}), que é uma medida da eficiência da planta em converter nutriente absorvido em matéria seca em kg/kg para macronutrientes e g/kg para micronutrientes (Santos et al., 2008) do nutriente i no compartimento j :

$$cNu_{ij} = mMS_j / CUB_{ij} \quad (\text{Equação 3})$$

E a $trNu_i_Pl$, do nutriente aplicado ao solo como fertilizante, é considerada, pois a planta não absorve 100 % do que foi adicionado, devido a fatores como perdas e competição do solo com a planta (Santos et al., 2008). Esta taxa é uma medida da eficiência da planta.

Por outro lado, o módulo suprimento considera três tipos de fontes de nutrientes para a cultura; o suprimento pelas formas disponíveis no solo ($suNu_i_Sol$), pela matéria orgânica ($suNu_i_MOS$) e pelos resíduos orgânicos ($suNu_i_ROrg$), resultando na equação 4:

$$suNu_i = suNu_i_Sol + suNu_i_MOS + suNu_i_ROrg \quad (\text{Equação 4})$$

O $suNu_i_Sol$ se obtém com o teor (t) do nutriente encontrado nas análises, e corrigido pela taxa de recuperação do extrator ($trNu_i_Ext$):

$$suNu_i_Sol = tNu_i / trNu_i_Ext \quad (\text{Equação 5})$$

A $trNu_i_{Ext}$ varia com a capacidade tampão (CT), e conseqüentemente com a concentração de argila, também com a dose e localização do fertilizante, o extrator e a fonte fertilizante utilizada.

O balanço no FERTICALC-Batata pode ser sumarizado assim:

$$drNu_i = (rqCul + rqSus) - (suSol + suMOS + suROrg) \quad (\text{Equação 6})$$

Em que, $drNu_i$: dose recomendada do nutriente i ; $rqCul$: Requerimento da cultura; $rqSus$: Requerimento de sustentabilidade; $suSol$: Suprimento pelo solo; $suMOS$: Suprimento pela matéria Orgânica do solo; $suROrg$: Suprimento pelos Resíduos Orgânicos

O sistema leva em consideração o requerimento de sustentabilidade $rqSus$ para manter e melhorar a fertilidade do solo a longo prazo, ou para cultivos futuros, procurando-se de acordo com o proposto por Deus (2012), não considerar a totalidade das reservas dos nutrientes trocáveis no solo, como fonte.

Segundo Cantarutti et al (2007), uma das vantagens na utilização de modelos como o FERTICALC, para cálculo das doses de nutrientes é a possibilidade de solucionar processos complexos associados aos efeitos de múltiplas características de solo, possibilitando a simulação de várias situações ou condições de produção, diferente do modelo expresso nas tabelas de recomendação. O FERTICALC apresenta três módulos: o primeiro, que estima o requerimento; o segundo, que estima o suprimento de nutrientes, e o terceiro, que calcula o balanço entre os requerimentos e o suprimento, e estima as quantidades de nutrientes, corretivos e fertilizantes a serem aplicados para atingir a demanda da cultura. O FERTICALC foi desenvolvido no DPS/UFV até agora para Arroz (Rafaelli, 2000), Milho (Carvalho, 2000), Tomate (Mello, 2000), Café (Prezotti, 2001), Cana de açúcar (Freire, 2001), Banana (Oliveira, 2002), Coco (Rosa, 2002), Soja (Santos, 2002), Algodão (Possamai, 2003), Teca (Oliveira, 2003), Pastagens (Santos, 2003), Abacaxi (Silva, 2006), Meloeiro (Deus, 2012), Laranja (Stahring, 2013), Orquídea (Santos, 2014).

3. MATERIAL E MÉTODOS

Para o desenvolvimento do modelo FERTICALC-Batata, foram calculadas as necessidades de calagem, pelos dois métodos propostos pela Quinta Aproximação de Recomendações para uso de Corretivos de Fertilizantes de Minas Gerais (Alvarez V. & Ribeiro, 1999), e posteriormente foi feito o cálculo das recomendações de adubação para um ciclo (100 d) da cultura da batata.

3.1 Necessidades de calagem

Para fazer as simulações da necessidade da calagem com o modelo FERTICALC-Batata, se utilizaram dados de oito tipos de solo, em que o P- rem foi o critério utilizado para marcar as diferenças dentre eles (Quadro 8). As necessidades de calagem foram estimadas pelos dois métodos atualmente recomendados na quinta aproximação: 1. Neutralização do Al e elevação dos teores de Ca+Mg e 2. Saturação por bases.

3.1.1 Método de neutralização do Al e elevação dos teores Ca+Mg (MG: Minas Gerais)

$$NC = Y [Al^{3+} - (m_t.t/100)] + [X - (Ca^{2+} + Mg^{2+})] \quad (\text{Equação 7})$$

Em que: Y: valor variável em função do poder tampão de acidez do solo (PTA), que pode ser estimado de acordo com a textura do solo ou com o valor de P-remanescente (Quadro 9); Al^{3+} : acidez trocável, em $cmol_c/dm^3$; m_t : máxima saturação por Al^{3+} tolerada pela cultura, em %; t: CTC efetiva, em $cmol_c/dm^3$; X: valor variável em função dos requerimentos de Ca e Mg pelas culturas; $Ca^{2+}+Mg^{2+}$: teores de Ca e de Mg trocáveis, em $cmol_c/dm^3$. O uso da determinação do P-rem como estimador da Capacidade Tampão do Solo (CT), no lugar do teor de argila, além das vantagens práticas e operativas que apresenta, deve-se ao fato de a CT e o valor de P-rem dependerem não somente do teor de argila, mas também da sua mineralogia e do teor de matéria orgânica do solo.

Quadro 8. Teores considerados no desenvolvimento da base de dados para o FERTICALC-Batata, baseado em resultados de pesquisas feitas em Batata, ao longo do ciclo de acordo com diferentes produtividades.

| Prod (t/ha) | Macronutrientes | | | | | | Micronutrientes | | | | |
|----------------|-------------------|------|--------|-------|------|------|-----------------|--------|-------|-------|--------|
| | ----- g/kg ----- | | | | | | -----mg/kg----- | | | | |
| | Teor no tubérculo | | | | | | | | | | |
| | N | P | K | Ca | Mg | S | Fe | Mn | B | Cu | Zn |
| 15 | 18,92 | 1,95 | 24,32 | 0,68 | 0,92 | 1,18 | 35,50 | 7,88 | 6,08 | 6,69 | 22,84 |
| 20 | 17,23 | 2,25 | 24,94 | 0,72 | 0,95 | 1,23 | 38,80 | 8,57 | 7,35 | 7,18 | 27,61 |
| 25 | 15,54 | 2,35 | 23,26 | 0,65 | 0,97 | 1,22 | 40,09 | 10,51 | 7,92 | 10,78 | 35,29 |
| 30 | 12,87 | 2,55 | 23,65 | 0,78 | 1,03 | 1,18 | 40,54 | 13,21 | 8,06 | 16,44 | 45,78 |
| 35 | 10,97 | 2,51 | 21,18 | 0,81 | 1,18 | 1,16 | 40,72 | 13,78 | 8,76 | 16,41 | 53,14 |
| 40 | 12,06 | 2,68 | 21,43 | 0,94 | 1,22 | 1,13 | 40,39 | 14,11 | 8,98 | 19,52 | 54,28 |
| 45 | 13,36 | 2,75 | 17,30 | 1,11 | 1,25 | 1,10 | 41,18 | 14,39 | 8,23 | 21,23 | 55,65 |
| 50 | 14,35 | 2,90 | 16,54 | 1,18 | 1,28 | 1,09 | 46,50 | 15,01 | 7,14 | 22,10 | 56,78 |
| Prod | Teor na Raiz | | | | | | | | | | |
| 15 | 20,37 | 2,70 | 24,38 | 22,36 | 2,12 | 1,94 | 1 858,93 | 210,37 | 30,58 | 9,50 | 42,37 |
| 20 | 17,54 | 2,62 | 25,93 | 25,59 | 2,30 | 2,09 | 2 581,73 | 218,44 | 32,99 | 11,76 | 45,34 |
| 25 | 10,94 | 2,43 | 26,99 | 23,98 | 2,76 | 2,13 | 4 035,42 | 266,15 | 44,06 | 12,46 | 53,96 |
| 30 | 14,65 | 2,48 | 28,35 | 22,34 | 3,21 | 2,44 | 5 225,54 | 357,54 | 50,20 | 14,39 | 91,06 |
| 35 | 12,86 | 2,54 | 30,76 | 18,54 | 3,89 | 2,61 | 5 204,54 | 414,13 | 51,32 | 16,00 | 128,96 |
| 40 | 12,56 | 3,05 | 32,94 | 15,46 | 4,37 | 2,72 | 6 513,59 | 418,67 | 63,72 | 17,59 | 139,49 |
| 45 | 13,76 | 3,83 | 40,42 | 17,29 | 4,45 | 2,85 | 6 635,29 | 425,98 | 72,72 | 17,78 | 210,67 |
| 50 | 16,09 | 4,25 | 45,28 | 19,98 | 4,62 | 2,91 | 6 524,35 | 437,00 | 75,67 | 18,94 | 236,36 |
| Prod. | Teor na Folha | | | | | | | | | | |
| 15 | 38,00 | 3,50 | 54,38 | 15,56 | 4,77 | 2,23 | 589,94 | 216,90 | 28,43 | 18,24 | 76,42 |
| 20 | 36,27 | 3,20 | 55,43 | 17,28 | 4,82 | 2,54 | 784,24 | 249,50 | 27,50 | 19,30 | 70,18 |
| 25 | 35,36 | 2,70 | 57,18 | 18,32 | 4,86 | 2,64 | 932,45 | 235,76 | 25,49 | 17,95 | 57,02 |
| 30 | 34,90 | 2,48 | 57,57 | 22,67 | 4,92 | 2,55 | 1 292,38 | 227,30 | 27,41 | 15,88 | 45,87 |
| 35 | 37,55 | 2,56 | 73,49 | 33,00 | 5,56 | 2,37 | 1 516,49 | 254,31 | 28,43 | 15,36 | 74,50 |
| 40 | 38,56 | 2,87 | 77,01 | 40,60 | 6,29 | 2,35 | 1 775,54 | 334,56 | 35,12 | 18,34 | 117,80 |
| 45 | 41,70 | 3,50 | 87,18 | 43,70 | 6,32 | 2,60 | 1 824,52 | 427,48 | 41,43 | 20,44 | 157,40 |
| 50 | 44,23 | 3,80 | 110,87 | 48,30 | 7,12 | 2,94 | 1 901,32 | 580,37 | 45,03 | 21,35 | 215,10 |
| Prod. | Teor no Caule | | | | | | | | | | |
| 15 | 10,28 | 1,60 | 31,57 | 23,18 | 4,02 | 1,57 | 323,51 | 216,24 | 28,43 | 6,56 | 12,45 |
| 20 | 12,23 | 1,80 | 38,89 | 25,64 | 4,55 | 1,62 | 325,02 | 208,56 | 30,80 | 7,18 | 11,23 |
| 25 | 14,99 | 2,08 | 45,80 | 24,84 | 5,17 | 1,94 | 352,34 | 214,09 | 31,87 | 8,91 | 9,43 |
| 30 | 16,59 | 2,83 | 50,17 | 25,67 | 5,54 | 2,21 | 367,02 | 251,26 | 29,82 | 9,39 | 8,52 |
| 35 | 17,76 | 3,61 | 55,27 | 26,40 | 5,98 | 2,70 | 480,80 | 305,78 | 28,64 | 9,81 | 9,31 |
| 40 | 19,05 | 4,26 | 54,94 | 28,06 | 6,28 | 3,06 | 520,00 | 334,25 | 27,13 | 10,01 | 10,15 |
| 45 | 19,00 | 4,53 | 57,52 | 30,32 | 7,15 | 3,45 | 609,73 | 363,97 | 28,10 | 11,28 | 11,32 |
| 50 | 18,48 | 4,44 | 61,84 | 35,42 | 7,45 | 3,82 | 650,87 | 419,33 | 30,80 | 12,87 | 12,98 |

Adaptado de: Reis & Monnerat, 2001; Yorinori, 2003; Paula, 2005; Cardoso et al., 2007; Busato, 2007; Quadros, 2007; Fernandes, 2010; Fernandes et al., 2011; Braun et al., 2011; Queiroz, 2011; Sales, 2011; Mohamed, 2013; Fernandes et al., 2013

O valor de Y também pode ser estimado pelas equações 8 e 9:

$$\hat{Y} = 4,002 - 0,125901 \text{ P-rem} + 0,001205 \text{ P-rem}^2 - 0,00000362 \text{ P-rem}^3; R^2 = 0,9998$$

(Equação 8)

$$\text{ou } \hat{Y} = 0,0302 + 0,06532 \text{ Argila} - 0,000257 \text{ Argila}^2; R^2 = 0,9996$$

(Equação 9)

(Alvarez, V. & Ribeiro, 1999)

Quadro 9. Valores de Y definidos pelos estimadores teor de Argila e P remanescente

| Solo | Argila | Y | P-rem | Y |
|-----------------------|----------|-----------|---------|-----------|
| | % | | mg/L | |
| Arenoso | 0 a 15 | 0,0 a 1,0 | 0 a 4 | 4,0 a 3,5 |
| Textura média | 15 a 35 | 1,0 a 2,0 | 4 a 10 | 3,5 a 2,9 |
| | | | 10 a 19 | 2,9 a 2,0 |
| Argiloso | 35 a 60 | 2,0 a 3,0 | 19 a 30 | 2,0 a 1,2 |
| Muito argiloso | 60 a 100 | 3,0 a 4,0 | 30 a 44 | 1,2 a 0,5 |
| | | | 44 a 60 | 0,5 a 0,0 |

Fonte: Alvarez V. e Ribeiro, 1999

Solos com pH elevado (> 6,5) cria condições para o aparecimento da sarna comum (*Streptomyces scabies*), que, embora não afete a produção final, deprecia comercialmente o produto (Cerqueira et al., 1988).

3.1.2 Método de Saturação por bases (SP: São Paulo)

$$NC = T (V_e - V_a) / 100 \quad \text{(Equação 10)}$$

Em que: T: CTC a pH 7 = SB + (H+Al) em cmol_c/dm³; SB: Soma de bases = Ca²⁺ + Mg²⁺ + K⁺ + Na⁺, em cmol_c/dm³; Va: Saturação por bases atual do solo = 100 SB/T, em %; Ve: Saturação por bases desejada ou esperada para a cultura a ser implantada e para a qual é necessária a calagem. (Alvarez, V. & Ribeiro, 1999)

Também foi estimado o pH, que se espera seja atingido pela calagem recomendada, com a equação desenvolvida por Mello (2000), a partir de uma série de trabalhos relacionando a alteração de pH do solo (ΔpH) e valores de acidez potencial.

$$\text{Mello (2000): } \Delta\text{pH} = -0,0235 + 1,4944/(H+Al); R^2 = 0,8140 \text{ (Equação 11)}$$

Em que, ΔpH : a variação esperada do pH, em unidade de pH por t/ha de calcário (PRNT 100 %) e (H+Al): a acidez potencial, em cmol_c/dm³. Estima-se o pH após

a calagem (pH_{fn}) somando-se o valor estimado pela equação ao pH atual (pH_{in}) do solo.

O pH_{fn}, é obtido ao aplicar a quantidade estimada pela NC, é calculado com a equação:

$$\text{pH}_{fn} = (\text{NC} \times \Delta\text{pH}) + \text{pH}_{in} \quad (\text{Equação 12})$$

Em que: NC, é a necessidade de calagem calculada pelo método MG ou SP, ΔpH é a alteração do pH do solo por tonelada de calcário PRNT 100 % aplicado e pH_{in} é o pH inicial, reportado pela análise do solo.

Para estimar a Necessidade de Calagem se utilizaram os valores sugeridos para batata pela quinta aproximação $m_t=15$, $X=2$ e $V_e=60$.

3.1.3 Quantidade de calcário a ser usada (QC)

A NC calculada pelos critérios ou métodos anteriormente apresentados indica a quantidade de CaCO₃, PRNT = 100 % a ser incorporado por hectare, na camada de 0 a 20 cm de profundidade. Portanto, indica a dose de calcário teórica (Alvares V & Ribeiro, 1999).

Assim a QC em t/ha a ser usada pode ser calculada com a equação 13:

$$\text{QC} = \text{NC} \times \frac{\text{SC}}{100} \times \frac{\text{PF}}{20} \times \frac{100}{\text{PRNT}} \quad (\text{Equação 13})$$

Em que, SC: percentagem da superfície do terreno a ser coberta na calagem; PF: profundidade na qual será incorporado o calcário em cm; PRNT: poder relativo de neutralização total do calcário a ser utilizado, em %.

Depois de ter calculadas as necessidades de calagem pelos métodos detalhados anteriormente, assim como o pH_{fn} nos dois casos, para a seleção da necessidade de calagem recomendada (NCR) adota-se o algoritmo proposto por Deus (2012 e Stahringer, 2013), que inclui a seguinte sequencia:

I – Dentre os valores calculados de NC se escolhe a menor e a maior dose, e são comparadas com o valor de X [X= saturação Ca e Mg que precisa a cultura,

tabelados na Quinta Aproximação (Alvarez V. & Ribeiro, 1999)], utilizando o seguinte algoritmo:

Se dentre as NC, a menor NC é $< X$, a NCR, será a $> NC$;

Se a maior NC é $> X$, a NCR será $X = 2,0 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$

Se as duas NC são $< X$, a NCR, será $X = 2,0 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$

No entanto, o valor da NCR tem que ser $\geq X$ e $\leq H+Al$, para fazer essa verificação, segue-se para o procedimento II.

II – Segundo o valor de $H+Al$ da análise de solo, em $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$, se comparam as NC obtidas com o dito valor $H+Al$, observando se são menores, levando-se em consideração que 1 t/ha de CaCO_3 equivale a $1 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$:

Se a maior NC é $> X$ e $< H+Al$ a NCR, será a maior NC

Se a maior NC é $> H+Al$, a NCR será o valor $H+Al$

Finalmente, é necessário verificar que o pH calculado esteja na faixa do requerimento da batata, dita faixa para $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ é de 4,5 a 6,0 (Raij, 1985).

Assim, o FERTICALC-Batata tem a possibilidade de calcular a necessidade de calagem pelos dois métodos anteriormente expostos, além de que independente do procedimento utilizado o objetivo seja em qualquer caso aumentar o pH do solo, neutralizando a acidez trocável, e elevar os níveis de saturação de Ca e Mg. Com as duas informações, se tem a possibilidade de selecionar a mais adequada de acordo com a sequência proposta por Deus (2012), ou com necessidades específicas do terreno segundo o critério do usuário.

3.1.4 Cálculo do suprimento de cálcio e magnésio pela calagem

A calagem fornece Ca e Mg ao sistema solo, com o que devem ser contabilizadas no módulo suprimento.

Neto (2003) sugere a seguinte equação:

$$qNu_Cal = QC \times [(tOx_Cal / 100 \times f) \times 1\,000] \quad (\text{Equação 14})$$

Em que, qNu_Cal : quantidade de Ca ou Mg suprida pela calagem em kg/ha; QC : quantidade de calcário utilizada em t/ha; tOx_Cal : concentração em porcentagem do MgO ou CaO no calcário, com x: Ca ou Mg; f: fator de conversão de forma óxido para forma elementar, sendo igual a 0,71417 para Ca e 0,6030 para Mg e 1 000: fator de conversão de t/ha para kg/ha.

3.2 Desenvolvimento do sistema FERTICALC-Batata

De acordo com o método reportado por Oliveira et al. (2005) no FERTICALC-Banana, para a alimentação do sistema FERTICALC–Batata, foram utilizados dados disponíveis na literatura referentes ao crescimento e acumulação de nutrientes e na obtenção do Coeficiente de Utilização Biológica (CUB), para batata tipo inglesa.

O modelo pela sua estrutura possibilita que à medida que novos dados estejam disponíveis na literatura, ou que o usuário disponha de informações específicas para sua condição de cultivo (Deus, 2012), seja atualizado e reutilizado especificamente.

3.2.1 Módulo Requerimento

3.2.1.1 Requerimento de nutrientes pela planta

A cultura da batata *S. tuberosum* subsp. *tuberosum*, foi objetivo de várias pesquisas (Reis & Monnerat, 2001; Yorinori, 2003; Paula, 2005; Cardoso et al., 2007; Busato, 2007; Quadros, 2007; Fernandes, 2010; Fernandes et al., 2011; Braun et al., 2011; Queiroz, 2011; Sales, 2011; Mohamed, 2013; Fernandes et al., 2013), porém, elas não fornecem suficientes dados para ter uma base de dados que permita fazer uma estratificação do requerimento $rqNu_i_{Pl}$, de acordo com variedades que estão sendo cultivadas atualmente no Brasil. Considerando de que o módulo requerimento foi desenvolvido sem considerar diferenças varietais, o usuário precisa avaliar as possíveis diferenças devidas a características genéticas da variedade com a que está trabalhando, sendo também este um objetivo proposto para futuras melhoras desta versão do FERTICALC-Batata.

