

## Economia e Administração Rural

# Análise de solo com fator de sustentabilidade técnica e econômica na produção de milho para silagem

Soil analysis as a factor of technical and economic sustainability in the production of maize for silage

Antonio Waldimir Leopoldino da Silva<sup>1</sup> , Patrick Iury Roieski<sup>1</sup> 

<sup>1</sup> Universidade do Estado de Santa Catarina, Chapecó, Santa Catarina, Brasil

## RESUMO

A silagem de milho é um volumoso muito empregado para suprir o déficit alimentar causado pela estacionalidade de oferta de forragens. Além da cultura ser exigente em fertilidade do solo, a colheita exporta todo o material, aumentando a extração de nutrientes. O objetivo deste trabalho foi avaliar tecnicamente a adubação empregada em unidades de produção agrícola (UPs) que não realizam análise de solo (AS) prévia ao cultivo e estimar o possível retorno financeiro de uma adubação adequadamente orientada. A amostra consistiu de 36 UPs adotantes do sistema de plantio direto, situadas em nove municípios do Oeste Catarinense. Antes da implantação da cultura, realizou-se amostragem do solo, mas as AS resultantes não foram usadas para recomendar a adubação, que foi a usualmente praticada na PR. As exigências de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O para a expectativa de produtividade foram atendidas, respectivamente, em 27,8%, 22,2% e 2,8% das UPs e a relação P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O da adubação realizada (1,00:0,92) diferiu da recomendada (1,00:1,68). Com base na quantidade de adubo aplicado, na extração prevista e no nutriente limitante, estimou-se uma produção média de 8,74 Mg/ha de matéria seca. Com uma adubação mais equilibrada e de mesmo custo, a produção poderia chegar a 11,99 Mg/ha, determinando um ganho adicional de 296 dólares por hectare. A adubação baseada na AS é um importante elemento na busca pela sustentabilidade técnica e econômica do cultivo de milho para silagem.

**Palavras-chave:** Adubação; Ensilagem; Fertilidade do solo

## ABSTRACT

Corn silage is a roughage widely used to fill the food deficit caused by the seasonality of forage supply. In addition to being a demanding crop in soil fertility, the harvest exports all the material, increasing the extraction of nutrients. The objective of this study was to technically evaluate the fertilization used in agricultural production units (APUs) that do not carry out soil analysis (SA) prior to cultivation and to estimate the possible financial return of a properly oriented fertilization. The sample consisted of 36 APUs that adopt the non-tillage system, located in nine municipalities in Western Region of Santa

Catarina State, Brazil. Before the implantation of the crop, soil sampling was carried out, but the resulting SAs were not used to recommend fertilization, which was the one usually practiced in the APU. The requirements of N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and K<sub>2</sub>O for the expected productivity were met, respectively, in 27.8%, 22.2% and 2.8% of the RPs and the P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O ratio of the fertilization performed (1.00:0.92) differed from the recommended (1.00:1.68). Based on the amount of fertilizer applied, the expected extraction and the limiting nutrient, it is possible to estimate an average production of 8.74 Mg/ha of dry matter. With a more balanced fertilization and the same cost, the production could reach 11.99 Mg/ha, providing an additional gain of 296 dollars per hectare. The SA-based fertilization is an important element in the search for the technical and economic sustainability of corn cultivation for silage.

**Keywords:** Ensilage; Fertilization; Soil fertility

## 1 INTRODUÇÃO

A silagem de milho é um volumoso muito utilizado em sistemas de produção de ruminantes (FACTORI *et al.*, 2014; KLEIN *et al.*, 2018), particularmente em algumas regiões do País, como é o caso dos estados do Sul. Brand *et al.* (2014) relatam que 77% das propriedades leiteiras do Noroeste do Rio Grande do Sul empregam silagem. Na região do Planalto Norte Catarinense, este índice é de apenas 56% (SOUZA *et al.*, 2013) e chega a 92% em unidades produtivas do Sul de Santa Catarina (WERNCKE *et al.*, 2016). A silagem é frequentemente empregada como a base da alimentação em sistemas intensivos ou semi-intensivos, a exemplo de confinamentos, bem como valioso recurso para uso estratégico visando atenuar os efeitos da estacionalidade de produção das pastagens naturais ou cultivadas. O largo emprego do milho para silagem está associado a características quantitativas e qualitativas, como alta produtividade de massa, elevado valor nutritivo, facilidade de fermentação e grande aceitação pelos animais, com boa perspectiva de retorno econômico (VIEIRA *et al.*, 2011; MENDES *et al.*, 2015).