Para o desenvolvimento do módulo requerimento foi considerado o ciclo produtivo no Brasil que é de aproximadamente 100 d, o teor de cada um dos nutrientes armazenadas nos quatro compartimentos avaliados (tubérculo, folha, caule e raiz) e o acúmulo de massa de matéria seca (mMS).

Os teores para cada um dos compartimentos da planta foram registrados, segunda a estratificação de oito produtividades numa faixa de 15 até 50 t/ha (15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 e 50 t/ha), dita faixa foi escolhida de acordo com as

estatísticas apresentadas pela FAOSTAT (2010), para zonas produtoras do Brasil. Os dados registrados foram obtidos da literatura gerada no Brasil, como resultado das pesquisas feitas em batata inglesa, no caso em que o acúmulo ao longo do ciclo for apresentado como equação, se obtém matematicamente o ponto de máximo acúmulo do nutriente i no compartimento j , que como será mostrado se corrige pelo fator de retranslocação, visando não superestimar a demanda da planta, que posteriormente é corrigida pela taxa de recuperação da planta $trNu_i_{PI}$, para obter o requerimento total (Figura 1).

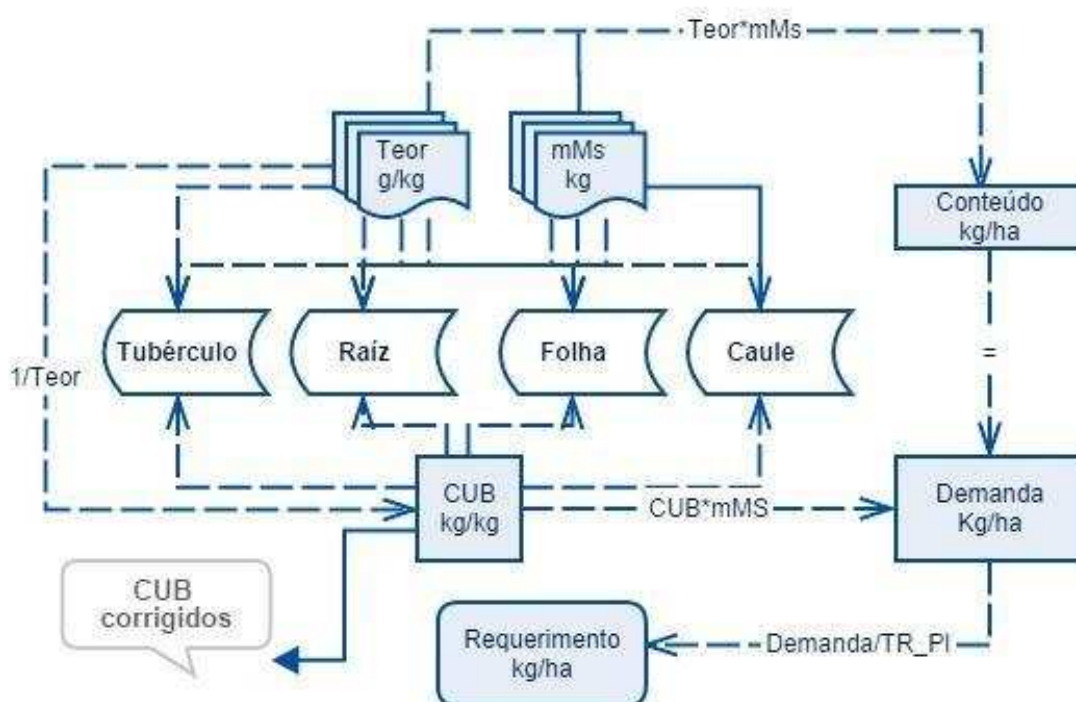


Figura 1. Diagrama de Fluxo, cálculos do módulo requerimento para o desenvolvimento do FERTICALC-Batata.

Foi necessário realizar um ajuste dos CUB segundo os dados da pesquisa feita por Fernandes et al (2011), para as variedades de batata, Agata, Asterix, Atlantic, Markies e Mondial em que eles apresentam os dados de concentração dos nutrientes para cada um dos órgãos da planta, amostrados cada 7 d até o final do ciclo da cultura (97 d).

O fator de correção pela retranslocação (FC_{rt} , equação 16) foi feito considerando como nutrientes móveis na planta N, P, K e Mg (Taiz & Zeiger,

2002), (o Mg não apresentou diferença na concentração final nos caules dessa maneira o ajuste foi feito só para folhas).

As informações específicas registradas neste módulo-planta foram, da acumulação de massa de matéria seca e teor (Quadro 9), para cada parte da planta da batata; tubérculo (t), raízes (r), folhas (f) e caules (c), relacionadas com a produtividade desejada.

Depois, com esses dados se calcula o Coeficiente de Utilização biológica (CUB) em kg/kg para macronutrientes e kg/g para micronutrientes do nutriente *i* no compartimento *j* (Quadro 10), expressado como:

$$CUB_{ij} = (1/tNu_{ij}) \times 1\ 000 \quad (\text{Equação 15})$$

Em que, tNu_{ij} : teor do nutriente *i* no compartimento *j* em g/kg para macronutrientes e mg/kg para micronutrientes, e 1 000 é o fator de conversão de g/ha para kg/ha.

No FERTICALC-Batata os ajustes foram feitos considerando a translocação das partes da planta com capacidade fotossintética (folha e caule), para o tubérculo, utilizando a equação 16:

$$FC_{rt} = CUB \text{ Colheita} / CUB \text{ floração} \quad (\text{Equação 16})$$

A necessidade do uso da equação 16 é evidente pela diferença dos dados de concentração dos nutrientes nos órgãos fotossintetizantes no momento da floração, comparativamente aos observados na senescência da cultura que é também a época da colheita.

Posteriormente, foi feito o cálculo das frações de partição de mMS (fpmMS) por compartimento, com respeito ao total da mMS acumulada pela planta (Equação 17).

$$fpmMS = mMS_j / \Sigma mMS \quad (\text{Equação 17})$$

Em que, mMS_j : massa de matéria seca produzida pelo compartimento *j* em kg/ha e ΣmMS : somatória da massa da matéria seca produzida pela totalidade dos compartimentos em kg/ha.

Considerou-se o teor de água do tubérculo de 77 % (Fontes, 2005), para obter a massa da matéria seca do tubérculo mMS_t , descontando este teor de humidade da matéria fresca.

Os resultados da fpmMS utilizadas foram 0,83 (tubérculo), 0,0024 (raiz), 0,119 (folhas) e 0,043 (caule), para todas as produtividades (Reis & Monnerat, 2001; Yorinori, 2003; Paula, 2005; Cardoso et al., 2007; Fernandes, 2011; Braun, 2012; Mohamed, 2013).

Quadro 10. Coeficientes de Utilização Biológica (CUB), para a produtividade de 30 t/ha, por compartimento na cultura da batata, empregados no FERTICALC.

| Macronutrientes | | | | | | |
|------------------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|--------------|
| -----kg/kg----- | | | | | | |
| | CUB_N | CUB_P | CUB_K | CUB_Ca | CUB_Mg | CUB_S |
| Tubérculo | 55,96 | 392,16 | 42,28 | 1282,05 | 970,87 | 847,46 |
| Raíz | 50,89 | 403,23 | 35,27 | 44,76 | 311,53 | 409,84 |
| Folha | 35,31 | 441,13 | 24,82 | 44,11 | 298,37 | 392,16 |
| Caule | 78,88 | 453,00 | 21,00 | 38,96 | 180,51 | 452,49 |

| Micronutrientes | | | | | |
|------------------------|---------------|---------------|--------------|---------------|---------------|
| -----g/kg----- | | | | | |
| | CUB_Fe | CUB_Mn | CUB_B | CUB_Cu | CUB_Zn |
| Tubérculo | 24,67 | 75,70 | 124,07 | 60,83 | 21,84 |
| Raíz | 0,19 | 2,80 | 19,92 | 69,49 | 10,98 |
| Folha | 0,77 | 4,40 | 36,48 | 62,97 | 21,80 |
| Caule | 2,72 | 3,98 | 33,53 | 106,50 | 117,37 |

A mMS_{tot} que é a massa da matéria seca total produzida pela planta em kg/ha é obtida matematicamente, a partir da produtividade desejada e os valores de fpmMS obtidos da equação 17.

$$mMS_{tot} = fpmMS \times 100 / mMS_t \quad (\text{Equação 18})$$

Em que, fpmMS são as frações de partição de mMS e mMS_t é a massa da matéria seca do tubérculo.

Assim, com estes dois valores, pode ser calculada a massa da matéria seca dos compartimentos (j) mMS_j em todas as produtividades avaliadas pelo FERTICALC (Quadro 11), com a equação 19:

$$mMS_j = mMS_{tot} \times fpmMS \quad (\text{Equação 19})$$

A demanda da planta d é obtida multiplicando a mMS_j pelo CUB:

$$dNu_{ij} = CUB_{ij} \times mMS_j \quad (\text{Equação 20})$$

Em que, dNu_{ij} : demanda do nutriente i no compartimento j em kg/ha; CUB_{ij} : coeficiente de utilização biológica do nutriente i no compartimento j em kg/kg para macronutrientes e kg/g para micronutrientes; mMS_j : massa da matéria seca no compartimento j em kg/ha.

Depois de isto, foi feito o somatório das demandas individuais de todos os compartimentos para obter a demanda total da planta.

Posteriormente a demanda foi dividida pela taxa de recuperação da planta (Quadro 12), que é específica para cada um dos nutrientes.

$$rqNu_i = dNu_i / trNu_i_PI \quad (\text{Equação 21})$$

Em que, $rqNu_i$: requerimento do nutriente i pela planta; dNu_i : demanda do nutriente i e $trNu_i_PI$ é a taxa de recuperação do nutriente i pela planta

As taxas que foram ajustadas dos outros FERTICALC, considerando que os valores finais sejam coerentes com as necessidades da Batata.

Quadro 11. Produções de mMS e partições de mMS consideradas para cada um dos compartimentos e produtividades avaliadas no FERTICALC-Batata

| Prod. (t/ha) | Teor água tub (%) | mMS _t | mMS _r | mMS _f | mMS _c |
|-----------------|----------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | | kg/ha | | | |
| 15 | 77 | 3450 | 9,83 | 493,36 | 178,60 |
| 20 | 77 | 4600 | 13,11 | 657,81 | 238,13 |
| 25 | 77 | 5750 | 16,39 | 822,26 | 297,66 |
| 30 | 77 | 6900 | 19,66 | 986,71 | 357,20 |
| 35 | 77 | 8050 | 22,94 | 1151,17 | 416,73 |
| 40 | 77 | 9200 | 26,22 | 1315,62 | 476,26 |
| 45 | 77 | 10350 | 29,50 | 1480,07 | 535,79 |
| 50 | 77 | 11500 | 32,77 | 1644,52 | 595,33 |
| fpmMS | | 0,83 | 0,0024 | 0,12 | 0,043 |

Quadro 12. Taxas de Recuperação dos nutrientes pela planta utilizados no FERTICALC-Batata.

| Elemento | Equação para estimar a trNu _i _PI |
|---|--|
| Equações em função do P remanescente | |
| P ¹ | $\hat{y} = (8,5e^{0,0247*Prem})/100$ |
| S ¹ | $\hat{y} = 0,38508e^{0,0101*Prem}$ |
| Zn ² | $\hat{y} = (10,11 + 0,0975*Prem)/100$ |
| Equações em função da produtividade (x=produtividade t/ha) | |
| N ² | $\hat{y}^{4/} = 0,6466 + 0,005x - 0,0002*x^2$ |
| K ² | $\hat{y}^{5/} = 0,7505 - 0,0028**x$ |
| Ca ³ | $\hat{y}^{6/} = 0,7423 + 0,0005x - 0,00003**x^2$ |
| Mg ³ | $\hat{y}^{7/} = 0,7376 - 0,0021**x$ |
| B ² | $\hat{y}^{8/} = 0,47341 - 0,0024**x$ |
| Funções constantes | |
| Fe ² | $\hat{y} = 0,2$ |
| Mn ² | $\hat{y} = 0,1$ |
| Cu ² | $\hat{y} = 0,1$ |

¹Adaptado de: Santos et al., 2008; ²adaptado de Silva, 2006; ³adaptado de Freire, 2001. ⁴Equação derivada de $Y = 0,8686 - 0,0006 DN$ ($\forall 30 \leq DN \leq 240$ kg/ha de N); ⁵Equação derivada de $Y = (75 - 0,0317*DK)/100$ ($\forall 30 \leq DK \leq 220$ kg/ha de K₂O); ⁶Equação derivada de $Y = 0,75 - 0,0005Dca$ ($\forall 30 \leq DCa \leq 1000$ kg/ha de Ca); ⁷Equação derivada de $Y = 0,72 - 0,003DMg$ ($\forall 21 \leq DMg \leq 700$ kg/ha de Mg); ⁸Equação derivada de $Y = (8,1/(1 - 0,82839397e^{-0,34760374DB}))/100$

No caso do P, foi ajustado o cálculo do requerimento mediante a modificação da equação da trP_PI, já que os valores obtidos do rq de P₂O₅, nas produtividades acima de 30 t/ha foram excessivos.

O valor de rqP, é o resultado de dividir a demanda pela trP_PI inicial apresentada no quadro 12, com esse dado, é possível calcular a trP_PI, derivada da equação 22. Essa nova trP_PI é utilizada para calcular de novo o requerimento, com o que o procedimento se repete até que o valor do rqP adote um mesmo valor que seria o definitivo, o seja, foi aplicado o método iterativo, para minimizar o incremento excessivo do requerimento de P, com o aumento da produtividade desejada.

$$trP_PI = (0,504 - 0,0096 rq + 0,000063 rq^2) + (9,5 e^{(0,0187 Prem)})/100$$

(Equação 22)

É importante ressaltar que os valores não são específicos para batata, e além de que estejam dentro da faixa normal considerada para várias culturas, é importante para o melhoramento da aplicabilidade do modelo obter taxas que sejam específicas para batata, avaliadas em condições de campo.

3.2.1.2 Requerimento de sustentabilidade

Dentro das opções proporcionadas para o usuário está adicionar uma dose para o requerimento de sustentabilidade $rqNu_i_{Sust}$, ao requerimento total da planta.

Nesta versão do FERTICALC-Batata esta dose adicional será determinada para P, K e S, pois de acordo com a dinâmica desses nutrientes no solo, o fato de ficar disponíveis para o futuro, acrescentando a fertilidade atual do solo, é viável, diferente de outros elementos como o N, que sofrem perdas dentro do sistema solo, por diferentes processos como lixiviação e volatilização.

O critério utilizado como sustentabilidade foi acrescentar à dose recomendada, uma quantidade de nutrientes no solo, suficiente para obter uma produtividade mínima, neste caso 20 t/ha.

$$rqSus_Nu_i = dNu_i / trNu_i_Pl \quad (\text{Equação 23})$$

Em que, $rqSus_Nu_i$: requerimento de sustentabilidade do nutriente i (P, K e S); dNu_i : demanda do nutriente i pela planta para produzir 20 t/ha e $trNu_i_Pl$: taxa de recuperação do nutriente i pela planta.

3.2.2 Módulo Suprimento

Este módulo compreende os nutrientes que serão disponibilizados para ser absorvidos pela cultura durante o ciclo de desenvolvimento (Figura 2).

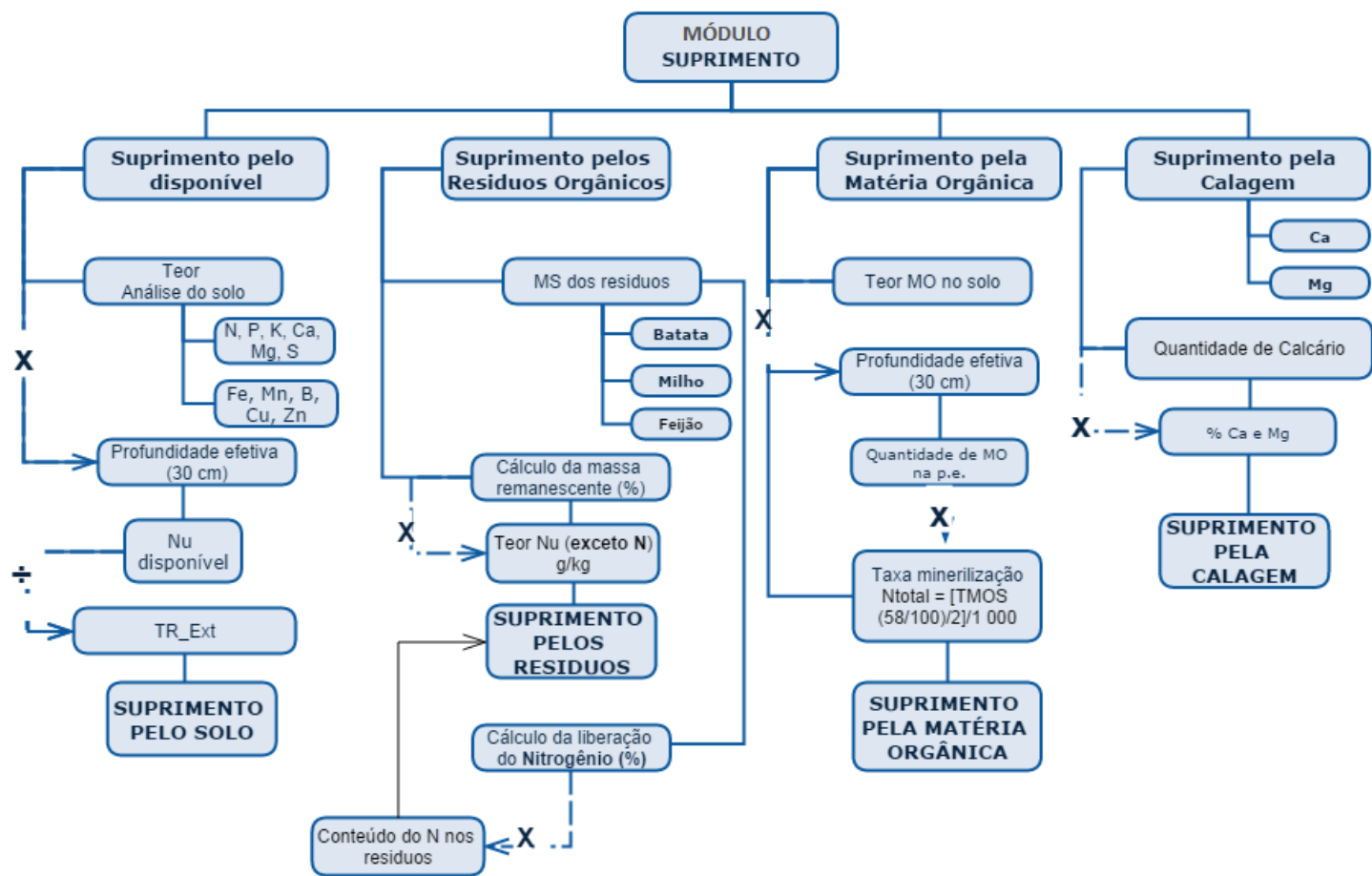


Figura 2. Diagrama de Fluxo, cálculos do módulo suprimento para o desenvolvimento do FERTICALC-Batata

Consideraram-se quatro tipos de fontes e matematicamente pode ser expresso como segue.

$$\text{suNu}_i = \text{suSol} + \text{suROrg} + \text{suMOS} + \text{suCal} \quad (\text{Equação 24})$$

Em que, suNu_i : suprimento do nutriente i em kg/ha; suSol : suprimento pelas formas disponíveis dos elementos no solo; suROrg : suprimento pelos resíduos orgânicos da batata ou de outras culturas que sejam utilizadas para fazer rotação com a batateira; suMOS : suprimento do N pela matéria orgânica do solo e suCal : suprimento de Ca e Mg pela calagem.

Foram considerados todos os tipos de suprimentos que podem ser contabilizados dentro do sistema solo-planta. Dentro dos resíduos orgânicos foram analisados além da batata, os resíduos do milho (gramínea) e feijão (leguminosa) que são as espécies mais comumente utilizadas para fazer rotação com batata. No caso do $\text{suNu}_i_{\text{MOS}}$ foi contabilizada como suprimento só para N, tendo em vista que a estimação das quantidades disponíveis dos outros elementos são informações, por enquanto indisponíveis na literatura.

Por outro lado foi feito o cálculo da quantidade fornecida pela calagem $\text{suNu}_i_{\text{Cal}}$ procurando deixar a opção de tirar o dado do Ca e Mg, caso o usuário não faça a prática agrônômica da calagem.

Porém não se deve considerar o solo como única fonte de nutrientes para a planta, pois não é desejável o esgotamento das reservas.

3.2.2.1 Suprimento pelo solo

Para determinar a capacidade de suprimento pelo disponível no solo $\text{suNu}_i_{\text{Sol}}$, foi necessário registrar dados das análises do solo para cada um dos macro e micronutrientes, que divididos pelas respectivas $\text{trNu}_i_{\text{Ext}}$, fornecem informação da quantidade do elemento disponível em kg/ha. Foram consideradas as análises do banco de dados do laboratório da UFV, com diferentes valores de P remanescente que indica solos com características diferenciais, como são mostrados no quadro 13.