Ainda que normalmente seja considerado um volumoso caro, o custo unitário de produção da silagem de milho é inversamente proporcional à produtividade da cultura (SANTOS; MORAES; NUSSIO, 2017). Deste modo, torna-se necessário obter altos volumes de produção de massa, com valor nutritivo que assegure alta qualidade à forragem conservada. O rendimento da lavoura é o resultado da ação e interação de inúmeros fatores, entre os quais genótipo, tratos

culturais e manejo da fertilidade do solo. Quanto a esta última variável, Ueno *et al.* (2011) apontam que, devido à colheita integral de material, há maior exigência nutricional de lavouras destinadas à produção de forragem para ensilagem em relação àquelas voltadas à colheita de grãos. Os autores ressaltam que, ainda assim, dificilmente técnicos e produtores rurais seguem plenamente as recomendações de adubação.

O fornecimento de nutrientes em nível adequado é relevante por duas razões. Primeiro, porque o milho é uma das culturas mais esgotantes de nutrientes do solo (RESENDE *et al.*, 2016b) e sua capacidade produtiva está relacionada ao suprimento de nutrientes, devendo-se disponibilizar quantidades compatíveis com o nível de extração das plantas (NEUMANN *et al.*, 2019). Cabe destacar que, de acordo com a Lei do Mínimo de Liebig, a quantidade produzida será condicionada pelo elemento essencial que estiver em menor disponibilidade (RONQUIM, 2010; RESENDE *et al.*, 2016a). Um segundo ponto a considerar é que as práticas de calagem e adubação impactam de forma considerável sobre a economicidade da silagem, perfazendo um valor que varia de um terço (NEUMANN *et al.*, 2017; RESENDE *et al.*, 2017; SANTOS; MORAES; NUSSIO, 2017; ROCHA *et al.*, 2020) a quase 50% (RABELO; SOUZA; OLIVEIRA, 2017) do custo do produto final.

No Rio Grande do Sul e em Santa Catarina, o sistema de recomendação de adubação de fósforo e potássio busca, simultaneamente, suprir a demanda da cultura e elevar o teor do nutriente no solo para atingir e permanecer no nível de suficiência, descrita como faixa “alto” (CQFS-RS/SC, 2016). Assim, inclui a chamada “adubação de correção”, que visa fazer com que a disponibilidade dos elementos alcance o referido nível; a “adubação de reposição”, incluindo apenas a quantidade exportada pelos produtos e que tenciona repor as extrações ocorridas na área; e a “adubação de manutenção”, que envolve a exportação acrescida da estimativa de possíveis perdas de nutrientes no complexo solo. Pode-se dizer, portanto, que a primeira “alimenta” o solo, a segunda o faz

somente em relação à planta, e a terceira envolve os dois componentes, solo e planta, ainda que não dispense a “correção”.

A análise de solo, a partir de uma correta amostragem, é fundamental para a determinação de um nível eficiente de adubação, no qual se obtenha alta produtividade com menores custos (COSTA, 2017). Embora represente menos de 1% dos custos do processo de ensilagem (SANTOS; MORAES; NUSSIO, 2017), a análise de solo pode significar a otimização técnica e econômica da construção da fertilidade do solo, com inegáveis ganhos à sustentabilidade do sistema. Isto porque, ao se atender adequadamente as exigências nutricionais das plantas, otimiza-se o nível produtivo tanto do ponto de vista quantitativo, como qualitativo. Frente a este contexto, o presente trabalho objetivou avaliar a prática da adubação em propriedades rurais produtoras de milho para silagem que não realizam análise de solo prévia ao cultivo, comparando-a com as recomendações que tal análise fornece e estimando possível retorno financeiro oriundo da adubação tecnicamente orientada.

## 2 MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido em trinta e seis propriedades rurais particulares de cunho familiar, localizadas em nove municípios das microrregiões de Chapecó e Xanxerê, em Santa Catarina (Águas Frias, Chapecó, Cordilheira Alta, Coronel Freitas, Cunhataí, Guatambu, Ipuacu, Quilombo e Xaxim). A amostragem foi aleatória, sendo que a condição básica para integrar o estudo foi a intenção de realizar a semeadura de milho para silagem sem praticar amostragem e análise do solo prévia à implantação da cultura, bem como não efetuar a adubação (mineral e/ou orgânica) na área nos 60 dias anteriores à coleta de solo.

Todas as propriedades adotaram o sistema de plantio direto e em 63,9% delas a cultura antecessora foi o azevém, aspectos importantes na definição do manejo da adubação (CQFS-RS/SC, 2016). As lavouras foram implantadas com

genótipos precoces ou superprecoces adaptados à região, com a realização dos tratamentos fitossanitários necessários, porém sem emprego de irrigação ou inoculação com *Azospirillum brasilense*. As diferenças entre as propriedades (genótipo, manejo da lavoura, entre outros aspectos) não foram consideradas, pois não se objetivou comparar as propriedades entre si, mas sim a adubação recomendável e a adubação efetivamente empregada tendo por base cada propriedade individualmente.

As coletas de solo ocorreram nos meses de julho a setembro de 2019, com uso de trado tipo holandês, a uma profundidade 10 cm, em pelo menos 25 pontos (subamostras) da área destinada à lavoura, seguindo as recomendações de CQFS-RS/SC (2016). Após a coleta, as subamostras foram misturadas e homogeneizadas, gerando uma amostra única, que foi encaminhada para o laboratório da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (Epagri), em Chapecó. A área de cultivo foi avaliada por meio dos aplicativos *Google Earth* e *Farmis Field Navigator Parallel*.

Os agricultores não tiveram acesso ao laudo da análise de solo antes da semeadura, efetivando o manejo da fertilidade da área sem basear-se nele, ou seja, exatamente como ocorreria na ausência deste estudo. Para subsidiar o trabalho, foram colhidas informações no que se refere ao cultivo antecedente, à expectativa de produção de forragem (EPF) em termos de matéria ensilável (ME) por área, bem como quanto ao tipo e quantidade de fertilizantes utilizados. A estimativa de produção de ME foi convertida em matéria seca (MS), adotando a relação [  $MS = ME \times 0,35$  ], ou seja, considerou-se que a silagem de milho apresenta um teor médio de MS da ordem de 35%, valor apontado por inúmeros autores, entre os quais Mantovani (2020) e Ramos *et al.* (2021). Quatro produtores não souberam informar a EPF, que foi então definida pela média de valores observados em três trabalhos realizados na Região Sul (OLIVEIRA *et al.*, 2004; MITTELMANN *et al.*, 2005; NEUMANN *et al.*, 2008), chegando-se à produção de 14,29 Mg/ha de MS, valor este próximo à EPF média dos demais produtores participantes (15,06 Mg/ha de MS).

A interpretação do laudo de análise de solo e a respectiva recomendação de adubação para nitrogênio (N), fósforo ( $P_2O_5$ ) e potássio ( $K_2O$ ) (RAnpk), considerando primeiro cultivo, foram feitas com base no Manual de Calagem e Adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (CQFS-RS/SC, 2016).