Quadro 13. Análise química dos solos considerados para o FERTICALC-Batata

| Solo | P | K | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | S | B | Cu | Mn | Fe | Zn |
|------|--------------------|----|---------------------------------------|------------------|--------------------|------|------|-------|--------|------|
| | mg/dm ³ | | (cmol _c /dm ³) | | mg/dm ³ | | | | | |
| 1 | 0,40 | 1 | 0,12 | 0,13 | 76,00 | 0,51 | 0,28 | 0,40 | 25,10 | 0,21 |
| 2 | 36,00 | 3 | 0,27 | 0,06 | 54,10 | 0,19 | 0,14 | 0,40 | 19,30 | 0,69 |
| 3 | 2,00 | 11 | 0,24 | 0,08 | 0,00 | 0,23 | 1,14 | 16,00 | 53,50 | 0,37 |
| 4 | 1,30 | 10 | 1,30 | 0,86 | 17,20 | 0,17 | 0,64 | 3,60 | 175,60 | 0,76 |
| 5 | 3,80 | 12 | 0,19 | 0,10 | 13,20 | 0,63 | 0,21 | 0,10 | 140,30 | 0,38 |
| 6 | 1,20 | 2 | 0,05 | 0,03 | 46,60 | 0,12 | 0,01 | 0,10 | 23,50 | 0,14 |
| 7 | 0,90 | 7 | 0,09 | 0,03 | 19,70 | 0,23 | 0,44 | 0,70 | 79,00 | 0,42 |
| 8 | 92,10 | 44 | 1,23 | 0,56 | 19,60 | 0,07 | 1,07 | 59,80 | 928,70 | 4,75 |

| Solo | P-rem | pH _{H2O} | SB | Al ³⁺ | H+Al | t | T | V | M | MO |
|------|-------|-------------------|---------------------------------------|------------------|------|------|------|-------|-------|----------|
| | mg/L | | (cmol _c /dm ³) | | | | (%) | | | (dag/kg) |
| 1 | 4 | 5,12 | 0,25 | 0,20 | 2,00 | 0,45 | 2,25 | 11,10 | 44,40 | 0,64 |
| 2 | 8 | 5,27 | 0,37 | 0,00 | 2,80 | 0,37 | 3,17 | 11,70 | 0,00 | 0,52 |
| 3 | 12 | 4,79 | 0,35 | 1,00 | 6,80 | 1,35 | 7,15 | 4,90 | 74,10 | 2,66 |
| 4 | 18 | 4,99 | 2,19 | 0,49 | 4,80 | 2,68 | 6,99 | 31,30 | 18,30 | 2,81 |
| 5 | 24 | 4,67 | 0,36 | 0,88 | 6,30 | 1,24 | 6,66 | 5,40 | 71,00 | 2,84 |
| 6 | 30 | 4,80 | 0,11 | 0,68 | 3,10 | 0,79 | 3,21 | 3,40 | 86,10 | 0,52 |
| 7 | 40 | 5,02 | 0,14 | 1,20 | 3,00 | 1,34 | 3,14 | 4,50 | 89,60 | 0,26 |
| 8 | 50 | 6,23 | 1,90 | 0,00 | 0,50 | 1,90 | 2,40 | 79,20 | 0,00 | 0,51 |

pH em água, Relação 1:2,5 solo/solução
P-Na-K- Extrator Mehlich 1
Ca-Mg-Al- Extrator KCl- 1,0 mol/L
H+Al- Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L- pH 7,0
S-Extrator- Fosfato monocálcio em ácido acético
SB= Soma de Bases Trocáveis
T = Capacidade de Troca de Cátions a pH 7,0
t = CTC efetiva
m = índice de saturação de Al³⁺
MOS = C.Org x 1,724- Walkey-Black
P-rem: Fósforo Remanescente 60 mg/L
P-rem: Fósforo Remanescente 60 mg/L

O suprimento dos nutrientes pelo solo para o FERTICALC-Batata, será considerado na camada 0 – 30 cm, que correspondem à profundidade efetiva para a cultura. O fornecimento pode ser expresso assim:

$$suSol = (tNu_i / trNu_i_Ext) \times PER \quad (\text{Equação 25})$$

Em que, suSol: suprimento pelo solo, que é o teor do nutriente *i* determinado pelo análise de solo, exceto para o N; tNu_{*i*}: teor do nutriente *i* no solo na camada 0-30 cm em mg/dm³; trNu_{*i*}_Ext: taxa de recuperação do nutriente pelo extrator e PER: profundidade radicular da batata em dm.

O suprimento de nutrientes obtido da análise precisa de ser dividido pela $trNu_i_Ext$, pois sabe-se, que não há um método 100 % efetivo para extrair do solo a quantidade disponível de um nutriente, sendo esta taxa específica para cada um dos nutrientes (Quadro 14).

Visando que o FERTICALC-Batata possa ter maior possibilidade de ser utilizado além do método de análise empregado no laboratório, os valores das taxas são apresentados para os extratores Mehlich-1(M1) (P, K, Fe, Mn, Cu e Zn), Mehlich-3 (K, Fe, Mn e Cu), Resina (P e K) e DTPA (Fe, Mn, Cu e Zn).

Para o Ca, Mg, e B utilizaram-se taxas fixas, seguindo o critério de que os mesmos, sofrem baixa influencia do poder tampão (Deus, 2012), no caso do P, K S e Zn a taxa foi calculada em função do P-rem (Quadro 14).

Quadro 14. Taxas de recuperação dos extratores pelos nutrientes utilizadas no FERTICALC-Batata.

| Nu_i | Extrator | Equação¹ | R² |
|-----------------------|--|--|----------------------|
| P | Mehlich-1 | $trNu_i_Ext = 0,0672821 + 0,0121615^{**} P\text{-rem}$ | 0,681 |
| | Resina | $trNu_i_Ext = 0,419^{***} P\text{-rem} 0,128099$ | 0,694 |
| K | Mehlich-1 | $trNu_i_Ext = 0,6555 + 0,0068^{**} P\text{-rem}$ | 0,744 |
| | Mehlich-3 | $trNu_i_Ext = 0,9863 - 0,00364^{***} Arg$ | 0,763 |
| | Resina | $trNu_i_Ext = 0,6619 + 0,014355^{*} P\text{-rem} - 0,000293^{o} P\text{-rem}^2$ | 0,754 |
| Ca | KCl 1 mol/L | $trNu_i_Ext = 0,766102$ | |
| Mg | KCl 1 mol/L | $trNu_i_Ext = 0,798972$ | |
| S | Ca(H ₂ PO ₄) ₂ em HOAc | $trNu_i_Ext = 0,04 + 0,0057^{**} P\text{-rem}$ | 0,955 |
| B | Água quente | $trNu_i_Ext = 0,7081$ | |
| Cu | Mehlich-1 | $trNu_i_Ext = 0,3863$ | |
| | Mehlich-3 | $trNu_i_Ext = 0,3463$ | |
| | DTPA | $trNu_i_Ext = 0,3119$ | |
| Fe | Mehlich-1 | $trNu_i_Ext = 0,3508$ | |
| | Mehlich-3 | $trNu_i_Ext = 0,2174$ | |
| | DTPA | $trNu_i_Ext = 0,0956$ | |
| Mn | Mehlich-1 | $TrNui_Ext = 0,8441$ | |
| | Mehlich-3 | $TrNui_Ext = 0,6781$ | |
| | DTPA | $TrNui_Ext = 0,6641$ | |
| Zn | Mehlich-1 | $trNu_i_Ext = 0,36025 - 0,00234ns P\text{-rem} + 0,0001198^{**} Prem^2$ | 0,932 |
| | DTPA | $trNu_i_Ext = 0,48 - 0,004^{**} Arg$ | 0,31 |

¹ Fonte: Possamai (2003) e Santos et al. (2008); modificados por Stahringer, 2013

A respeito da diferença dentre os extratores, Sobral et al (2008), avaliaram o M1, M3 e Resina, para analisar os teores de P e K em solos dos Tabuleiros Costeiros

(Argissolos e Latossolos), resultando em que o M3 extraiu mais P que o M1 com uma relação dentre os dois dependente do teor de Argila. Os teores podem ser relacionados com a equação $M3 = 1,5 M1$ (Bortolon & Gianello, 2008). O maior teor de P extraído com a solução M3 deve-se, em parte, às características químicas da mesma, que extrai preferencialmente o P ligado ao Fe e ao Al e, em menor proporção, ao P ligado ao Ca (Beegle, 2005). Com relação ao K o M3 também extraiu mais K que o M1 enquanto a Resina extraiu menos (Sobral et al., 2008).

Experimentos realizados em solos da Bahia e de Minas Gerais revelam que a capacidade de extração do Zn e Cu segue a ordem $M1 > M3 > DTPA$, sendo os primeiros mais sensíveis à CT do solo. Porém, com aplicação de calagem a sensibilidade é maior para o DTPA, no caso do B a água quente é mais sensível a CT do solo do que o $CaCl_2$ fervente, sendo que a calagem não altera esse comportamento (Neto, 2003).

3.2.2.2 Suprimento pelos resíduos orgânicos

O suprimento pelos resíduos orgânicos $suNu_i_ROrg$, foi feito para batata, milho e feijão, considerando os dois últimos como possibilidades de rotação da cultura. Para isto, a massa da matéria seca das partes que ficam no lote de cultivo (mMS_Res) são contabilizadas, e utilizando a taxa de mineralização ($txMin_Nu_i$) se calcula a quantidade de massa que vai ser decomposta após 69 d, que é o tempo aproximado de finalização da floração na batata. Isso porque a absorção numa cultura diminui depois deste estágio fenológico (Osaki, 1993), finalmente, esse resultado é multiplicando pelo teor do nutriente no resíduo decomposto tNu_i_MS , se obtendo o suprimento pelos resíduos orgânicos.

O suprimento pelos resíduos orgânicos pode ser calculado com a equação:

$$suNu_i_ROrg = mMS_Res \times tNu_i_MS \times txMin_ROrg \quad (\text{Equação 26})$$

Em que, $suNu_i_ROrg$: suprimento pelos resíduos orgânicos do nutriente i em kg/ha, mMS_Res : quantidade de massa de matéria seca MS produzida pelos resíduos em kg/ha; tNu_i_MS : teor no nutriente i na MS dos resíduos orgânicos; $txMin_ROrg$: taxa de mineralização dos resíduos orgânicos expressa como fração mineralizável do total.

Coûteaux et al. (2008), contribuíram em sua pesquisa com dados que foi possível utilizar no FERTICALC-Batata para o suprimento pelos resíduos orgânicos (Quadro 15). Eles calcularam a taxa de liberação acumulativa do N, com o uso da expressão:

$$N_{rel} = N_{max}(1 - e^{-kt}) \quad \text{(Equação 27)}$$

Em que, N_{rel} : fração de liberação do N do teor inicial de N; N_{max} : máxima proporção de N liberado; k: taxa de liberação e t é o tempo em d.

Os valores adotados para k foram e 0,023/d (caules e raízes) e 0,068/d (folhas) (Coûteaux et al., 2008)

Desta maneira, os macro e micronutrientes foram divididos em três grupos segunda as velocidades de liberação dos elementos (Quadro 15), calculadas aos 69 d. O K tem uma liberação mais rápida (k para caule e raiz = 0,042/d e folha = 0,12/d), provavelmente pelo fato de não estar associado a componentes estruturais do tecido vegetal (Marschner, 1995), Giongo et al. (2011), utilizando coquetéis de resíduos, confirmaram que as constantes de liberação para macronutrientes, são muito parecidas, assim, para o N, P, Mg e S, o cálculo foi feito utilizando a mesma constante k (caule e raiz = 0,023/d, folha = 0,068/d).

De outro lado, o Ca e os micronutrientes apresentaram k, da mesma ordem sendo esta, mais lenta que para o grupo anteriormente mencionado (k para caule e raiz = 0,013/d e folha = 0,038/d), no caso do Ca, é devido provavelmente a que o elemento é componente estrutural das paredes celulares vegetais como pectato cálcico.

Quadro 15. Liberação de nutrientes dos caules, raízes e folhas da batata calculados com as equações propostas por Coûteaux et al. (2008), e expressados como fração do total mineralizável

| Liberação de nutrientes | | | |
|--------------------------------|-------------|--------------|--------------|
| Nutriente | Raiz | Folha | Caule |
| | | g/d | |
| N, P, Mg e S | 0,43 | 0,72 | 0,43 |
| K | 0,51 | 0,72 | 0,51 |
| Ca e Micronutrientes | 0,32 | 0,67 | 0,32 |

Nesta primeira aproximação do FERTICALC-Batata, pela dificuldade quanto à obtenção de informações específicas para a cultura, as taxas utilizadas se consideram uma referência, mais é recomendável fazer estudos para *S. tuberosum* subs. *tuberosum* considerando, que a constante *k* está sujeita a modificação de acordo com as condições climáticas do sítio em que o resíduo vai ser incorporado.

Para o controle, baseado no conceito da supressividade, das doenças de solo como murcha bacteriana (*Ralstonia solanacearum*), rizoctoniose (*Rhizoctonia solani*), podridão mole, canela preta ou talo-oco (*Pectobacterium* spp.), sarna comum (*Streptomyces scabies*), assim como de nematóides (*Meloidogyne incognita*, *M. javanica*, *Pratylenchus brachyurus*), recomenda-se a rotação de culturas, principalmente com gramíneas (Tokeshi & Bergamin, 1980), porém, o modelo considera como primeira opção a batata por ser frequente nas lavouras o desatendimento da recomendação de fazer a rotação com outras espécies.

Para o FERTICALC-Batata se consideram as alternativas do milho (*Zea mays*) e o feijão (*Phaseolus vulgaris*), pelo contraste que fazem por ser gramínea e leguminosa, respectivamente.

Para o caso das culturas propostas como alternativas para a rotação, o cálculo foi feito com o mesmo procedimento descrito para batata. Os valores sugeridos de suprimento pelas duas culturas se encontram no quadro 16.

3.2.2.3 Suprimento pela matéria orgânica

O suprimento pela matéria orgânica $suNu_i_{MOS}$, foi considerado só para nitrogênio, para obtê-lo se multiplica o teor de MOS, pela profundidade efetiva (30 cm para batata). Isso representa a quantidade de matéria orgânica disponível na profundidade considerada, que multiplicada pela taxa de mineralização do N para 69 d, proporciona o dado da quantidade de N que estaria disponível.

Quadro 16. Valores sugeridos para o suprimento de macro e micronutrientes dos resíduos orgânicos de milho e feijão aos 69 d, como alternativas para rotação da cultura da batata

| SUPRIMENTO PELOS RESÍDUOS ORGÂNICOS DO MILHO | | | | | | | | | | | |
|--|--------------|-------------|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | N | P | K | Ca | Mg | S | Fe | Mn | B | Cu | Zn |
| tNu_i_ROrg (g/kg) | 11,19 | 1,70 | 21,70 | 13,40 | 2,50 | 0,17 | 0,49 | 0,04 | 0,02 | 0,02 | 0,03 |
| Conteúdo¹ (kg/ha) | 92,66 | 14,08 | 100,00 | 100,00 | 20,70 | 1,41 | 4,02 | 0,31 | 0,16 | 0,13 | 0,27 |
| k/d | 0,012 | 0,0088 | 0,0147 | 0,0104 | 0,0096 | 0,0088 | 0,0149 | 0,0133 | 0,0113 | 0,012 | 0,0107 |
| txMin_ROrg | 30,52 | 24,67 | 34,54 | 27,75 | 26,25 | 24,67 | 34,81 | 32,55 | 29,35 | 30,52 | 28,30 |
| suNu_i_ROrg (kg/ha) | 28,28 | 3,47 | 34,54 | 27,75 | 5,44 | 0,35 | 1,40 | 0,10 | 0,05 | 0,04 | 0,08 |
| SUPRIMENTO PELOS RESÍDUOS ORGÂNICOS DO FEIJÃO | | | | | | | | | | | |
| tNu_i_ROrg (g/kg) | 19,40 | 1,36 | 15,60 | 12,80 | 2,39 | 0,30 | 1,21 | 0,12 | 0,03 | 0,01 | 0,04 |
| Conteúdo² (kg/ha) | 73,33 | 5,141 | 58,968 | 48,384 | 9,034 | 1,134 | 4,574 | 0,465 | 0,095 | 0,040 | 0,144 |
| k/d | 0,0105 | 0,0072 | 0,0137 | 0,0080 | 0,0080 | 0,0072 | 0,0132 | 0,0125 | 0,0095 | 0,0090 | 0,0102 |
| txMin_ROrg | 27,94 | 21,22 | 33,14 | 22,99 | 22,99 | 21,22 | 32,40 | 31,32 | 26,06 | 25,07 | 27,39 |
| suNu_i_ROrg (kg/ha) | 20,49 | 1,09 | 19,54 | 11,12 | 2,08 | 0,24 | 1,48 | 0,15 | 0,02 | 0,01 | 0,04 |

¹Valor obtido pela multiplicação do teor com a mMS 8 281 kg/ha (Costa et al., 2008)

²Valor obtido pela multiplicação do teor com a mMS 3 780 kg/ha (Santos et al., 2008)

A oferta do N inclui o N mineralizado da MOS durante o ciclo da cultura. Tem se desenvolvido vários métodos para estimar a quantidade de N que vai ser mineralizado e que ficará disponível durante um tempo determinado, assim como as taxas em que o processo de liberação vai ocorrer, Stanford & Smith (1972) aplicaram a expressão:

$$N_m = N_0 (1 - e^{-kt}) \quad (\text{Equação 28})$$

Em que, N_m : quantidade de N mineralizado acumulado num período de tempo em kg/ha; N_0 : N potencialmente mineralizável em kg/ha; t : tempo em semanas; k : constante de velocidade de mineralização (Benintende et al., 2007). O problema da utilização desta equação está no fato de que a estimativa do N_0 até agora tem sido difícil.

Assim, de acordo com o critério utilizado no FERTICALC-abacaxi (Silva et al., 2006), foi calculado o suprimento de N pelo solo, baseado na equação de cinética adaptada para os solos brasileiros (Parentoni et al., 1988; Vasconcelos et al., 1999):

$$\text{suMOS} = (\text{mSol} \times N_{\text{tot}} \times 1,48/100) e^{0,006t} \quad (\text{Equação 29})$$

Em que, suMOS: suprimento de N pela matéria orgânica do solo durante o ciclo da batata, em kg/ha; mSol: massa de solo na camada delimitada pela profundidade efetiva do sistema radicular da batata em kg/ha (calculada com a equação 30); N_{tot} : N total do solo, em kg/kg de solo (calculado com a equação mostrada a seguir); 1,48: fração do N potencialmente mineralizável a partir do N total, em % e t é o tempo de absorção de N pela cultura, em dias (69)

$$\text{suSol} = 1\,000 \times 1\,000 \times \text{PER} \times \text{d.s.} \quad (\text{Equação 30})$$

Em que, PER é a profundidade do sistema radicular da batata (30 cm), em dm e d.s. é a densidade do solo, em kg/dm³; 1 000 × 1 000: fator de conversão para ter o suprimento em kg/ha.

$$N_{\text{tot}} = [\text{tMOS} (58/100)/3]/1\,000 \quad (\text{Equação 31})$$

Em que, tMOS é o teor de matéria orgânica do solo, em dag/kg; 58/100: assumindo 58 % da matéria orgânica são compostos de carbono (Tomé, 2004); 3: profundidade efetiva em dm; 1 000: fator de conversão para kg/ha.

3.2.2.4 Suprimento pela Calagem

Finalmente, se considera também a calagem para o suprimento de Ca e Mg, $suNu_i_{Cal}$, que é obtido multiplicando as percentagens de Ca e Mg na quantidade de calcário da que o solo precisa, da forma como foi mencionada no item da calagem. Além de fornecer Ca e Mg, a disponibilidade de P é positivamente influenciada pela aplicação do corretivo.

3.3. Dose recomendada

Para o cálculo da dose recomendada, o modelo faz um simples cálculo do balanço para cada um dos elementos, se o balanço do requerimento menos o suprimento for positivo, as fontes dos nutrientes não são suficientes para obter a produtividade desejada, caso seja negativo, o sistema está suprimindo uma quantidade maior do que a cultura precisa para seu ciclo de produção.

$$drNu_i = rqNu_i - suNu_i \quad (\text{Equação 32})$$

Em que, $drNu_i$: dose recomendada do nutriente i para um ciclo de cultivo em kg/ha; $rqNu_i$: requerimento do nutriente i em kg/ha e $suNu_i$: suprimento do nutriente i em kg/ha.

No caso do P e K, as recomendações são expressas em P_2O_5 e K_2O , como é exigido para a comercialização de fertilizantes.

Para a cultura da batata, uma das práticas agronômicas mais importantes é a amontoa, cujo objetivo é estimular o processo de tuberização e evitar o esverdeamento dos tubérculos. Por esse motivo a adubação é feita parcelando duas vezes a aplicação de P e K, a primeira, na semeadura, garantindo o ótimo crescimento da planta nos primeiros estágios de desenvolvimento e a segunda, na amontoa para garantir que o processo de tuberização não seja afetado pela possível limitação dos nutrientes.

Cardoso et al. (2007), testaram o impacto do parcelamento dos adubos no rendimento da batata, a aplicação de 50 % do N e K, na semeadura junto com os outros nutrientes e o restante, na amontoa produz um incremento de 13 % na produtividade de tubérculos, em comparação com a aplicação total dos adubos no início.

Com este argumento, as doses recomendadas pelo FERTICALC-Batata, são proporcionadas para duas aplicações, a primeira na semeadura compreendendo a totalidade do requerimento de todos os nutrientes exceto do N e do K, e a segunda, feita na amontoa, com o 50 % restante do N e K, aos 25 d depois do plantio, aproximadamente.

3.4 Simulações no Modelo

Foram realizadas simulações no modelo FERTICALC-Batata, para três solos com o P-rem como característica para diferencia-los (8, 24 e 40 mg/L). A determinação do P-rem auxilia na interpretação da disponibilidade de P possibilitando inferir sobre a capacidade tampão do solo (Grillo et al., 2007), sendo que esta propriedade do solo está relacionada com textura, teor de matéria orgânica e mineralogia do solo.

Os resultados da recomendação pelo FERTICALC-Batata foram comparados aqueles da Quinta Aproximação como guia para o cálculo da recomendação de adubos segundo o sistema tradicional. Os resultados para o usuário são apresentados em duas doses, a primeira na semeadura e a segunda na amontoa.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Calagem

Em concordância os dois métodos para o cálculo das necessidades de calagem, apresentados pela Quinta Aproximação, foi realizada a avaliação para os oito solos propostos, considerando neste ponto o cálculo do suprimento de Ca e Mg, para o balanço final do FERTICALC-Batata (Quadro 13).

Em geral, as NC calculadas, independente do método, foram baixas com valores oscilando entre 0 e 3,94 t/ha.

A batata tem tolerância média as saturações de Al ($m_t = 15\%$), o que fica claro, se for comparado com culturas como maracujá e alho que suportam só 5%, e de outro lado com plantios de gramíneas e de eucalipto que suportam 30 e 45% respectivamente.

Além de a batata ser considerada uma planta medianamente tolerante á acidez, os solos da região sul do Brasil em que normalmente é cultivada são predominantemente ácidos, com baixas saturações de Ca e Mg (Pereira, 2005), pelo qual a realização da calagem se considera uma prática que apresenta uma alta relação custo benefício.

Guerrero (2007), obteve incrementos no rendimento de *S. tuberosum* até de 20% com a aplicação de 6 t/ha depois da semeadura, já que as quantidades que é necessário aplicar para os oito solos analisados foram baixas, de 0,21 até 3,08 t/ha e de 0 até 3,94 t/ha (Quadro 17), a prática se considera altamente recomendável em todos os casos, pelo baixo custo que isto implica e principalmente pelos benefícios quanto a neutralização da acidez trocável. Além disso há um efeito positivo quanto à disponibilidade de nutrientes para o crescimento da batateira, já que da Calagem utilizada, Ca e Mg, correspondem a 35% do total (27,16% correspondem que a Ca e 7,23 ao Mg).

Quadro 17. Resultado do cálculo para troca no pH (ΔpH) com a equação de Mello (2000) e pH_{fn} , depois da aplicação do calcário. Necessidades de calagem (NC), quantidade de calagem (QC) e Suprimento de cálcio suCa e magnésio suMg derivados da aplicação da calagem.

| Solo | pH _{in.} | Prem mg/L | H+Al cmol _c /dm ³ | Método 1 (MG) | | | | | | Método 2 (SP) | | | | |
|------|-------------------|--------------|--|-------------------|--------------|---------------------------|------------------|-------------------|-------------------|---------------|--------------|------------------|-------------------|-------------------|
| | | | | ΔpH | NC (t/ha) | QC ¹ (t/ha) | pH _{fn} | Sup Ca (kg/ha) | Sup Mg (kg/ha) | NC (t/ha) | QC (t/ha) | pH _{fn} | Sup Ca (kg/ha) | Sup Mg (kg/ha) |
| 1 | 5,12 | 4 | 2,00 | 0,72 | 1,95 | 2,17 | 6,53 | 588,44 | 156,78 | 1,10 | 1,22 | 5,92 | 331,94 | 88,44 |
| 2 | 5,27 | 8 | 2,80 | 0,51 | 1,67 | 1,86 | 6,12 | 503,94 | 134,27 | 1,53 | 1,70 | 6,05 | 462,30 | 123,17 |
| 3 | 4,79 | 12 | 6,80 | 0,20 | 2,68 | 2,98 | 5,32 | 808,72 | 215,47 | 3,94 | 4,38 | 5,56 | 1188,94 | 316,78 |
| 4 | 4,99 | 18 | 4,80 | 0,29 | 0,49 | 0,54 | 5,13 | 147,86 | 39,40 | 2,00 | 2,23 | 5,57 | 604,73 | 161,12 |
| 5 | 4,67 | 24 | 6,30 | 0,21 | 2,59 | 2,88 | 5,22 | 781,56 | 208,24 | 3,64 | 4,04 | 5,45 | 1097,21 | 292,33 |
| 6 | 4,80 | 30 | 3,10 | 0,46 | 2,60 | 2,89 | 5,99 | 784,58 | 209,04 | 1,82 | 2,02 | 5,63 | 548,00 | 146,01 |
| 7 | 5,02 | 40 | 3,00 | 0,47 | 3,08 | 3,42 | 6,48 | 929,43 | 247,63 | 1,74 | 1,94 | 5,85 | 526,27 | 140,22 |
| 8 | 6,23 | 50 | 0,50 | 2,96 | 0,21 | 0,23 | 6,85 | 63,37 | 16,88 | 0,00 | 0,00 | 6,23 | 0,00 | 0,00 |

¹Quantidade de calagem calculada considerando PRNT de 90 e uma profundidade de incorporação de 30 cm.

O modelo está desenhado para que o usuário tenha a sua disposição, o cálculo pelos dois métodos, mas a escolha está sujeita ao critério dele, caso do FERTICALC-Batata, se maneja um procedimento de três passos que pode ajudar na toma da decisão. No primeiro caso, o valor obtido da NC, é comparado com o valor X para batata que está em função dos requerimentos pela cultura de saturação de Ca e Mg. Ao ser analisados os dados segundo o critério I de seleção exposto na metodologia, para os solos 1, 2, 4 e 8 as NC calculadas pelos dois métodos foram $< X = 2$ (Quadro 17), nesse caso foi escolhida a necessidade da cultura, o seja o valor de X (2 t/ha como NC). No caso dos solos 6 e 7, a NC calculada pelo **método MG** (Método de neutralização do Al e elevação dos teores Ca+Mg), foi levemente $> X$ (2,60 e 3,08 t/ha, respectivamente), pelo **método SP** (saturação por bases) a NC foi $< X$ (1,82 e 1,74 t/ha), assim de acordo com o algoritmo, foi escolhida a NC calculada pelo método 1, pelo fato de suprir as necessidades de saturação de Ca e Mg pela cultura.

Já para os solos 3 e 5, os dois valores de NC foram $> X$, assim o critério II diz que o valor $H+Al$ da análise do solo (Quadro 17), deve ser comparado com as NC, mas como em ambos métodos $T > NC$, a decisão é ficar com a necessidade de calagem menor, que se encontra na faixa delimitada pela expressão $X > NC > T$. No caso, esses valores correspondem aos calculados pelo **MG** (2,68 e 2,59 t/ha, para os solos 3 e 5, respectivamente).

Adicionalmente, se considera a elevação do pH obtida em ambos casos (Quadro 17), procurando que o pH_{fn} esteja na faixa adequada para a cultura (4,5 – 6), esse requerimento foi alcançado independente do método utilizado, verificando-se assim a validade das recomendações.

Em geral, os solos brasileiros são pobres, com acidez elevada e baixos teores de Ca e Mg. Dessa maneira a aplicação de calcário é uma das práticas mais importantes para melhorar as condições de baixa fertilidade desses solos, porque além dos benefícios que já foram mencionados, consegue-se ainda diminuir a fixação, de P e a lixiviação do K aplicado, além de aumentar a atividade microbiana e a liberação de nutrientes tais como o N, P e S pela decomposição da matéria orgânica (Silva et al., 2011). A calagem pode ajudar a viabilizar sistemas de produção mais sustentáveis, com redução de custo, maior proporção de tubérculos comercializáveis e plantas mais resistentes a estresse hídrico e temperaturas elevadas (Consorte & Brinholi, 1994).

4.2 Modelo FERTICALC-Batata

4.2.1 Requerimento do nutriente pela planta

O sistema FERTICALC-Batata estimou o requerimento $rqNu_i$ para a cultura apresentado no quadro 18. No entanto, os requerimentos não são fixos, pois são o resultado de dividir a demanda pela $trNu_i_Pl$, sendo que estas taxas são igualmente dependentes do valor de P-rem da análise do solo (P, S e Zn), ou da produtividade (N, K, Ca, Mg, B) e em outros casos são fixas (Fe, Mn e Cu), para obtê-las, as equações foram tomadas e adaptadas dos outros FERTICALC.

Já que o $rqNu_i$ é variável em função da $trNu_i_Pl$, foram feitas figuras para representar a demanda e não o requerimento da batata (Figuras 3, 4 e 5), já que a demanda é fixa para cada uma das produtividades consideradas.

Quadro 18. Requerimento total de nutrientes pela planta, utilizados no FERTICALC-Batata, utilizando $trNu_i_Pl$, calculadas com P-rem de 4 mg/L

| Prod. (t/ha) | REQUERIMENTO | | | | | | | | | | |
|-----------------|-------------------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|
| | rqN | rqP | rqK | rqCa | rqMg | rqS | rqFe | rqMn | rqB | rqCu | rqZn |
| | ----- kg/ha ----- | | | | | | | | | | |
| 15 | 98,19 | 82,71 | 153,81 | 20,08 | 7,94 | 13,74 | 2,49 | 1,80 | 0,09 | 0,33 | 1,14 |
| 20 | 121,17 | 120,80 | 216,73 | 29,60 | 11,19 | 19,43 | 4,08 | 2,63 | 0,14 | 0,48 | 1,68 |
| 25 | 140,41 | 150,39 | 267,05 | 37,43 | 14,72 | 24,62 | 5,91 | 3,31 | 0,19 | 0,80 | 2,42 |
| 30 | 147,44 | 186,38 | 334,18 | 52,79 | 18,85 | 28,93 | 9,03 | 4,24 | 0,24 | 1,33 | 3,49 |
| 35 | 158,27 | 210,30 | 391,01 | 79,35 | 25,25 | 33,42 | 12,10 | 5,57 | 0,30 | 1,55 | 4,96 |
| 40 | 199,18 | 245,61 | 465,17 | 108,60 | 31,15 | 37,93 | 15,79 | 7,61 | 0,38 | 2,10 | 6,32 |
| 45 | 251,75 | 275,74 | 486,20 | 134,99 | 36,96 | 43,41 | 18,46 | 10,15 | 0,45 | 2,57 | 7,83 |
| 50 | 307,21 | 301,48 | 587,74 | 169,71 | 44,04 | 49,97 | 21,57 | 14,24 | 0,51 | 2,99 | 9,74 |

De acordo com os valores obtidos com o uso da equação para estimar a trP_Pl , a eficiência aproximada da cultura para o P é de 9 até 30 % dependendo do P-rem (4 e 50 mg/L). Segundo Dechassa et al (2003), a batata tem sido considerada com escassa habilidade de absorver P em solos com pouca disponibilidade, possivelmente pela baixa densidade de raízes, as quais se desenvolvem principalmente nos primeiros 30 cm de profundidade, até agora os dados de recuperação obtidos em pesquisas específicas para a cultura vão de 3 – 4,5 %, em solos com alta disponibilidade de P, que foram dependentes da cultivar utilizada, tanto que a adição de doses muito elevadas (> 500 kg/ha P_2O_5) diminuiu a eficiência da planta na utilização do nutriente (Fernandes, 2013).

De outro lado, Castro (2005), encontrou que dependendo da fonte de adubo utilizado, a eficiência na recuperação do N pela planta, variou desde 30 até 95 %, diferente do FERTICALC-Batata onde as trN_{PI} vão desde 73 % até 81 %, dependendo da produtividade desejada, no entanto essas eficiências estão sujeitas a uma serie de fatores que não estão considerados para esta versão do FERTICALC como a época de aplicação, lixiviação após irrigação e chuva, parcelamento da adubação, fontes utilizadas, entre outros fatores que interferem com a eficiência da planta em converter o nutriente aplicado em matéria seca vegetal.

Para os outros nutrientes, ainda não há estudos, dos quais seja possível obter uma referencia sobre a eficiência da batata para absorver os nutrientes, pelo que foi feito o cálculo das $trNu_i_{PI}$, acreditando-se, na efetividade que as equações utilizadas tem mostrado até agora para a estimativa do requerimento, nas outras pesquisas feitas no modelo FERTICALC.

Fazendo a comparação dos quatro compartimentos avaliados tanto para macro como para micronutrientes (Figuras 3 e 4), é evidente a superioridade do tubérculo como órgão extrator na planta de batata, também, que a tendência geral, é o incremento da demanda junto com o acréscimo da produtividade, situação esperada, pois com maior produção a planta precisa de uma maior quantidade de nutrientes para gerar maior massa de matéria seca.

Para o tubérculo, se for comparada a extração dentre os macronutrientes, N (de 65,25 até 165,03 kg/ha; menor e maior produtividade avaliadas), P (de 6,73 até 33,35 kg/ha), K (de 83,90 até 190,21 kg/ha), Ca (de 2,35 até 13,57 kg/ha), Mg (de 3,17 até 14,72 kg/ha) e S (de 4,07 até 12,54 kg/ha), é obvia a maior demanda pelo K, o que resulta lógico, analisando a composição média da mM_s do tubérculo, em que o K chega até 56 g/kg, comparado com P e Ca que representam 0,5 g/kg e 0,09 g/kg respectivamente (ABBA, 2001).

No FERTICALC os índices da colheita foram de até 85 %, dependendo do elemento analisado, sendo N (IC = 82 até 74 %), P (78 até 80 %) e K (de 77 até 53 %), os nutrientes que finalmente são transloucados em maior quantidade até o tubérculo, como é esperado, pela importância destes elementos nas funções metabólicas da planta.

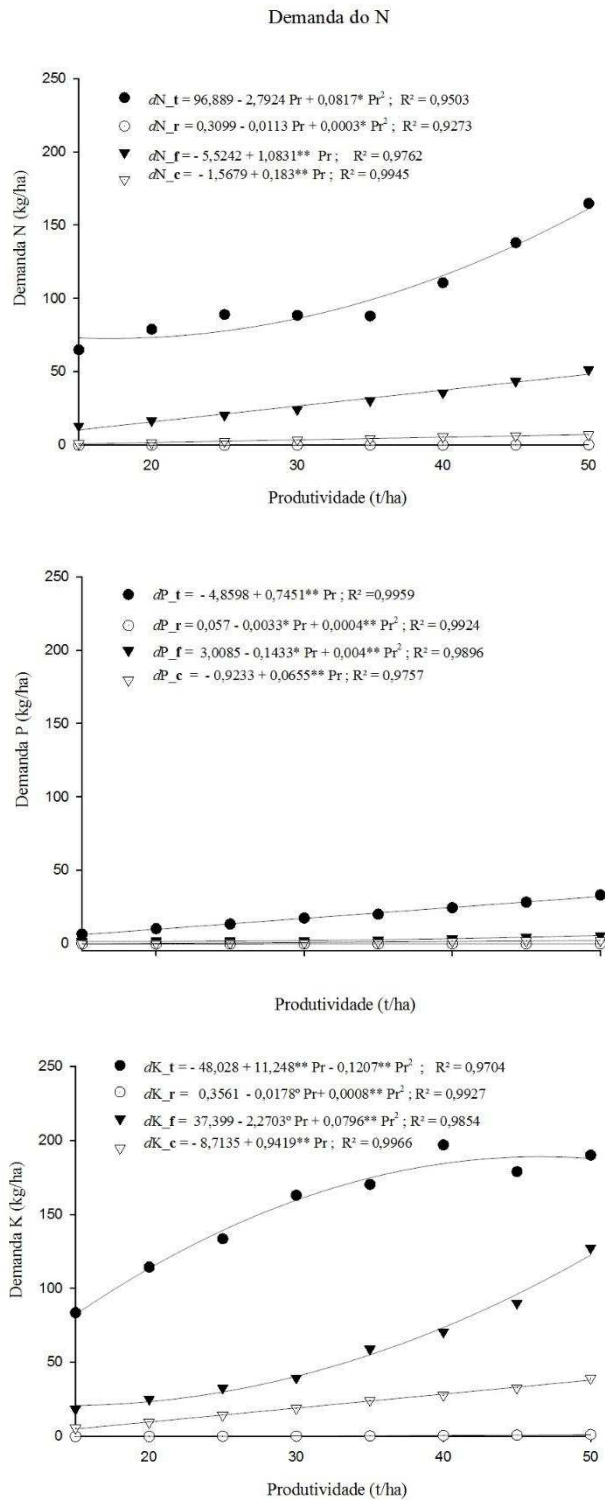


Figura 3. Demanda de N, P e K, em função da produtividade em t/ha, para cada um dos compartimentos da batata, tubérculo (t), raiz (r), folha (f) e caule (c).

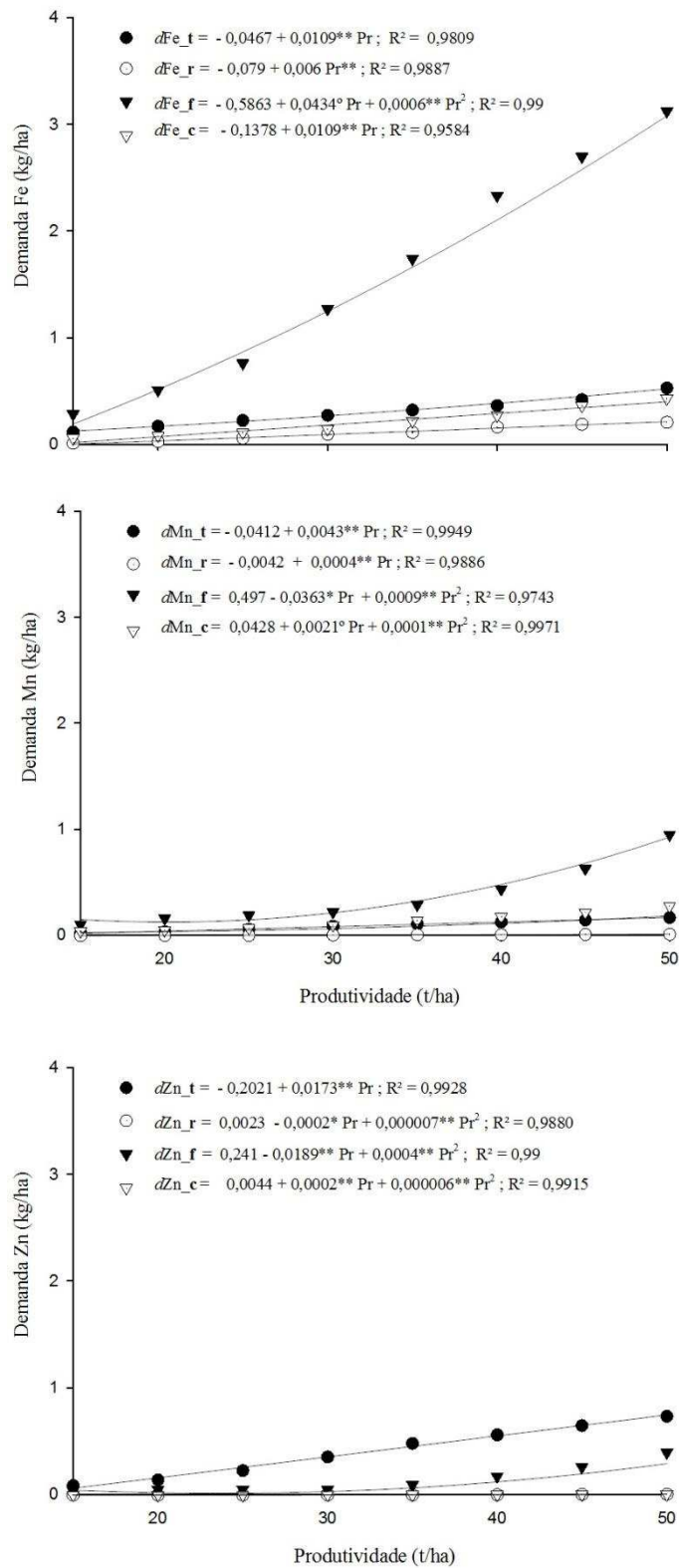


Figura 4. Demanda de Fe, Mn e Zn, em função da produtividade de tubérculos, para cada um dos compartimentos da batata, tubérculo (t), raiz (r), folha (f) e caule (c)

A partição dos nutrientes que é mostrada nas figuras 3 e 4 indica a importância de contabilizar na demanda, todos os compartimentos da cultura, visto que raízes, folhas e caules, podem representar até 26 % da demanda total, com o que ao desconsiderá-los, está se subestimando o requerimento total da cultura. A habilidade dos tubérculos para obter os assimilados dos órgãos fonte (caule, raiz, folha) pode estar relacionada com a rápida divisão e expansão celular na fase de tuberização, que se reflete na acumulação lineal de mMS e nutrientes (Kooman & Haverkort, 1994). Também pode se relacionar com o mantimento da taxa fotosintética e consequentemente da força da fonte, com o que a baixa translocação pode resultar numa redução da fotossíntese.