As quantidades de nutrientes (N- $P_2O_5$ - $K_2O$ ) aplicadas por cada produtor foi comparada à RAnpk, quantificando-se eventuais deficiências ou excessos por nutriente e por propriedade. Para os adubos minerais foi considerada disponibilidade plena e imediata dos nutrientes. No caso dos adubos orgânicos (à exceção do dejetos de “compost barn”), considerou-se a composição mineral descrita por CQFS-RS/SC (2016), tendo sido adotado o índice de eficiência de primeiro cultivo. Com relação ao dejetos de “compost barn”, utilizou-se os dados de Danieli (2019). Além da comparação quantitativa por nutriente, os valores recomendados e aplicados foram também cotejados em termos de relação  $P_2O_5:K_2O$ .

A produção máxima de forragem possível de ser obtida com o nutriente limitante (PMNL) foi calculada através da divisão entre a quantidade fornecida do nutriente (N,  $P_2O_5$  e  $K_2O$ ) e a quantidade exportada deste nutriente por megagrama de MS produzida, resultando a produção possível (potencial) para cada nutriente. A menor produção obtida entre os três nutrientes foi considerada a produção máxima possível, pois definida pelo elemento limitante. A “PMNL original” refere-se à adubação efetivamente utilizada pelo agricultor e a “nova PMNL” diz respeito à adubação alternativa proposta. Para dimensionar a exportação de  $P_2O_5$  e  $K_2O$  empregou-se a média dos valores verificados por Coelho e França (1995), Duarte *et al.* (2003), Von Pinho *et al.* (2009), Oliveira *et al.* (2010), Ueno *et al.* (2013) e Resende *et al.* (2016b), que equivaleram a 4,0 kg de  $P_2O_5$  e 11,5 kg de  $K_2O$ , para cada megagrama de MS. No caso do N, considerou-se uma exportação de 15,0 kg por megagrama de MS, que representa o valor médio verificado entre os trabalhos acima (11,8 kg) acrescido de cerca de 27% a título de compensação de perdas, que são bastante significativas no caso do N e da ureia (GAVA *et al.*, 2006). O valor empregado (15,0 kg) é adotado por CQFS-RS/SC (2016).

A adubação mineral de máxima eficiência com isonomia de custo (AMEIC) foi indicada como uma proposta alternativa de adubação que determinasse o melhor desempenho produtivo, cumprindo os seguintes pressupostos: (a) adubação mineral com uso de formulação 08-20-20 (escolhida pelo equilíbrio da relação  $P_2O_5:K_2O$  e pelo menor custo relativo por nutriente), cloreto de potássio e ureia; (b) dispêndio financeiro igual ao realizado pelo produtor na compra dos fertilizantes minerais que efetivamente utilizou; (c) atendimento à relação  $P_2O_5:K_2O$  de acordo com a RAnpk; e (d) análise computando o aporte nutricional fornecido pela adubação orgânica, se empregada, mas sem considerar o custo deste material, pois integrou ambos os cenários (“original” e “novo”).

Considerou-se o preço dos fertilizantes praticado em Chapecó em 03 de janeiro de 2020, quando a formulação 08-20-20 e a ureia custavam R\$ 1,54 (US\$ 0,38) por quilo, o cloreto de potássio era comercializado a R\$ 1,72 (US\$ 0,42) por quilo. Os cálculos foram procedidos por meio de planilhas desenvolvidas no aplicativo Microsoft Excel®, sendo que os valores em reais foram convertidos em dólar americano com base na cotação do dia 03 de janeiro de 2020: US\$ 1 = R\$ 4,056. Para dimensionar o possível valor de ganho financeiro com a AMEIC foi adotado o valor de US\$ 32,05 por megagrama de ME de milho para silagem, preço corrente na região do estudo à época (COOPERIDEAL, 2020). No Estado de Goiás, em meados de 2019, a silagem de milho estava cotada a R\$ 120,00 por Mg de ME (ROCHA *et al.*, 2021), o que, considerando a cotação média do dólar no primeiro semestre daquele ano (R\$ 3,846), remete a US\$ 31,20, bastante próximo ao valor anterior, empregado neste trabalho.

A maior parte dos resultados foram apresentados com base na estatística descritiva, por sua adequação com vistas a “organizar, resumir e descrever os aspectos importantes de um conjunto de características observadas ou comparar tais características entre dois ou mais conjuntos” (REIS; REIS, 2002, p.5). Comparações entre as relações  $P_2O_5:K_2O$  da adubação utilizada e da recomendada, bem como entre a PMNL possível de ser obtida com a adubação empregada pelo

produtor e a PMNL potencial a partir da AMEIC (“PMNL original” e “nova PMNL”, respectivamente), foram procedidas através do Teste t de Student, ao nível de significância de 0,1%, empregando as propriedades como repetições. A relação entre o tipo de adubação (mineral ou mineral mais orgânica) e o nutriente limitante à produção (N ou K) foi avaliada pelo Teste do Qui-Quadrado, ao nível de significância de 1%.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A área média cultivada com milho para silagem, nas propriedades avaliadas, foi de  $4,88 \pm 4,75$  ha, variando de 0,9 a 20,5 ha. A média da produção esperada de forragem, segundo os 32 produtores que souberam indicar, foi de  $15,06 \pm 3,13$  Mg de MS/ha, salientando-se que houve menção de até 21 Mg de MS/ha. Médias superiores a esta foram retratadas por Von Pinho *et al.* (2009), Resende *et al.* (2016b) e Neumann *et al.* (2017), mas, por outro lado, tal patamar não foi atingido nos trabalhos de Ueno *et al.* (2013), Hülse *et al.* (2017), Klein *et al.* (2018) e Neumann *et al.* (2019).

As principais características físicas e químicas dos solos amostrados são apresentadas na Tabela 1. Os valores de pH em água variaram de 4,6 a 6,1, devendo-se destacar que o milho apresenta mediana tolerância à acidez do solo (COELHO, 2006). Dois terços das propriedades apresentam pH abaixo de 5,5, que constitui o nível de tomada de decisão para realização da calagem no sistema de plantio direto (CQFS-RS/SC, 2016). Considerando que não haja restrições físicas na camada 10-20 cm, a quantidade média de calcário recomendada para estas áreas, visando pH 6,0, é de  $1,02 \pm 0,44$  Mg/ha (PRNT 100%). Embora se saiba que a acidez interfere na dinâmica de nutrientes no solo, este aspecto não foi considerado na recomendação de adubação e nas análises que se seguiram.

O teor médio de matéria orgânica das amostras foi de  $2,73 \pm 0,61\%$ , sendo que em 72,2% das propriedades o teor verificado é classificado como “médio” (CQFS-RS/SC, 2016). A capacidade de troca de cátions alcançou um valor médio de

15,82 ± 4,07 cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>, com 52,8% das propriedades apresentando um nível “alto” e as demais, nível “médio” (CQFS-RS/SC, 2016). Quanto ao fósforo, 14 propriedades apresentaram um teor que se situa nas faixas “baixo” e “muito baixo”, mas igual número de amostras o coloca no nível “alto” ou “muito alto”, para plantas forrageiras. O teor médio de potássio foi de 158,58 ± 78,74 mg/dm<sup>3</sup>, sendo que 63,9% das amostras apresentaram níveis “alto” a “muito alto” para estas culturas.

Tabela 1 - Principais características físicas e químicas do solo amostrado, por propriedade participante da pesquisa