Santos et al (2010) obtiveram em condições dos Andes Colombianos, para variedades de *S. tuberosum* subsp. *tuberosum* os valores de máximo equilíbrio entre alta produção de fotoassimilados, com alta demanda depois de 12 a 14 semanas da semeadura, após de este tempo, a potencia da fonte cai até chegar a senescência da folhagem, igualmente a potencia do dreno diminuiu depois da semana 14 que é o estágio de maturação fisiológica do tubérculo, confirmando assim a importância da relação fonte-dreno no enchimento da batata.

O N é um dos nutrientes que tem o maior impacto na produtividade, especialmente pela dificuldade na determinação do fornecimento pelo solo, e pelas perdas que tem no sistema por volatilização, impactando não só o manejo da cultura, também ambientalmente pela possível aplicação de excessos do fertilizante (Fontes et al., 2012), normalmente a cultura responde bem a doses entre 50 e 100 kg/ha (Guerrero, 1998).

A demanda de P encontra-se entre 20 e 100 kg/ha de P_2O_5 (como foi confirmado também pelo FERTICALC-Batata), porém, se utilizam normalmente altas doses de aplicação (200 – 500 kg/ha de P_2O_5), devido à fixação no solo (Castro, 2005), sua deficiência afeta o crescimento e desenvolvimento da planta, dando lugar a plantas pequenas e rígidas, reduzindo também a formação de amido (Ñustez et al., 2006).

Quanto ao K, contribui de maneira importante ao potencial osmótico das células, é de alta mobilidade e se transloca rapidamente do tecido velho até tecidos ou órgãos em desenvolvimento (Marschner, 1995). A exportação é normalmente 1,5

vezes maior do que as do N e 4 mais que as do P, mesmo sendo exigido em altas quantidades é importante ressaltar que a aplicação de doses elevadas do nutriente, que façam tê-lo em quantidades excessivas nas suas formas disponíveis no solo, podem produzir um “consumo de luxo” que além de incrementar os custos de produção, pode alterar a relação Ca, Mg e K na solução, tornando-se os outros íons de difícil absorção pelas plantas da batata (Cogo, 2006). A mMS dos tubérculos contém ao redor de 16 g/kg e as folhas ao redor de 60 g/kg de K. Para uma produção de 20 t/ha o tubérculo tem uma exportação de 154 kg/ha (Barrera, 1998), o que coincide com o achado pelo FERTICALC que foi de 150,54 kg/ha, nesta mesma produtividade.

No trabalho de Reis & Monnerat (2001), para uma produtividade de 30 t/ha, foram aplicados 736 kg/ha de K_2SO_4 , que equivalem a 329 kg de K, no FERTICALC-Batata para a mesma produtividade, o requerimento da cultura foi de 334 kg/ha de K, no mesmo trabalho eles obtiveram conteúdos no tubérculo em kg/ha de N (99,1); P (14,2); K (118,5); Ca (2,10); Mg (6,50); S (9,28); Cl (8,18); Mn (0,048) e Zn (0,102). Os dados obtidos para o módulo na mesma produtividade em kg/ha foram: N (88,8); P (17,6); K (163,19); Ca (5,38); Mg (7,11); S (8,14); Mn (0,091) e Zn (0,315), as diferenças podem ser devidas a que nesta primeira versão do FERTICALC não foi possível fazer distinção segundo as variedades, pela escassez das informações disponíveis (Figuras 3 e 4).

Quanto ao Ca, Mg e S, os conteúdos estimados para produções de alto rendimento (30 t/ha), estão na ordem de 60, 17 e 15 kg/ha respectivamente (Castro, 2005), comparados com 39, 12,71 e 11,6 kg/ha no FERTICALC. Segundo Malavolta (1979), os requerimentos de S são de 15 e 25 kg/ha, para rendimentos perto a 40 e 56 t/ha. Os requerimentos de B, em geral são baixos, pelo que as aplicações são menores a 1 kg/ha (Baker & Pibeam, 2007).

Segundo Barrera & Tamayo (2000), para um rendimento de 20 t/ha, se exportam aproximadamente 44 g/ha de Cu, 42 g/ha de Mn e 0,74 g/ha de Mo (nutriente não considerado no FERTICALC-Batata), 99 g/ha Zn e 60 g/ha de B, o que indica requerimento baixo de micronutrientes (Figura 5). No modelo, as necessidades dos micronutrientes se aproximam em alguns casos aos dados anteriormente mencionados (50 g/ha de Cu e 60 g/ha de B), no caso do Mn (260 g/ha) e do Zn (180 g/ha), é evidente uma diferença muito alta.

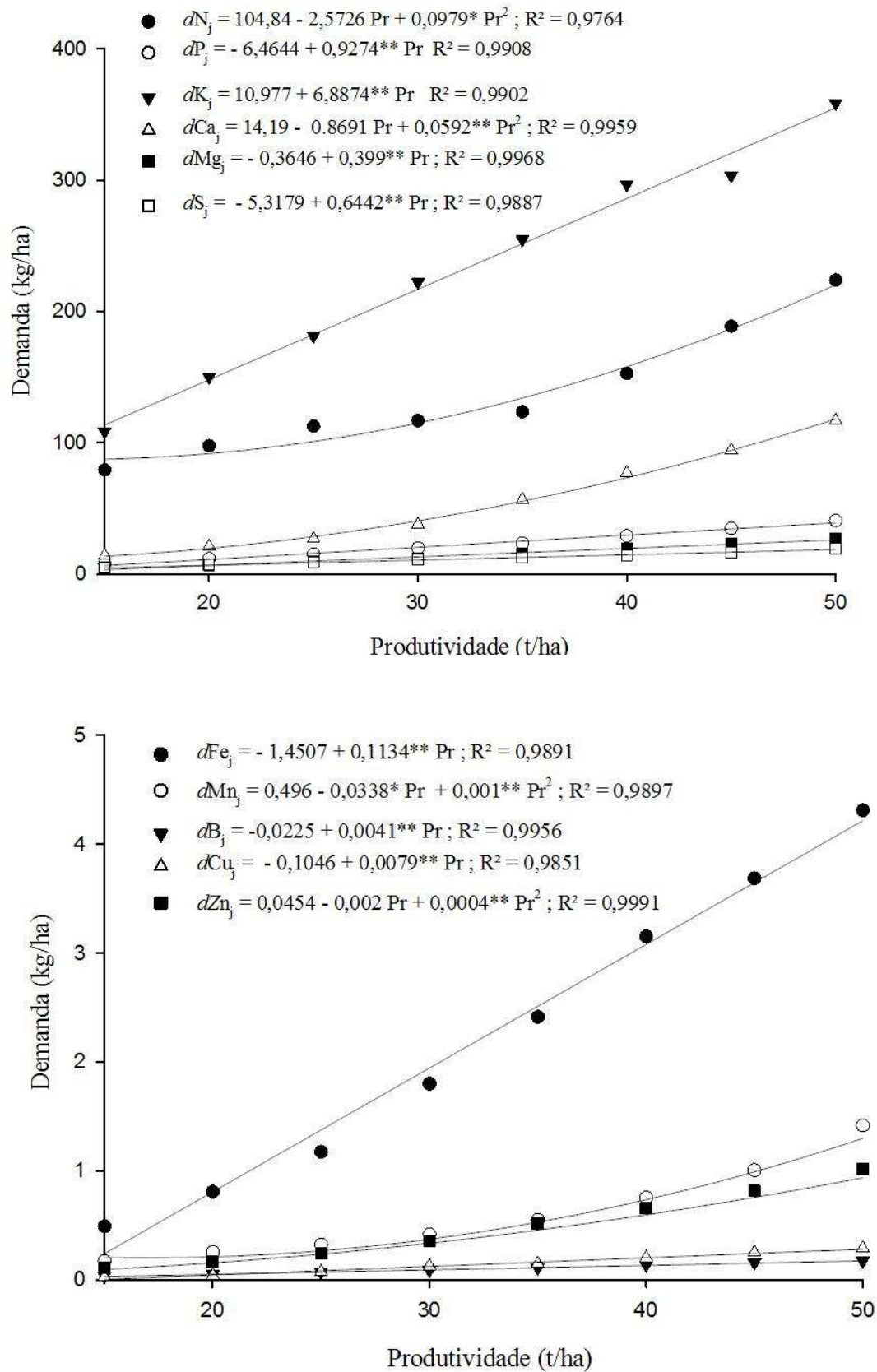


Figura 5. Demanda total dNu_{i_tot} = somatório dos compartimentos da batata, tubérculo (t), raiz (r), folha (f) e caule (c) para cada um dos macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S), e dos micronutrientes (Fe, Mn, B, Cu e Zn), em função da produtividade (Pr).

Yorinori (2003) obteve extrações até de 250 g/ha, na safra das águas e 130 g/ha da seca para Mn. Esta mesma autora, para Zn obteve valores de 156 g/ha e 124,6 g/ha de Zn, na safra das águas e da seca, respectivamente, de modo que, a época de plantio ou safra é outra diferença que se sugere ser contemplada em futuras versões do FERTICALC-Batata.

Utilizando os dados obtidos do requerimento é possível calcular o nível crítico para cada um dos nutrientes (Quadro 19).

De acordo com a quinta aproximação, o nível crítico de P, varia com o P-rem, desde 6 até 30 mg/dm³, para P-rem variando de 0 até 60 mg/L, concluindo-se desta maneira que a batata não precisa de uma quantidade muito elevada de P disponível, pois o nível crítico vai desde 2,86 até 10,43 mg/dm³ na maior e menor produtividade, respectivamente. Quanto ao K, o nível crítico está indicado no trabalho citado anteriormente em 70 mg/dm³, o que concorda com o valor obtido para a produção de 30 t/ha, considerada como uma produtividade média, neste caso o nível crítico de K ficou em 74,24 mg/dm³.

Quadro 19. Níveis críticos dos nutrientes no solo para oito produtividades na cultura da Batata

| REQUERIMENTO – NÍVEIS CRÍTICOS | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|-------|-------|--------|-------|------|------|------|------|------|------|------|
| Prod. (t/ha) | rqN | rqP | rqK | rqCa | rqMg | rqS | rqFe | rqMn | rqB | rqCu | rqZn |
| ----- mg/dm ³ ----- | | | | | | | | | | | |
| 15 | 33,21 | 2,86 | 36,32 | 4,97 | 1,87 | 1,84 | 0,17 | 0,06 | 0,01 | 0,01 | 0,04 |
| 20 | 41,51 | 4,18 | 50,17 | 7,31 | 2,59 | 2,60 | 0,27 | 0,09 | 0,02 | 0,02 | 0,06 |
| 25 | 48,62 | 5,20 | 60,57 | 9,18 | 3,36 | 3,29 | 0,39 | 0,11 | 0,03 | 0,03 | 0,08 |
| 30 | 52,25 | 6,45 | 74,24 | 12,85 | 4,24 | 3,87 | 0,60 | 0,14 | 0,03 | 0,04 | 0,12 |
| 35 | 56,68 | 7,28 | 85,04 | 19,12 | 5,59 | 4,47 | 0,81 | 0,19 | 0,04 | 0,05 | 0,17 |
| 40 | 68,56 | 8,50 | 99,00 | 25,86 | 6,79 | 5,07 | 1,05 | 0,25 | 0,05 | 0,07 | 0,22 |
| 45 | 82,72 | 9,54 | 101,21 | 31,68 | 7,92 | 5,80 | 1,23 | 0,34 | 0,06 | 0,09 | 0,27 |
| 50 | 96,65 | 10,43 | 119,61 | 39,16 | 9,29 | 6,68 | 1,44 | 0,47 | 0,06 | 0,10 | 0,34 |

D

Da mesma maneira que o P, o nível crítico de S, varia com o P-rem, com valores que vão desde 3,6 até 18 mg/dm³, assim a batata precisa de ser cultivada num solo com disponibilidade média de S, de 1,84 até 6,68 mg/dm³, de acordo com a produtividade.

No caso dos micronutrientes, os níveis de referencia indicam sem exceção que a batata precisa de quantidades muito baixas no solo para sustentar qualquer uma das produtividades analisadas ($Zn = 1,5 \text{ mg/dm}^3$; $Mn = 8 \text{ mg/dm}^3$; $Fe = 30 \text{ mg/dm}^3$; $Cu = 1,2 \text{ mg/dm}^3$ e $B = 0,6 \text{ mg/dm}^3$).

4.2.2 Suprimento de nutrientes

O FERTICALC-Batata calculou o suprimento $suNu_i$ para todas as fontes avaliadas. Os cálculos que se mostram no quadro 20, foram feitos considerando o suprimento pelos resíduos orgânicos da espécie *S. tuberosum*, devido a que é normal ter vários ciclos desta cultura num mesmo lote e não um sistema que inclua rotação.

O $suNu_i_{ROrg}$ foi calculado, em função das produtividades esperadas, considerando que com maior produtividade da matéria seca, uma quantidade maior de resíduos ficaria no campo. Assim, o maior suprimento é de K, de 16,81 kg/ha até 113,37 kg/ha (menor e maior produtividades consideradas), isto é lógico, considerando que é o nutriente de maior acúmulo na cultura, independente de que o tubérculo não seja contabilizado como fonte (Quadro 20). Para as outras espécies consideradas como fonte de ROrg, os suprimentos foram contabilizados obtendo um valor único, para uma produtividade média das culturas de milho de feijão.

O suprimento de N pela matéria orgânica suN_{MOS} foi de 13,71 kg/ha para o solo com P-rem de 4 mg/L (muito argiloso), este valor tem estreita relação com o potencial de mineralização do solo, assim que quanto maior o aporte de biomassa ao sistema solo, maior será a disponibilidade de N (Gonçalves et al., 2001). No caso da batata, o aporte do N, não é suficiente para sustentar a cultura com sua respectiva expectativa de produtividade, pois, nos sistemas convencionais, o acréscimo anual ao sistema de biomassa é baixo se for comparada com outros sistemas, como o de mata nativa (346 kg/ha) ou num florestamento de pinus (88 kg/ha) (Gonçalves et al., 2001).

O solo $suNu_i_{Sol}$, supriu uma quantidade muito pequena, comparado com as necessidades da cultura, para todos os nutrientes exceto para o N, que não foi contabilizado, e para o S, cujo valor foi de 3 630 kg/ha. Isto é razoável, já que, os teores da análise química do solo são muito baixos, o P-rem = 4 mg/L, se relaciona

com a capacidade tampão do solo e o teor de argila, quanto maior a capacidade de retenção, menor será o valor de P-rem, assim, o valor 4 mg/L, indica um solo argiloso em que os fosfatos estão sendo adsorvidos. Também os óxidos de Fe e Al, incluem uma função quanto a retenção dos fosfatos, indicando que o solo 1, é principalmente argiloso com presença de óxidos de Fe e Al, que ocasionariam esse valor do P-rem. Nessa ordem de ideias, um solo com as características descritas anteriormente, pode ser definido como, evoluído, e em consequência terá baixa fertilidade natural, o que é evidente dos valores baixos para as bases trocáveis e o valor alto de Fe disponível.

O suprimento pela calagem suNu_i_Cal reportou para o solo 1, 588,44 e 156,78 kg/ha para o Ca e o Mg, respectivamente, com o que é evidente a importância desta prática não só como corretivo da acidez do solo, mas também como fonte destes dois nutrientes, de modo que as necessidades da cultura ficam cobertas para qualquer uma das produtividades que o usuário selecione.

Quadro 20. Suprimento total dos nutrientes calculado para o solo 1 (P-rem = 4 mg/L), pelo FERTICALC-Batata

| MÓDULO SUPRIMENTO | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|-----------------|-----------------|--------------|-------------|---------------|---------------|-----------------|---------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Fonte de suprimento | Prod. (t/ha) | Macronutrientes | | | | | Micronutrientes | | | | | |
| | | N | P | K | Ca | Mg | S | Fe | Mn | B | Cu | Zn |
| ----- kg/ha ----- | | | | | | | | | | | | |
| suNu _i _ROrg | 15 | 10,16 | 1,25 | 16,81 | 6,73 | 1,51 | 0,93 | 0,22 | 0,09 | 0,01 | 0,01 | 0,03 |
| | 20 | 13,08 | 1,56 | 23,74 | 9,95 | 2,09 | 1,40 | 0,39 | 0,13 | 0,01 | 0,01 | 0,03 |
| | 25 | 16,16 | 1,71 | 31,54 | 12,92 | 2,72 | 1,85 | 0,57 | 0,15 | 0,02 | 0,01 | 0,03 |
| | 30 | 19,35 | 2,01 | 38,91 | 18,49 | 3,36 | 2,21 | 0,94 | 0,19 | 0,02 | 0,01 | 0,03 |
| | 35 | 24,25 | 2,53 | 55,88 | 29,63 | 4,38 | 2,53 | 1,28 | 0,25 | 0,03 | 0,01 | 0,06 |
| | 40 | 28,57 | 3,28 | 66,15 | 40,84 | 5,55 | 2,96 | 1,71 | 0,36 | 0,04 | 0,02 | 0,11 |
| | 45 | 34,51 | 4,37 | 82,92 | 49,48 | 6,49 | 3,70 | 1,99 | 0,50 | 0,05 | 0,02 | 0,16 |
| 50 | 40,41 | 5,16 | 113,37 | 61,19 | 7,95 | 4,62 | 2,31 | 0,74 | 0,06 | 0,03 | 0,24 | |
| suNu _i _MOS | 15 - 50 | 13,71 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| suNu _i _Sol | 15 - 50 | 0,00 | 10,35 | 4,39 | 0,47 | 0,49 | 3 630,57 | 214,65 | 1,42 | 2,16 | 2,17 | 1,79 |
| suNu _i _Cal | 15 - 50 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 588,44 | 156,78 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

4.3 Balanço nutricional pelo FERTICALC-Batata

Até agora, depois de analisar o sistema solo e planta, foram registradas, e matematicamente obtidas, às quantidades que eventualmente podem ser requeridas ou supridas, estes dados, são os necessários para calcular o balanço nutricional para a cultura da batata em qualquer uma das produtividades avaliadas de 15 até 50 t/ha.

Quando a aplicação do nutriente como fertilizante for requerida pela cultura o balanço terá sinal positivo, caso contrario, o resultado é negativo, e conseqüentemente não é necessário adicionar adubos ao solo para sustentar a produtividade.

4.4 Recomendações de adubação do FERTICALC-Batata

Para o caso do solo 1 com P-rem = 4 mg/L, o balanço ficou positivo para N, P, K, Mn, Cu (Cu, positivo para 45 e 50 t/ha, o resto foi negativo) e Zn (Zn, foi positivo para todas as produtividades, exceto para 15 e 20 t/ha, em que foi negativo), indicando a necessidade de aplicação destes elementos (Quadro 21).

A recomendação tem que estar baseada na produtividade e na eficiência no uso do N. Nas condições brasileiras é necessário aplicar 1 kg de fertilizante N visando um rendimento de 150 ± 40 kg de batata (Fontes 1997; Fontes et al., 2012), o que coincide com os valores encontrados no FERTICALC-Batata, em que a necessidade de aplicação foi de aproximadamente 1 kg de N para cada 120 kg de batata produzida. Westermann et al (1988) indicaram que uma aplicação eficaz do fertilizante nitrogenado em batata, precisa que se conheça sua eficiência, em relação as necessidades dos diferentes estágios de crescimento da cultura.

Todas as aplicações de N aumentam o rendimento dos tubérculos comparado com uma testemunha sem aplicação, a eficiência pode aumentar de 60 para 80 %, se a aplicação é parcelada na semeadura e na amontoa.

Quadro 21. Balanço nutricional para a cultura da batata feito pelo FERTICALC-Batata para produtividade de 15 até 50 t/ha, num solo com **P-rem = 4 mg/L**, os valores negativos indicam que o suprimento excede o requerimento em kg/ha. Embaixo se apresenta o balanço que inclui o requerimento de sustentabilidade.

| BALANÇO NUTRICIONAL | | | | | | | | | | | |
|---|-------------------|-----------------------------------|-----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|
| Produtividade (t/ha) | N | P₂O₅ | K₂O | Ca | Mg | S | Fe | Mn | B | Cu | Zn |
| | ----- kg/ha ----- | | | | | | | | | | |
| 15 | 127,99 | 165,68 | 169,73 | -319,05 | -82,49 | -3 617,77 | -212,39 | 0,37 | -2,08 | -1,85 | -0,67 |
| 20 | 163,18 | 253,72 | 241,41 | -312,76 | -79,83 | -3 612,54 | -210,96 | 1,19 | -2,03 | -1,71 | -0,13 |
| 25 | 193,17 | 322,31 | 295,82 | -307,90 | -76,93 | -3 607,80 | -209,32 | 1,87 | -1,99 | -1,39 | 0,60 |
| 30 | 207,42 | 405,46 | 372,32 | -298,10 | -73,45 | -3 603,86 | -206,56 | 2,80 | -1,94 | -0,85 | 1,67 |
| 35 | 224,29 | 460,10 | 423,34 | -282,70 | -68,06 | -3 599,69 | -203,84 | 4,12 | -1,88 | -0,64 | 3,12 |
| 40 | 277,76 | 540,51 | 505,12 | -264,65 | -63,33 | -3 595,61 | -200,57 | 6,15 | -1,81 | -0,10 | 4,43 |
| 45 | 341,98 | 607,94 | 510,57 | -246,90 | -58,46 | -3 590,86 | -198,19 | 8,68 | -1,75 | 0,38 | 5,88 |
| 50 | 407,23 | 666,29 | 601,58 | -223,89 | -52,83 | -3 585,22 | -195,39 | 12,76 | -1,71 | 0,78 | 7,72 |
| BALANÇO NUTRICIONAL: PRODUÇÃO + DOSE DE SUSTENTABILIDADE | | | | | | | | | | | |
| Produtividade (t/ha) | N | P₂O₅ | K₂O | Ca | Mg | S | Fe | Mn | B | Cu | Zn |
| | ----- kg/ha ----- | | | | | | | | | | |
| 15 | 127,99 | 447,15 | 447,15 | -319,05 | -82,49 | -3 598,34 | -212,39 | 0,37 | -2,08 | -1,85 | -0,67 |
| 20 | 163,18 | 535,19 | 518,83 | -312,76 | -79,83 | -3 593,10 | -210,96 | 1,19 | -2,03 | -1,71 | -0,13 |
| 25 | 193,17 | 603,78 | 573,24 | -307,90 | -76,93 | -3 588,37 | -209,32 | 1,87 | -1,99 | -1,39 | 0,60 |
| 30 | 207,42 | 686,93 | 649,74 | -298,10 | -73,45 | -3 584,42 | -206,56 | 2,80 | -1,94 | -0,85 | 1,67 |
| 35 | 224,29 | 741,57 | 700,76 | -282,70 | -68,06 | -3 580,25 | -203,84 | 4,12 | -1,88 | -0,64 | 3,12 |
| 40 | 277,76 | 821,98 | 782,54 | -264,65 | -63,33 | -3 576,17 | -200,57 | 6,15 | -1,81 | -0,10 | 4,43 |
| 45 | 341,98 | 889,41 | 787,99 | -246,90 | -58,46 | -3 571,42 | -198,19 | 8,68 | -1,75 | 0,38 | 5,88 |
| 50 | 407,23 | 947,76 | 879,00 | -223,89 | -52,83 | -3 565,79 | -195,39 | 12,76 | -1,71 | 0,78 | 7,72 |

Mesmo sendo o P, o macronutriente de menor exportação pela cultura da batata, o manejo dele é muito importante, pela baixa disponibilidade que apresenta normalmente no solo, Arrobas & Rodrigues (2000), não obtiveram resposta à aplicação de doses de P_2O_5 , na faixa de 0 a 200 kg/ha, obtendo produtividades de até 37 t/ha, no FERTICALC a dose obtida foi de 460,10 kg/ha, para uma produção de 35 t/ha de tubérculos, o que se justifica no fato de que o solo tinha um teor inicial do P, muito baixo.

Reis (2008), testou duas fontes de K (Cloreto e sulfato) e quatro doses na cultivar de batata Ágata, observou que o sulfato gera maior produtividade de matéria seca, comparado com o cloreto, provavelmente pelo fato de o KCl ter como íon acompanhante do K, o Cl, que aplicado em excesso tem efeitos prejudiciais para a planta, como diminuição no teor de clorofila e assim a produção de assimilados que o tubérculo precisa para o enchimento, diferente do sulfato pois o S, faz parte do grupo dos nutrientes importantes qualitativa e quantitativamente para a batata, já que intervém na formação de clorofila e promove o desenvolvimento reprodutivo (CIP, 2011).

Ele não obteve diferença significativa quanto às doses testadas (0, 200, 400 e 600 kg/ha), porém, produtividades de 40 t/ha, tem reportado um requerimento de fertilização potássica de 335 kg/ha de K_2O (Feltran, 2005), em tanto que em outros casos o requerimento chega até 614 kg/ha de K_2O para a mesma produtividade (Carvalho et al, 2003). A dose recomendada pelo FERTICALC, para dita produtividade foi de 500 kg/ha de K_2O . Essa diferença pode ser pelas variedades utilizadas bem como das características físico químicas do solo, pois com baixos teores iniciais do nutriente, a batateira tem uma resposta mais eficiente ao incremento da adubação potássica (Reis, 2008), em concordância com isto, Arrobas e Rodrigues (2000), testando doses de K, de 0 até 400 kg/ha, obtiveram que a aplicação de 200 kg/ha de K_2O , foi suficiente para produzir 40 t/ha de tubérculos, ajustando-se ao modelo exponencial.

A conveniência de fazer o parcelamento do N e o K foi comprovado na pesquisa de Añez & Espinoza (2006), em que os rendimentos de batata foram superiores quando a adubação foi parcelada para estes nutrientes. Também eles sinalizam que quando o N é aplicado em bandas a utilização pela planta é mais eficiente do que na semeadura, porém, uma parte do adubo tem que ser aplicado no

início da cultura para estimular o desenvolvimento dela. Em geral, os nutrientes aplicados nos primeiros estágios da cultura, são transportados até os tubérculos, mas se forem subministrados, depois das primeiras etapas do ciclo permanecem na parte aérea (Añez & Espinoza, 2006).

4.5 Comparações com outros métodos de recomendação

Já que na quinta aproximação as recomendações são feitas para obter 30 t/ha, a comparação dentre ambos os métodos, considera também a obtenção de dita produtividade, os dados da análise do solo são apresentados no quadro 22 e os resultados são expostos no quadro 23. Para todos os casos analisados o balanço de N foi negativo, pelo que é necessária a aplicação para sustentar a produtividade desejada (30 t/ha), porém o modelo está desenhado para que a recomendação varie de acordo com o teor de matéria orgânica do solo.

Quadro 22. Características químicas dos solos utilizados para fazer as simulações no FERTICALC-Batata

| Solo | Prem | MO | P | K | Ca | Mg | S | Fe | Mn | B | Cu | Zn |
|------|------|------|--------------------|----|-----------------------|------|------|-------|--------------------|------|------|------|
| | mg/L | g/kg | mg/dm ³ | | cmol./dm ³ | | | | mg/dm ³ | | | |
| 1 | 8 | 6,40 | 4 | 10 | 0,27 | 0,06 | 54,1 | 19,3 | 0,4 | 0,19 | 0,14 | 0,69 |
| 2 | 24 | 2,84 | 9 | 45 | 0,19 | 0,1 | 13,2 | 140,3 | 0,1 | 0,63 | 0,21 | 0,38 |
| 3 | 40 | 0,26 | 36 | 75 | 0,09 | 0,03 | 19,7 | 79 | 0,7 | 0,23 | 0,44 | 0,42 |

Quadro 23. Resultados da recomendação de adubação para três solos utilizando o modelo FERTICALC-Batata e a quinta aproximação para uma produtividade de 30 t/ha.

| Nutriente | Solo 1 | | Solo 2 | | Solo 3 | |
|-------------------------------|-------------------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
| | 5 Aprox. | FERTICALC | 5 Aprox. | FERTICALC | 5 Aprox. | FERTICALC |
| | ----- kg/ha ----- | | | | | |
| N | 190 | 208,04 | 190 | 214,49 | 190 | 220,37 |
| P ₂ O ₅ | 420 | 235,53 | 300 | 97,67 | 120 | 0 |
| K ₂ O | 350 | 323,85 | 220 | 166,88 | 0 | 67,43 |

Na figura 6 é possível observar que a dose de N aumenta proporcionalmente com a produtividade. Para que a recomendação de N pudesse ser comparada com o método proposto pela quinta aproximação, foi utilizado para todas as produtividades o dado proporcionado pela tabela (190 kg/ha), em que a função constante $Y = 190$,

representa o sistema tradicional. É razoável que seja diferenciada a dose recomendada pelo FERTICALC-Batata, pois ele considera fontes adicionais de suprimento, que estão variando de acordo com as características do sistema analisado.

Nas situações avaliadas, a necessidade de aplicação do N, pela quinta aproximação foi levemente menor comparada com o FERTICALC-Batata, provavelmente porque plantas cultivadas em condições experimentais têm ótimo fornecimento dos nutrientes, resultando em concentrações maiores nos tecidos. Contudo, a aplicação de N, em doses elevadas tem mostrado resposta positiva quanto á produtividade de tubérculos (Cardoso et al., 2007).

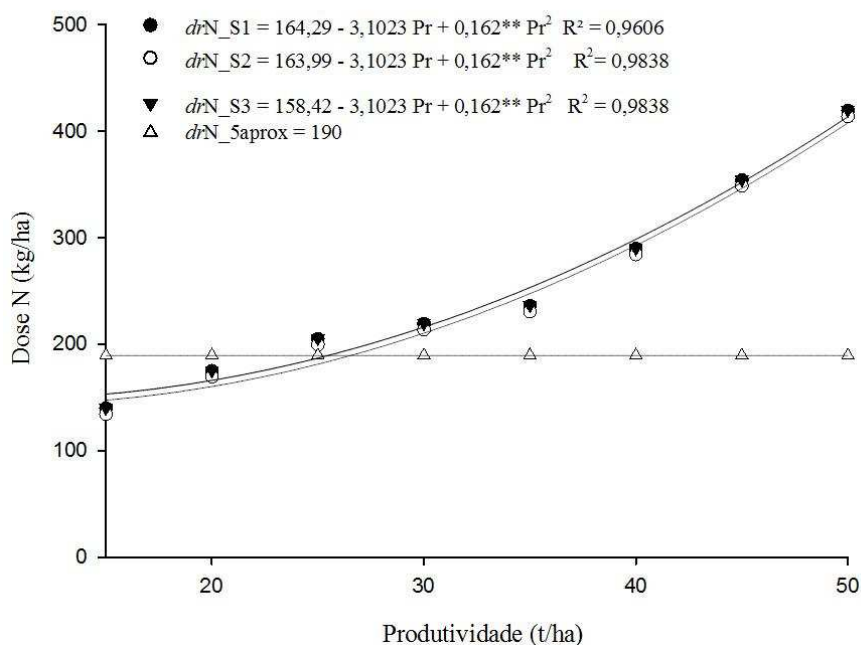


Figura 6. Recomendações de adubação para o N, na cultura da batata, obtidas com o FERTICALC-Batata em três solos, comparadas com o sistema tradicional (quinta aproximação) para uma produtividade de 30 t/ha.

As variações na recomendação dentre as simulações, estão fundamentadas na diferença no teor da matéria orgânica do solo, de modo que, o maior valor de MOS no S2 (2,84 dag/kg), comparado com os solos 1 e 3, que pode ser considerado como muito baixo (0,52 e 0,26 dag/kg, respetivamente), resultou na menor necessidade de aplicação do fertilizante. Isto significa que, com maior teor de compostos orgânicos mineralizáveis, o suN_MOS é maior, como se reflete na figura 6. em que a curva de requerimento de aplicação do solo 2 se encontra embaixo das outras duas situações, da mesma maneira, pelo fato anteriormente exposto. O suprimento pelos resíduos

orgânicos é indistinto nas situações simuladas, pelo que não é possível considerá-lo como critério padrão para justificar as diferenças da recomendação.

Adicionalmente, também é possível diferenciar a importância de que as recomendações sejam feitas variando de acordo com a produtividade esperada, pois em todos os casos contemplados o resultado é uma função quadrática (equação significativa a 5 %), em que, para baixas produtividades a recomendação é menor, e aumenta bruscamente na faixa de 35 até 50 t/ha. Isto provavelmente porque as $trNu_i_{PI}$ diminuem com o aumento da produtividade. Também, foi constatado para o caso do N, que pese à maneira diferente como o FERTICALC foi construído, os resultados são coerentes com o valor recomendado utilizando tabelas.

O sistema estimou, utilizando os teores no solo de 4; 9 e 36 mg/dm³, para os S1, S2 e S3, respectivamente, resultando na recomendação de fósforo, mostrada nos quadros 24, 25 e 26, e na figura 7. Quando a disponibilidade foi muito boa (S3), o FERTICALC sugere não fazer aplicação de P, o que é discutível desde o ponto de vista da disponibilidade do nutriente para a batata, nos primeiros estágios de crescimento, quando o sistema de raízes não estiver bem desenvolvido, porém, o modelo não avalia esta situação. A quinta aproximação sugere a aplicação de 120 kg/ha, provavelmente para assegurar a disponibilidade do nutriente para a planta, independentemente de que o solo tenha o suprimento suficiente, o seja, com balanço negativo, que indicaria que não é necessário fazer a aplicação de P₂O₅. Para os solos 1 e 2, a recomendação foi menor do que a da quinta aproximação, pelo fato que o FERTICALC considera o suprimento de P dos resíduos orgânicos, no entanto, para a produtividade de 30 t/ha, com a mesma batata como alternativa de rotação, o suprimento foi de 2 kg/ha só. Se for analisada a demanda da planta, de 24,84 kg/ha para produtividade de 30 t/ha, que equivale a 57,87 kg/ha de P₂O₅ (o que está em concordância com Guerrero, 1998), valores de 420 kg/ha de P₂O₅ parecem ser exagerados. Por tanto, possivelmente o sistema tabelado tenha erro ao subestimar a $trNu_i_{PI}$, resultando numa recomendação excessiva de P₂O₅ (420 kg/ha de P₂O₅, quando a planta está acumulando 57,87 kg/ha de P₂O₅).

Os resultados para a recomendação de P, também indicam que provavelmente, aplicações calculadas com outro método (diferente do tradicional), poderiam ter um impacto na redução da utilização excessiva de adubos fosfatados para a cultura da batata.

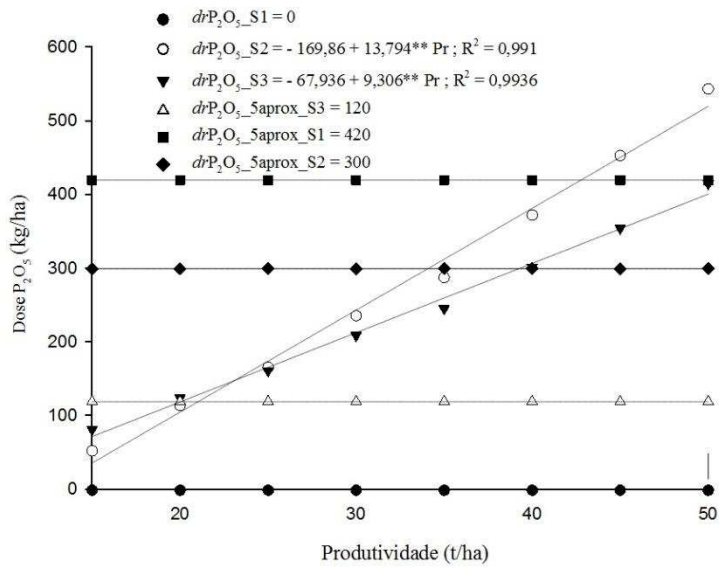


Figura 7. Recomendações de adubação para o P como P_2O_5 , na cultura da batata, obtidas com o FERTICALC-Batata em três solos (S1, S2 e S3) comparadas com o sistema tradicional (quinta aproximação).

Quadro 24. Simulação 1: Balanço nutricional para a cultura da batata feito pelo FERTICALC-Batata para produtividade de 15 até 50 t/ha, num solo com **P-rem = 8 mg/L**, os valores negativos indicam que o suprimento excede o requerimento em kg/ha. Embaixo se apresenta o balanço que inclui o requerimento de sustentabilidade.

| BALANÇO NUTRICIONAL | | | | | | | | | | | |
|---|-------------------|-----------------------------------|-----------------------|-----------|-----------|------------------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|
| Produtividade (t/ha) | N | P₂O₅ | K₂O | Ca | Mg | S | Fe | Mn | B | Cu | Zn |
| | ----- kg/ha ----- | | | | | | | | | | |
| 15 | 128,61 | 6,23 | 121,26 | -319,64 | -82,23 | -1 883,77 | -162,79 | 0,37 | -0,72 | -0,76 | -4,86 |
| 20 | 163,81 | 89,10 | 192,95 | -313,35 | -79,56 | -1 878,76 | -161,36 | 1,19 | -0,68 | -0,62 | -4,34 |
| 25 | 193,79 | 154,70 | 247,36 | -308,49 | -76,67 | -1 874,23 | -159,72 | 1,87 | -0,63 | -0,30 | -3,63 |
| 30 | 208,04 | 235,53 | 323,85 | -298,69 | -73,18 | -1 870,46 | -156,96 | 2,80 | -0,59 | 0,23 | -2,60 |
| 35 | 224,92 | 289,35 | 374,87 | -283,28 | -67,80 | -1 866,47 | -154,24 | 4,12 | -0,53 | 0,45 | -1,20 |
| 40 | 278,38 | 369,47 | 456,65 | -265,23 | -63,07 | -1 862,56 | -150,97 | 6,15 | -0,46 | 0,99 | 0,06 |
| 45 | 342,60 | 437,78 | 462,10 | -247,49 | -58,20 | -1 858,03 | -148,59 | 8,68 | -0,40 | 1,46 | 1,46 |
| 50 | 407,86 | 499,58 | 553,11 | -224,47 | -52,57 | -1 852,65 | -145,79 | 12,76 | -0,35 | 1,87 | 3,23 |
| BALANÇO NUTRICIONAL: PRODUÇÃO + SUSTENTABILIDADE | | | | | | | | | | | |
| Produtividade (t/ha) | N | P₂O₅ | K₂O | Ca | Mg | S | Fe | Mn | B | Cu | Zn |
| | ----- kg/ha ----- | | | | | | | | | | |
| 15 | 128,61 | 268,86 | 398,68 | -319,64 | -82,23 | -1 865,11 | -162,79 | 0,37 | -0,72 | -0,76 | -4,86 |
| 20 | 163,81 | 351,72 | 470,37 | -313,35 | -79,56 | -1 860,10 | -161,36 | 1,19 | -0,68 | -0,62 | -4,34 |
| 25 | 193,79 | 417,32 | 524,78 | -308,49 | -76,67 | -1 855,57 | -159,72 | 1,87 | -0,63 | -0,30 | -3,63 |
| 30 | 208,04 | 498,15 | 601,27 | -298,69 | -73,18 | -1 851,79 | -156,96 | 2,80 | -0,59 | 0,23 | -2,60 |
| 35 | 224,92 | 551,97 | 652,29 | -283,28 | -67,80 | -1 847,80 | -154,24 | 4,12 | -0,53 | 0,45 | -1,20 |
| 40 | 278,38 | 632,09 | 734,07 | -265,23 | -63,07 | -1 843,90 | -150,97 | 6,15 | -0,46 | 0,99 | 0,06 |
| 45 | 342,60 | 700,40 | 739,52 | -247,49 | -58,20 | -1 839,37 | -148,59 | 8,68 | -0,40 | 1,46 | 1,46 |
| 50 | 407,86 | 762,20 | 830,53 | -224,47 | -52,57 | -1 833,99 | -145,79 | 12,76 | -0,35 | 1,87 | 3,23 |

Quadro 25. Simulação 2: Balanço nutricional para a cultura da batata feito pelo FERTICALC-Batata para produtividade de 15 até 50 t/ha, num solo com **P-rem = 24 mg/L**, os valores negativos indicam que o suprimento excede o requerimento em kg/ha. Embaixo se apresenta o balanço que inclui o requerimento de sustentabilidade.

| BALANÇO NUTRICIONAL | | | | | | | | | | | |
|---|-------------------|-----------------------------------|-----------------------|-----------|-----------|----------------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|
| Produtividade (t/ha) | N | P₂O₅ | K₂O | Ca | Mg | S | Fe | Mn | B | Cu | Zn |
| | ----- kg/ha ----- | | | | | | | | | | |
| 15 | 135,06 | -62,92 | -35,71 | -319,33 | -82,38 | -213,69 | -1 197,57 | 1,43 | -2,59 | -1,30 | -2,12 |
| 20 | 170,26 | -8,17 | 35,97 | -313,03 | -79,71 | -209,50 | -1 196,14 | 2,26 | -2,54 | -1,16 | -1,67 |
| 25 | 200,24 | 37,54 | 90,38 | -308,17 | -76,82 | -205,71 | -1 194,49 | 2,93 | -2,50 | -0,84 | -1,05 |
| 30 | 214,50 | 97,67 | 166,88 | -298,38 | -73,33 | -202,56 | -1 191,74 | 3,86 | -2,45 | -0,31 | -0,14 |
| 35 | 231,37 | 140,36 | 217,90 | -282,97 | -67,95 | -199,21 | -1 189,01 | 5,19 | -2,39 | -0,10 | 1,07 |
| 40 | 284,83 | 208,38 | 299,68 | -264,92 | -63,22 | -195,95 | -1 185,75 | 7,22 | -2,32 | 0,45 | 2,17 |
| 45 | 349,05 | 270,61 | 305,13 | -247,17 | -58,35 | -192,21 | -1 183,37 | 9,74 | -2,26 | 0,92 | 3,39 |
| 50 | 414,31 | 330,99 | 396,14 | -224,16 | -52,72 | -187,77 | -1 180,57 | 13,82 | -2,22 | 1,33 | 4,92 |
| BALANÇO NUTRICIONAL: PRODUÇÃO + SUSTENTABILIDADE | | | | | | | | | | | |
| Produtividade (t/ha) | N | P₂O₅ | K₂O | Ca | Mg | S | Fe | Mn | B | Cu | Zn |
| | ----- kg/ha ----- | | | | | | | | | | |
| 15 | 135,06 | 107,70 | 241,71 | -319,33 | -82,38 | -197,81 | -1 197,57 | 1,43 | -2,59 | -1,30 | -2,12 |
| 20 | 170,26 | 162,45 | 313,39 | -313,03 | -79,71 | -193,62 | -1 196,14 | 2,26 | -2,54 | -1,16 | -1,67 |
| 25 | 200,24 | 208,16 | 367,80 | -308,17 | -76,82 | -189,84 | -1 194,49 | 2,93 | -2,50 | -0,84 | -1,05 |
| 30 | 214,50 | 268,29 | 444,30 | -298,38 | -73,33 | -186,68 | -1 191,74 | 3,86 | -2,45 | -0,31 | -0,14 |
| 35 | 231,37 | 310,97 | 495,32 | -282,97 | -67,95 | -183,33 | -1 189,01 | 5,19 | -2,39 | -0,10 | 1,07 |
| 40 | 284,83 | 379,00 | 577,10 | -264,92 | -63,22 | -180,07 | -1 185,75 | 7,22 | -2,32 | 0,45 | 2,17 |
| 45 | 349,05 | 441,23 | 582,55 | -247,17 | -58,35 | -176,33 | -1 183,37 | 9,74 | -2,26 | 0,92 | 3,39 |
| 50 | 414,31 | 501,61 | 673,56 | -224,16 | -52,72 | -171,89 | -1 180,57 | 13,82 | -2,22 | 1,33 | 4,92 |

Quadro 26. Simulação 3: Balanço nutricional para a cultura da batata feito pelo FERTICALC-Batata para produtividade de 15 até 50 t/ha, num solo com **P-rem = 40 mg/L**, os valores negativos indicam que o suprimento excede o requerimento em kg/ha. Embaixo se apresenta o balanço que inclui o requerimento de sustentabilidade.

| BALANÇO NUTRICIONAL | | | | | | | | | | | |
|---|-------------------|-----------------------------------|-----------------------|-----------|-----------|----------------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|
| Produtividade (t/ha) | N | P₂O₅ | K₂O | Ca | Mg | S | Fe | Mn | B | Cu | Zn |
| | ----- kg/ha ----- | | | | | | | | | | |
| 15 | 140,94 | -358,73 | -135,16 | -318,94 | -82,12 | -211,91 | -673,34 | -0,70 | -0,89 | -3,09 | -1,92 |
| 20 | 176,14 | -311,88 | -63,47 | -312,64 | -79,45 | -208,41 | -671,91 | 0,12 | -0,85 | -2,95 | -1,52 |
| 25 | 206,12 | -272,49 | -9,06 | -307,78 | -76,56 | -205,26 | -670,26 | 0,80 | -0,80 | -2,63 | -0,97 |
| 30 | 220,37 | -220,15 | 67,43 | -297,98 | -73,07 | -202,62 | -667,51 | 1,73 | -0,76 | -2,10 | -0,17 |
| 35 | 237,25 | -182,58 | 118,45 | -282,58 | -67,69 | -199,82 | -664,78 | 3,06 | -0,70 | -1,88 | 0,91 |
| 40 | 290,71 | -121,67 | 200,23 | -264,53 | -62,96 | -197,12 | -661,52 | 5,08 | -0,63 | -1,34 | 1,88 |
| 45 | 354,93 | -64,80 | 205,68 | -246,78 | -58,08 | -194,04 | -659,13 | 7,61 | -0,57 | -0,87 | 2,96 |
| 50 | 420,19 | -8,37 | 296,69 | -223,77 | -52,46 | -190,40 | -656,34 | 11,69 | -0,52 | -0,46 | 4,31 |
| BALANÇO NUTRICIONAL: PRODUÇÃO + SUSTENTABILIDADE | | | | | | | | | | | |
| Produtividade (t/ha) | N | P₂O₅ | K₂O | Ca | Mg | S | Fe | Mn | B | Cu | Zn |
| | ----- kg/ha ----- | | | | | | | | | | |
| 15 | 140,94 | -212,55 | 142,26 | -318,94 | -82,12 | -198,40 | -673,34 | -0,70 | -0,89 | -3,09 | -1,92 |
| 20 | 176,14 | -165,70 | 213,95 | -312,64 | -79,45 | -194,90 | -671,91 | 0,12 | -0,85 | -2,95 | -1,52 |
| 25 | 206,12 | -126,30 | 268,36 | -307,78 | -76,56 | -191,75 | -670,26 | 0,80 | -0,80 | -2,63 | -0,97 |
| 30 | 220,37 | -73,97 | 344,85 | -297,98 | -73,07 | -189,11 | -667,51 | 1,73 | -0,76 | -2,10 | -0,17 |
| 35 | 237,25 | -36,39 | 395,87 | -282,58 | -67,69 | -186,31 | -664,78 | 3,06 | -0,70 | -1,88 | 0,91 |
| 40 | 290,71 | 24,51 | 477,65 | -264,53 | -62,96 | -183,61 | -661,52 | 5,08 | -0,63 | -1,34 | 1,88 |
| 45 | 354,93 | 81,38 | 483,10 | -246,78 | -58,08 | -180,53 | -659,13 | 7,61 | -0,57 | -0,87 | 2,96 |
| 50 | 420,19 | 137,81 | 574,11 | -223,77 | -52,46 | -176,89 | -656,34 | 11,69 | -0,52 | -0,46 | 4,31 |

Para o K, a recomendação em todos os casos analisados, se encontra muito perto do valor que foi dado pela quinta aproximação. Foram utilizados os teores no solo de 10, 45 e 75 mg/dm³, obtendo recomendações variando de acordo com estes valores. Segundo os dados fornecidos pelo FERTICALC-Batata, o nível crítico no solo para produtividade de 30 t/ha, deve ser de 74,24 mg/dm³, isto devido à grande exigência da batata pelo K.

O comportamento linear, que foi muito altamente significativo, indica que é importante variar as doses de acordo com a produtividade, pois se for calculada, baseada no teor do solo, é possível ter aplicações deficientes ou excessivas.

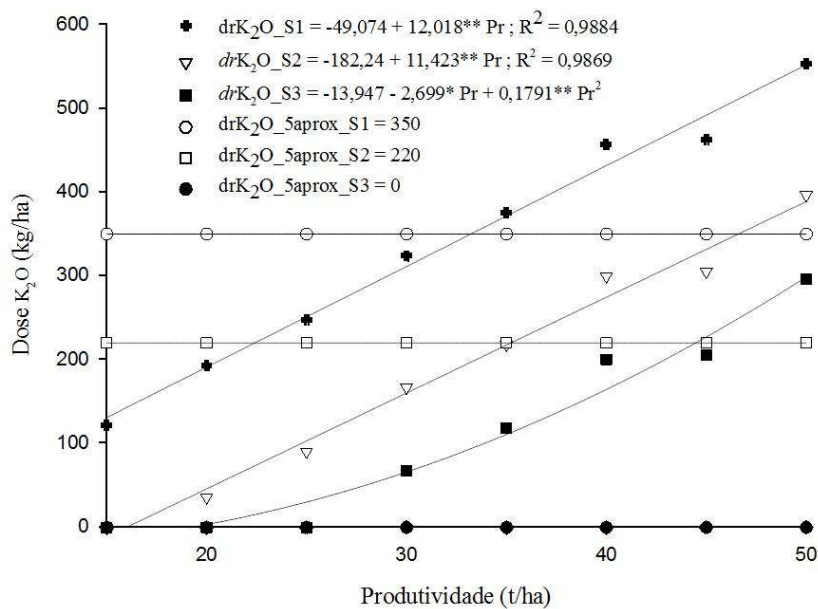


Figura 8. Recomendações de adubação para o K como K₂O, na cultura da batata, obtidas com o FERTICALC-Batata em três solos (S1, S2 e S3) comparadas com o sistema tradicional (quinta aproximação).

4. CONCLUSÕES

O modelo FERTICALC-Batata, pode ser considerado como uma aproximação que melhora a exatidão das doses recomendações de adubos para esta cultura. A maior exatidão no cálculo das doses aumenta a eficiência do investimento feito pelo usuário, utilizando as quantidades de fertilizante que a cultura realmente precisa.

O FERTICALC está baseado no uso de múltiplas informações do sistema solo-planta, como as quantidades de micronutrientes, ou o cálculo de fontes de suprimento diferentes aos teores no solo, porém, o sistema tradicional é o produto de anos de pesquisa, com o que o modelo proposto ainda não pode substituir totalmente o uso de tabelas.

Em todos os casos analisados o FERTICALC-Batata calculou-se doses de N e de K, que concorda com a recomendação que seria obtida utilizando o sistema atual, porém no caso do P, a drP foi menor do que no sistema tradicional, em todos os casos analisados, possivelmente as tabelas estejam superestimando as quantidades que devem ser aplicadas, no entanto, esta hipótese deve ser confirmada em futuras pesquisas.

O desenvolvimento do FERTICALC-Batata, permitiu conhecer vazios na pesquisa dirigida para a espécie *S. tuberosum*, pois não foi possível fazer estratificação nenhuma das recomendações do modelo, pela carência de informações.

6. REFERENCIAS

- ABBA, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA BATATA. A oferta de batata no Brasil. 2001. Disponível em: http://www.abbabatatabrasileira.com.br/revista_03_025.htm. Acesso: 20 de agosto de 2014.
- ABBA, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA BATATA. A Batata como alimento. Disponível em: http://www.abbabatatabrasileira.com.br/2008/abatata.asp?id_BAT=3 . Acesso: 20 de janeiro de 2014.
- AGRIANUAL, ANUÁRIO ESTATÍSTICO DA AGRICULTURA BRASILEIRA. São Paulo: FNP, 2007. Disponível em: <http://www.agriannual.com.br/>. Acesso em: 18 de janeiro de 2014.
- AGRIANUAL, ANUÁRIO DA AGRICULTURA BRASILEIRA. São Paulo: FNP. 482p. 2013.
- ALMEIDA, D. Manual de Culturas Hortícolas, Vol. 2. Ed. Presença. 2006.
- ALVAREZ, V., V.H.; & RIBEIRO, A.C. Calagem. pp 43-60; In: GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5.a. aproximação. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359 p.
- ALVAREZ, V. V.H.; SANTOS, A.F.; SANTOS, G.L. & MATTA, P.M. 2014. Fertilização de Plantas Ornamentais: Método Requerimento-Suprimento: Proposição de técnica experimental. R. Bras. Ci. Solo, 38: 532-543, 2014.
- AÑEZ, B. & ESPINOZA, W. Respuesta de la papa a la aplicación fraccionada de nitrógeno y potasio. Agricultura Andina, 11. 28-38, 2006.
- ARROBAS, M. & RODRIGUES, M.A. Efeito da adubação azotada, fosfatada e potássica na cultura da batata. Produtividade e eficiência de uso dos nutrientes. Revista de Ciências Agrárias, pp. 101-111, 2000.
- BAKER, V. & PILBENM, J. Handbook of Plant Nutrition. 1st Edition. Taylor and Francis Group. London. 2007. 613 p.
- BARRERA, L. Fertilización del cultivo de la papa en los departamentos de Cundinamarca y Boyacá. In: BARRERA, L. Fertilización en Cultivos de Clima Frío. Segunda edición. Monómeros Colombo Venezolanos S.A. Bogotá. pp 47 – 67, 1998.

- BARRERA, L. & TAMAYO, A. Manejo integrado del cultivo de la papa. Manual técnico. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. CORPOICA. Mosquera. 2000. 195 p
- BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; TEIXEIRA, J.L. & FERNANDES, E.I. NUTRICALC 2.0 – Sistema para cálculo del balance nutricional y recomendación de fertilizantes para el cultivo de eucalipto. *Bosque*, 16 (1): 129-131, 1995.
- BEEGLE, D. Assesing soil phosphorus for crop production by soil testing. In: SIMS J.T. & SHARPLEY, A.N., Eds. Phosphorus: Agriculture and the environment. Modison, Soil Science Society of America, p.123-144, 2005.
- BENINTENDE, M.C.; BENINTENDE, S.M.; STERREN, M.A.; MUSANTE, C.; SALUZZIO, M. & DE BATISTA, J.J. 2007. Modelo para estimar la capacidad de aporte de nitrógeno del suelo. *AGRISCIENTIA*, VOL. 14 (2): 97-101, 2007.
- BORTOLON, L & GIANELLO, C. Interpretação de resultados analíticos de fósforo pelos extratores Mehlich-1 e Mehlich-3 em solos do Rios Grande do Sul. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:2751-2756, 2008.
- BRAUN, H.; FONTES, P.C.; BUSATO, C. & CECON, P.R. Teor e exportação de macro e micronutrientes nos tubérculos de cultivares de batata em função do nitrogênio. *Bragantia*, Campinas v. 70, No. 1, p. 50-57, 2011.
- BUSATO, C. Características da planta, teores de nitrogênio na folha e produtividade de tubérculos de cultivares de batata em função de doses de nitrogênio. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2007. 142 p. (Tese de Mestrado em Fitotecnia).
- CAMPOS, C.G. & SCOTTI, C.A. A produção de batata - consumo no Brasil: Contribuição ao Mercosul. In: *La producción de papa en Argentina, Brasil y Uruguay. Contribución al Mercosur*. Mendoza: EPAGRI. p.43-60, 1995.
- CANTARUTTI, R.B.; BARROS, N.F.; MARTINEZ, H.E.P. & NOVAIS, R.F. Avaliação da Fertilidade do solo e recomendação de Fertilizantes. In: NOVAIS, R.F., ALVAREZ, V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.L.C. (Eds.). *Fertilidade do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. pp. 645-737, 2007.
- CARDOSO, A.D.; ALVARENGA, M.A.; MELO, T.L. & VIANA, A.E. Produtividade e qualidade de tubérculos de batata em função de doses e parcelamentos de nitrogênio e potássio, *Ciênc. Agrotec.* vol. 31 No. 6, Lavras Nov./Dec. 2007.

- CARVALHO, A.M.; ARAGÃO, F.A.; BRUNE, S. & BUSO, J.A. Produtividade e qualidade dos tubérculos de batata em diferentes ciclos de cultivo In: Congresso Brasileiro de Olericultura, 43. Recife. Anais Recife, 2003. Suplemento 1, v. 21, p. 302, 2003.
- CARVALHO, F. T. Sistema de interpretação de análise de solo para recomendação de corretivos e fertilizantes para a cultura do milho. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2000. 93 p. (Tese de Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- CASTRO, H. Balance y prospectiva de la investigación en la fertilización de papa en Colombia. Memorias “I Taller Nacional sobre suelos, fisiología y nutrición vegetal en el cultivo de la papa. Centro Virtual de Investigación de la Cadena Agroalimentaria de la Papa CEVIPAPA. pp 31 – 43, 2005.
- CERQUEIRA, A.; JÚNIOR, J.N. & SANTOS, R.L. Recomendações de corretivos e fertilizantes para Goiás, 5 aproximação. Comissão da Fertilidade dos Solos de Goiás Universidade Federal de Goiás, 1988. 90p
- CIP, CENTRO INTERNACIONAL DE LA PAPA. 50 Potato Facts. 2011. Disponível em: <http://www.cipotato.org/publications/pdf/004495.pdf>. Acesso: 25 de janeiro de 2014.
- COGO, C.M. Crescimento, qualidade de tubérculos e relação N/K da cultura da batata sob doses elevadas de potássio. Santa Maria PG, Universidade de Santa Maria, 2006. 51 p. (Tese de mestrado em Agronomia).
- CONSORTE, J.E. & BRINHOLI, O. O efeito da calagem e de doses de nitrocálcio em cobertura na produção de batata. Itararé, 1994. Em: <http://www.abhorticultura.com.br/biblioteca/Default.asp?id=5290>. Acesso em: 5 de novembro de 2014.
- CORCHUELO, G. Ecofisiología de la papa. En: Taller Nacional sobre Suelos, Fisiología y Nutrición Vegetal en el Cultivo de la Papa. Bogotá, Colombia. 2005. 99 p.
- COSTA, J.R.; PINHO, L.N. & PARRY, M.M. Produção de matéria seca de cultivares de milho sob diferentes níveis de estresse hídrico. R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, v.12, n.5, p.443–450, 2008.
- COÛTEAUX, M.M.; HERVÉ, D. & MITA, V. Carbon and Nitrogen Dynamics of Potato Residues and Sheep Dung in a Two-Year Rotation Cultivation in the

- Bolivian Altiplano. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 39: 475–498, 2008.
- DECHASSA, N.; SCHENK, M. K.; CLAASSEN, N. & STEINGROBE, B. Phosphorus efficiency of cabbage (*Brassica oleraceae* L. var. capitata), carrot (*Daucus carota* L.), and potato (*Solanum tuberosum* L.). *Plant and Soil* 250: 215-224, 2003.
- DEUS, J.A. Sistema de recomendação de adubos e fertilizantes para o meloeiro com base no balanço nutricional. Universidade Federal do Ceará, Ceará, 2012. 123 p. Tese (Mestrado em Agronomia).
- DWELLE, R. Source/Sink Relationships during tuber growth. *American Potato Journal*. Vol 67. No 12, pp 829 – 833, 1990.
- ESPINAL, C.; MARTÍNEZ, H.; PINZÓN, N. & BARRIOS, C. La cadena de la papa en Colombia. Ministerio de Agricultura y desarrollo rural. Bogotá, Colombia. 2005. 123 p.
- ESTRADA, A. Diferentes usos de la papa. Federación Colombiana de productores de papa. Bogotá. 2008. 45 p.
- FAO, FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Statistical Databases. 2010. Disponível em <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>. Acesso: 25 de janeiro de 2014
- FELTRAN, J.C. Adubação Mineral na cultura da batata e do residual no feijoeiro. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, UNESP, Botucatu, SP, 2005. 112p. Tese (Doutorado em Agronomia).
- FERNANDES, A.M. Adubação fosfatada em cultivares de batata (*Solanum tuberosum* L.). 2013. 163 p. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, UNESP, Botucatu, SP. Tese (Doutorado em Agronomia).
- FERNANDES, A.M. Crescimento, produtividade, acúmulo e exportação de nutrientes em cultivares de batata (*Solanum tuberosum* L.). 2010. 158 p. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, UNESP, Botucatu, SP. Tese (Mestrado em Agronomia).
- FERNANDES, A.M.; SORATTO, R.P. & SILVA, B.L. Extração e exportação de nutrientes em cultivares de batata: I – macronutrientes. *R. Bras. Ci. Solo*, 35:2039-2056, 2011.

- FERNANDES, A.M.; SORATTO, R.P.; SILVA, B.L. & SOUZA-SCHLICK, G.D. Crescimento, acúmulo e distribuição de matéria seca em cultivares de batata na safra de inverno. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.45, n.8, p.826-835, ago, 2010.
- FONTES, P.C. Sugestões para adubação de Hortaliças, Batata. In: FONTES, P.C.; RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5.a aproximação*. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359 p.
- FONTES, P.C. *Olericultura – Teoria e prática*. Editora Universidade Federal de Viçosa, 2005. 486p.
- FONTES, P.C.; SILVA, M.C. & MIRANDA, G.V. Statistical Models in Plant Diagnosis and Calculating Recommended Nitrogen Rates. In: HE, Z., LARKIN, R. & HONEYCUTT, W. *Sustainable Potato Production: Global case studies*. pp 391 – 402, 2012.
- FREIRE, F. J. Sistema para cálculo do balanço nutricional e recomendação de corretivos e fertilizantes para cana-de-açúcar. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001. 144 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas).
- FUENTEALBA, J. La papa una planta C3. *Revista de la Papa*. Chile. Año 3, No. 10, pp. 6-7, 2001.
- GIL, P.T. Índices e eficiência de utilização de nitrogênio pela batata influenciados por doses de nitrogênio em pré-plantio e em cobertura. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001. 81p. Tese (Mestrado em fitotecnia).
- GIONGO, V.; MENDES, A.M.; CUNHA, T.J. & GALVÃO, S.R. Decomposição e liberação de nutrientes de coquetéis vegetais para utilização no Semiárido brasileiro. *Revista Ciência Agronômica*, v. 42, n. 3, p. 611-618, jul-set, 2011
- GONÇALVES, J.L., MENDES, C.F. & SASAKI, C.M. Mineralização do Nitrogênio em ecossistemas florestais naturais e implantados do estado de São Paulo. *R. Bras. Ci. Solo*, 25:601-616, 2001.
- GRANDET, G. & LORA, R. Acumulación de materia seca y de varios nutrimentos en tres variedades de papa cultivadas en la serie Mosquera del Centro Experimental Tibaitatá. En Programa Nacional de Suelos. Informe de Progreso. Instituto Colombiano Agropecuario. Bogotá. pp.98-103, 1978.
- GRILLO, J.F.; ALVES, E. O. & CAMPOS, F.R. Determinação e interpretação dos teores de fósforo remanescente e níveis críticos do fósforo dos solos do Paraná.

- In: Congresso Brasileiro da Ciencia do Solo, 31,2007, Gramado. Trabalhos Porto Alegre, SBCS, 2007, CD-Room.
- GUERRERO, F.P. Efecto del encalado sobre el rendimiento de papa *Solanum tuberosum* L. en la Parroquia de Julio Andrade provincia de Carchi. Universidad Técnica del Norte, Ecuador, 2007. 79p. Tese (Ingeniero Agropecuario).
- GUERRERO, R. Fertilización de Cultivos en Clima Frío. Monómeros Colombo-Venezolanos S.A. Impresión: Sáenz y Cía. Ltda. Santafé de Bogotá. Colombia, 1998.
- HACK, H.; BLEIHOLDER, H.; WEBER, F.E.; FELLER, C.; MESS, H.; WICKE, H.; MEIER, U.; VAN DEN BOOM, T.; LANCASHIRE, P.D.; BUHR, F.L.; KLOSE, F.R. & STAUSS, R. Growth stages of mono-and dicotyledonous plants. Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt and Chemical Industry, BBCH monograph. Federal Biological Research Centre for Agriculture and Forestry. Germany. 2001.
- HERRERA, C.; FIERRO, L. & MORENO, J. Manejo integrado del cultivo de la papa. CORPOICA. Bogotá. Colombia. 2000. 196 p.
- HIROSHI, D. & BERNARDES, J.P. Choque de Competitividade. 2013. Disponível em: http://cepea.esalq.usp.br/hfbrasil/edicoes/51/mat_capa.pdf. Acesso: 27 de janeiro de 2014
- KOOMAN, P.L. & HAVERKORT, A.J. Modelling development and growth of the potato crop influenced by temperature and daylength: LINTUL-POTATO. Em: HAVERKORT, A.J. & MACKERRON, D.K.L. (Eds.) Potato Ecology and modeling of crops under conditions limiting growth, Kluwer Academic Publishers. 1994. 379p.
- MALAVOLTA, E. - ABC da Adubação. Editora Agronômica CERES Ltda. São Paulo (SP), 1979. 256 p.
- MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. Second edition. Academia Press Ltd., Londres. 1995. 889 p.
- MELLO, M. S. Sistema de interpretação de análise e de recomendação de calagem e fertilizantes para a cultura do tomate. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG, 2000. 107p. Tese (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- MENDONÇA, A. & PEIXOTO, N. Efeitos do espaçamento e de níveis de adubação em cultivares de batata-doce. Horticultura Brasileira 9. pp 80-82, 1991.

- MICROFERTISA. Guía Técnica Para el Manejo Nutricional de los Cultivos: diagnóstico, interpretación y recomendación de planes de fertilización. Bogotá. 2005. 52 p.
- MUNIZ, L.C.; VIU, M.A.; MAGNABOSCO, C.U. & LOPES, D.T. Modelagem e simulação na agropecuária. Pubvet, V. 1, N. 11, Ed. 11, Art. 1, ISSN 1982-1263, 2007.
- NETO, D., TERUEL, D. A., REICHARDT, K.; NIELSEN, D.R.; FRIZZONE, J.A.; BACCHI, O.O.S. Principles of crop modeling and simulation: I. uses of mathematical models in agricultural science. Scientia Agricola, v.55, n. especial Piracicaba, p.46 - 50, 1998.
- NETO, J.A. Taxas de recuperação de zinco, cobre e boro por diferentes extratores em solos da Bahia e de Minas Gerais. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003. 63p. Tese (Mestrado em solos e nutrição de plantas).
- NOVAIS, R.F. & SMYTH, T.J. Fosforo em solo e planta, em condições tropicais. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa. 1999. 399 p.
- ÑÚSTEZ, C.E.; SANTOS, M. & SEGURA, M. Acumulación y distribución de matéria seca de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum*) en Zipaquirá, Cundinamarca (Colombia). Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín: 4823 – 4834, 2009.
- ÑÚSTEZ, C.; SANTOS, M.; NAVIA, S. & COTES, J. Evaluación de la fertilización fosfórica foliar y edáfica sobre el rendimiento de la variedad de papa ‘Diacol Capiro’ (*Solanum tuberosum* L.). Agronomía Colombiana. 24(1): 111-121, 2006.
- ODEPA. Boletín estadístico de hortalizas y tubérculos: superficie, precios y comercio exterior. Ministerior de Agricultura, Chile. p. 33. 2010.
- OLIVEIRA, F. H. T.; NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H. & CANTARUTTI, R. B. Desenvolvimento de um sistema para recomendação de adubação para a cultura da bananeira. Revista Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa, v. 29, No. 1:131-143, 2005.
- OLIVEIRA, F.H.T. Sistema para recomendação de calagem e adubação para a cultura da bananeira. 2002. 88f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.
- OLIVEIRA, J.R.V. Sistema para cálculo de balanço nutricional e recomendação de calagem e adubação de povoamentos de teca-NUTRITECA. 2003. 76 f.

- Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Planta) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.
- OSAKI, M.; NAKAMURA, T. & TADANO, T. Production efficiency of nitrogen absorbed by potato plant at various growth stages. *Soil Science. Plant Nutrition*, 39 (4): 583-593, 1993.
- PARENTONI, S.N.; FRANÇA, G.E. & BAHIA FILHO, A.F.C. Avaliação dos conceitos de quantidade e intensidade de mineralização de nitrogênio para trinta solos do Rio Grande do Sul. *R. Bras. Ci. Solo*, 12:225-229, 1988.
- PAULA, A.L. Acumulo de massa seca e nitrogênio durante o crescimento e desenvolvimento da cultura da batata. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005. 37 f. Tese (Mestrado em Agronomia).
- POSSAMAI, J.M. Sistema de recomendação de corretivos e fertilizantes para o cultivo do algodoeiro. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003. 91 f. Tese (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- PREZOTTI, L. C. Sistema para recomendação de corretivos e de fertilizantes para a cultura do café arábica. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001. 93 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) .
- QUADROS, D. A. Qualidade da Batata, *Solanum tuberosum* L., cultivada sob diferentes doses e fontes de potássio e armazenada em temperatura ambiente. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007. 130p. Tese (Mestrado em Tecnologia de alimentos).
- QUEIROZ, A.A. Produtividade e qualidade de cultivares de batata em função de doses de NPK. Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2011. 134 p. (Tese de Doutorado em Fitotecnia).
- RAFAELLI, V. Sistema de interpretação de análise de solo e de recomendação de nutrientes para arroz Irrigado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2000. 76 p. (Tese de Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- REIS, R.A. & MONNERAT, P.H. Exportação de nutrientes nos tubérculos de batata em função de doses de sulfato de potássio. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v. 19, No. 3, p. 227-231, 2001.
- REIS, J.C. Cultivo de Batata da CV. Ágata sob. Diferentes fontes e doses de adubação potássica. Universidade Estadual do Sudoeste de Bahía, Itapetinga (BA), 2008. 61p. Tese (Mestrado em Agronomia).

- RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G. & ALVAREZ V., V. H. (Ed.).
Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5.a aproximação. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359 p.
- RODRÍGUEZ, L. Evaluación del efecto de la densidad de población sobre variables fisiológicas y componentes de rendimiento en *Solanum tuberosum* L. Variedad Parda pastusa en dos localidades. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 2001. 133 p. Tese de graduação (Ingeniería Agronómica).
- ROSA, G. N. Sistema de recomendação de corretivos e fertilizantes para a cultura do coqueiro. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002. 76 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas).
- SALES, L.L. Respostas fisiológicas e agronômicas da cultura da batata em função do espaçamento entre plantas e épocas de amontoa. Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, 2011. 68 p. Tese (Mestrado em Agronomia).
- SÁNCHEZ, J. Determinación de las etapas críticas en el desarrollo fenológico del cultivo de la papa criolla *Solanum phureja* frente al ataque de la polilla guatemalteca *Tecia solanivora* (Lepidoptera: Gelechiidae). . Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 2005. 59 p. Tese de graduação (Ingeniería Agronómica).
- SANTOS, A.F. Nutrição e fertilização de orquídeas in vitro e em vaso. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2014. 133 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas).
- SANTOS F.C.; NEVES, J.C.L.; NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V., V.H. & SEDIYAMA, C.S. Modelagem da recomendação de corretivos e fertilizantes para a cultura da soja. *Revista Brasileira da Ciência do Solo*, 32:1661-1674, 2008.
- SANTOS, F. C. Sistema de recomendação de corretivos e fertilizantes para a cultura da soja. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002. 100 p. Tese (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- SANTOS, H. Q. Sistema para cálculo do balanço de nutrientes e recomendação de calagem e adubação de pastagem para bovinos de corte. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003. 138 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) .
- SANTOS, M., SEGURA, M. & ÑUSTEZ, C. Análisis de crecimiento y relación fuente-demanda de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) En el

- município de Zipaquirá (Cundinamarca, Colombia). Rev.Fac.Nal.Agr.Medellín ISSN: 0304-2847, 2010.
- SIERRA, C.; SANTOS, J. & KALAZICH, J. Manual Fertilización del cultivo de la papa en la zona sur de Chile. Instituto de investigaciones agropecuarias. Boletín INIA No. 76, 2002.
- SILVA, A.P. Sistema de recomendação de fertilidade e corretivos para a cultura do abacaxizeiro. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006. 169 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) .
- SILVA, I.P.F.; JUNIOR, J.F.S.; ARALDI, R.; TANAKA, A.A.; GIROTTO, M.; BOSQUÊ, G.G. & LIMA, F.C.C. Preparo de solo e calagem na cultura da batata. Revista científica eletrônica de agronomia, # 20, Dez, 2011.
- SOBRAL, L.F.; SILVEIRA, K.R. & VIANA, R.D. Correlações entre os métodos Mehlich 1, Mehlich 3 e resina para análise de P e K em solos dos Tabuleiros Costeiros. Embrapa, Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 33, Agosto, 2008. 15p.
- STAHRINGER, N.I. Sistema de recomendação de corretivos e fertilizantes para a cultura da laranjeira (FERTICALC-Laranja) com base no balanço nutricional. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013. 135 p. Tese (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- STANFORD, G & S.J. SMITH. Nitrogen Mineralization Potentials of soils. Soil Science Society of American Proceedings, 36(3): 465-472, 1972.
- TAIZ, L. & ZEIGER, E. Plant Physiology, Third Edition. Sinauer Associates, Sunderland, MA. 2002. 690 p.
- TOKESHI, H. & BERGAMIN, A. Doenças da batata - Solanum tuberosum L. In: GALLI, F. Manual de fitopatologia. 2 ed. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, cap. 5, p. 102-140. 1980.
- TOME, J.B.; NOVAIS, R.F. Utilização de modelos como alternativas às tabelas de recomendação de adubação. Boletim informativo da Sociedade Brasileira da Ciencia do Solo, Viçosa-MG, v. 25(3), p. 8 - 11, 15, 2000.
- RAIJ, V.B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M. Recomendações de Adubação e Calagem para o Estado de São Paulo. 1985. Em: http://www.exagro.com.br/biblioteca/ct_exagro_boletim_tecnico_100.pdf. Acesso em: 10 de setembro de 2014.

- VASCONCELLOS, C.A.; MARRIEL, I.E.; SANTOS, F.G. & MAGALHÃES, C.A.O. Influência do manejo de solo e do resíduo de sorgo na mineralização do nitrogênio e a relação $N-NH_4^+$ e $N-NO_3^-$. In: ENCONTRO BRASILEIRO SOBRE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS, 3., Santa Maria, 1999. Anais. Santa Maria, IHSS, 1999. p.189-199.
- WESTERMANN, D.T.; KLEINKOPF, G.E. & PORTER, L.K.. American Potato Journal, 65: 377-386, 1988.
- YORINORI, G.T. Curva de crescimento e acúmulo de nutrientes pela cultura da batata cv. 'Atlantic'. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003. 60 p. Tese (Mestrado em Agronomia).

7. APENDICE

O produto final do FERTICALC-BATATA é um programa que é de fácil manejo para o usuário, para calcular a dose recomendada de fertilizante, em que todas as equações básicas com as que o modelo foi constituído não são visíveis, assim, para lograr este objetivo, foi feito no Excel numa maneira muito simples, uma tentativa que inclui as entradas e saídas básicas do modelo como se mostra nas figuras 1A, 2A e 3A.



Figura 1A. Janela de apresentação do modelo FERTICALC-Batata.

Na figura 1A, observa-se a janela de apresentação do modelo que se encontra hipervinculada a outros lugares da folha de cálculo, facilitando o uso. Assim, primeiro, ao fazer click na figura do solo, o modelo leva ao usuário até a janela apresentada na figura 2A, onde é necessário que ele disponha dos dados da análise química do solo, para que o módulo suprimento possa ser alimentado de acordo com as características do lote onde a Batata será cultivada.

O modelo tem a opção para o usuário de escolher milho, feijão ou a mesma batata como fonte de resíduos orgânicos, que é o segundo vínculo que se observa na figura 1A.

Uma vez que os dados são ingressados o modelo tem as ferramentas para dar as recomendações para as oito produtividades consideradas. Adicionalmente, o usuário tem a opção de considerar ou não o requerimento de sustentabilidade, caso que o usuário escolha construir a fertilidade do solo, a saída do programa ficaria tal como se encontra na figura 3B, que mostra um exemplo do resultado final da recomendação calculada pelo modelo FERTICALC-Batata, onde está sendo inclusa a dose de sustentabilidade, e também a sugestão de parcelamento da adubação para semeadura e amontoa.

| Caro usuário de acordo com os resultados da análise do solo preencha os campos que estão em amarelo | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--------------|---------|--------------------|--------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--|---|
| SUPRIMENTO PELO DISPONÍVEL | | | | | | | | | | | | | | |
| Prof_Solo | Contrib.Solo | dag/kg | mg/dm ³ | mg/dm ³ | cmol./dm ³ | cmol./dm ³ | mg/dm ³ | mg/dm ³ | mg/dm ³ | mg/dm ³ | mg/dm ³ | mg/dm ³ | | |
| 3 | 100 | Teor CO | Teor P | Teor K | Teor Ca | Teor Mg | Teor S | Teor Fe | Teor Mn | Teor B | Teor Cu | Teor Zn | | |
| | | 0.371 | 0.4 | 1 | 0.12 | 0.13 | 76 | 25.1 | 0.4 | 0.51 | 0.28 | 0.21 | | |
| | | Teor MO | mg/dm ³ | mg/dm ³ | mg/dm ³ | mg/dm ³ | mg/dm ³ | mg/dm ³ | mg/dm ³ | mg/dm ³ | mg/dm ³ | mg/dm ³ | | |
| | | g/kg | 0.4 | 1 | 24.05 | 15.8028 | 76 | 25.1 | 0.4 | 0.51 | 0.28 | 0.21 | | |
| | | 6.40 | | | | | | | | | | | | |
| TrExt_Ca | TrExt_Mg | TrExt_S | TrExt_B | Argila | 48 | dag/kg | CARACT. DO SOLO | | | | | | | |
| 0.766102 | 0.798972 | 0.0628 | 0.7081 | Densidad ap | 1.1 | kg/dm3 | P-rem (mg/l) 4 | | | | | | | |
| SUPRIMENTO PELA CALAGEM MÉTODO 1 | | | | | | | | | | | | | | |
| Prem | Y calc | mt | t | X | Al | Ca | Mg | CA | CA dif. 0 | CD | CD dif | NC t/ha | | |
| 4 | 3.51744 | 15 | 2.25 | 2 | 0.2 | 0.12 | 0.13 | -0.48 | 0.00 | 1.75 | 1.75 | 1.95 | | |
| SUPRIMENTO PELA CALAGEM MÉTODO 2 | | | | | | | | | | | | | | |
| T | Ve | SB | Va | Ve-Va | Dif. De 0 | NC (t/ha) | OC (t/ha) | Sup Ca (kg/ha) | Sup Mg (kg/ha) | OC (t/ha) | Sup Ca (kg/ha) | Sup Mg (kg/ha) | | |
| 2.25 | 60 | 0.25 | 11.11 | 48.89 | 48.89 | 1.10 | 2.17 | 588.44 | 156.78 | 1.22 | 331.94 | 88.44 | | |
| <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="text-align: center;">Necessidades de calagem pelo método de saturação de Al com elevação dos teores de Ca 1.95</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Necessidades de calagem pelo método de saturação por bases em kg/ha 1.10</td> </tr> </table> | | | | | | | | | | | | | Necessidades de calagem pelo método de saturação de Al com elevação dos teores de Ca 1.95 | Necessidades de calagem pelo método de saturação por bases em kg/ha 1.10 |
| Necessidades de calagem pelo método de saturação de Al com elevação dos teores de Ca 1.95 | | | | | | | | | | | | | | |
| Necessidades de calagem pelo método de saturação por bases em kg/ha 1.10 | | | | | | | | | | | | | | |

Figura 2A. Janela para ingressar os dados da análise química do solo onde o usuário deseja estabelecer a cultura de Batata.



Caro usuário no quadro são apresentadas as doses recomendadas incluindo a dose de sustentabilidade que foi calculada para P, K e S

| BALANÇO NUTRICIONAL | | | | | | | | | | | |
|--|--------|-------------------------------|------------------|---------|--------|----------|---------|-------|-------|-------|-------|
| Produt. | kg/ha | | | | | | | | | | |
| t/ha | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | Ca | Mg | S | Fe | Mn | B | Cu | Zn |
| 15 | 127.99 | 441.01 | 447.15 | -575.55 | -82.49 | -3598.34 | -212.39 | 0.29 | -2.08 | -1.85 | -0.67 |
| 20 | 163.18 | 529.05 | 518.83 | -569.26 | -79.83 | -3593.10 | -210.96 | 1.07 | -2.03 | -1.71 | -0.13 |
| 25 | 193.17 | 597.64 | 573.24 | -564.40 | -76.93 | -3588.37 | -209.32 | 1.73 | -1.99 | -1.39 | 0.60 |
| 30 | 207.42 | 680.79 | 649.74 | -554.60 | -73.45 | -3584.42 | -206.56 | 2.63 | -1.94 | -0.85 | 1.67 |
| 35 | 224.29 | 735.43 | 700.76 | -539.19 | -68.06 | -3580.25 | -203.84 | 3.90 | -1.88 | -0.64 | 3.12 |
| 40 | 277.76 | 815.84 | 782.54 | -521.15 | -63.33 | -3576.17 | -200.57 | 5.83 | -1.81 | -0.10 | 4.43 |
| 45 | 341.98 | 883.27 | 787.99 | -503.40 | -58.46 | -3571.42 | -198.19 | 8.23 | -1.75 | 0.38 | 5.88 |
| 50 | 407.23 | 941.62 | 879.00 | -480.38 | -52.83 | -3565.79 | -195.39 | 12.08 | -1.71 | 0.78 | 7.72 |
| DOSE RECOMENDADA PARCELA 1 (SEMEADURA) | | | | | | | | | | | |
| BALANÇO NUTRICIONAL | | | | | | | | | | | |
| Produt. | kg/ha | | | | | | | | | | |
| t/ha | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | Ca | Mg | S | Fe | Mn | B | Cu | Zn |
| 15 | 63.99 | 441.01 | 223.57 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.29 | 0 | 0 | 0 |
| 20 | 81.59 | 529.05 | 259.42 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.07 | 0 | 0 | 0 |
| 25 | 96.58 | 597.64 | 286.62 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.73 | 0 | 0 | 0.60 |
| 30 | 103.71 | 680.79 | 324.87 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2.63 | 0 | 0 | 1.67 |
| 35 | 112.15 | 735.43 | 350.38 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3.90 | 0 | 0 | 3.12 |
| 40 | 138.88 | 815.84 | 391.27 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5.83 | 0 | 0 | 4.43 |
| 45 | 170.99 | 883.27 | 394.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8.23 | 0 | 0.38 | 5.88 |
| 50 | 203.62 | 941.62 | 439.50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12.08 | 0 | 0.78 | 7.72 |
| DOSE RECOMENDADA PARCELA 2 (AMONTOA) | | | | | | | | | | | |
| BALANÇO NUTRICIONAL | | | | | | | | | | | |
| Produt. | kg/ha | | | | | | | | | | |
| t/ha | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | Ca | Mg | S | Fe | Mn | B | Cu | Zn |
| 15 | 63.99 | 0 | 223.57 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 20 | 81.59 | 0 | 259.42 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 25 | 96.58 | 0 | 286.62 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 30 | 103.71 | 0 | 324.87 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 35 | 112.15 | 0 | 350.38 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 40 | 138.88 | 0 | 391.27 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 45 | 170.99 | 0 | 394.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 50 | 203.62 | 0 | 439.50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Figura 3A. Saída do FERTICALC-Batata, recomendações de adubação para a cultura da batata, para oito produtividades, incluindo a sugestão de parcelamento das doses calculadas.