Prop.	% Argila (g/kg)	pH H <sub>2</sub> O	Índice SMP	Matéria orgânica (g/dm <sup>3</sup> )	Capacidade de troca de cátions (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	Fósforo (mg/dm <sup>3</sup> )	Potássio (mg/dm <sup>3</sup> )
1	270	5,7	6,2	18	19,31	13,4	77,3
2	320	5,3	5,8	14	15,40	5,5	57,8
3	510	4,7	5,4	30	16,12	5,5	81,6
4	360	5,6	6,0	26	20,65	19,9	241,4
5	410	4,7	5,4	28	15,64	9,8	285,6
6	240	5,1	5,8	14	28,15	13,1	238,0
7	270	5,3	5,8	17	20,13	12,6	105,4
8	550	5,2	6,4	31	10,70	5,2	108,8
9	350	5,4	6,4	18	16,82	31,1	176,0
10	470	4,9	5,8	37	13,16	14,2	66,2
11	340	6,0	6,6	28	13,46	21,7	173,0
12	400	5,5	6,2	30	12,50	7,0	77,3
13	530	4,6	5,2	31	17,04	25,2	33,1
14	380	4,7	5,7	29	12,34	5,9	209,8
15	360	4,8	5,9	29	15,25	11,0	77,3
16	520	6,0	6,1	29	12,84	23,5	80,9
17	450	4,6	5,5	30	13,12	3,6	119,0
18	380	5,4	6,0	34	13,59	20,8	217,6
19	370	4,9	5,8	25	13,63	9,4	244,4
20	480	5,0	5,9	34	12,79	21,2	217,1

Continua...

Tabela 1 - Conclusão

Prop.	% Argila (g/kg)	pH H <sub>2</sub> O	Índice SMP	Matéria orgânica (g/dm <sup>3</sup> )	Capacidade de troca de cátions (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	Fósforo (mg/dm <sup>3</sup> )	Potássio (mg/dm <sup>3</sup> )
21	360	5,7	6,3	31	15,51	11,1	103,0
22	580	5,4	6,1	30	12,56	7,7	71,4
23	330	6,0	6,6	28	15,45	25,7	268,0
24	330	6,0	6,4	23	15,34	55,7	280,0
25	310	6,1	6,4	27	20,17	36,4	112,0
26	330	5,6	6,0	27	15,48	30,3	368,0
27	510	5,2	5,9	36	11,53	9,7	150,9
28	430	5,1	6,1	35	11,95	15,3	169,3
29	280	5,6	6,0	26	24,37	11,1	173,0
30	560	5,4	5,7	32	17,17	23,6	146,2
31	300	5,4	6,2	24	15,96	7,2	112,2
32	420	5,2	6,0	23	14,53	8,4	168,0
33	540	5,4	6,0	33	12,98	8,7	244,8
34	300	4,9	5,5	15	26,61	17,7	170,0
35	310	5,2	6,2	30	13,65	5,0	104,0
36	380	5,7	6,3	30	13,57	8,3	180,3

Fonte: Organização dos autores.

A combinação entre adubos orgânicos e adubos minerais foi adotada em 52,8% das propriedades (identificadas pelos números 18 a 36) e as demais utilizaram apenas fertilização mineral. A adubação orgânica envolveu um total de cinco tipos de resíduos de produção animal, sendo que a cama de frangos foi o material de uso mais frequente (sete propriedades), com aplicação de 2 a 6,5 Mg/ha. Quanto à adubação mineral, foram empregadas 13 diferentes formulações NPK, com destaque para as fórmulas 08-20-20 e 09-33-12, usadas em oito propriedades cada uma. Cabe destacar que esta última formulação é tradicionalmente utilizada na cultura do milho para produção de grão, levando a crer que muitos agricultores não conhecem ou ignoram a exigência nutricional distinta em relação ao cultivo direcionado à silagem. O uso de adubação recomendada para produção de grãos quando o objetivo é o corte para forragem pode atentar contra a sustentabilidade da lavoura, em especial quanto ao suprimento de potássio (UENO *et al.*, 2011; RESENDE *et al.*, 2016b).

Em média, na semeadura foram aplicados  $295,69 \pm 75,64$  kg/ha de adubo fórmula, quantidade esta somada, em nove propriedades, a  $154,73 \pm 57,90$  kg/ha de cloreto de potássio. A adubação nitrogenada de cobertura consistiu, em média, de  $277,78 \pm 85,73$  kg/ha de ureia, superando o valor observado em propriedades da região sudoeste do Paraná (VIEIRA *et al.*, 2011). Por nutriente, os montantes médios chegaram a  $180,88 \pm 57,47$  kg/ha de N,  $121,78 \pm 72,85$  kg/ha de  $P_2O_5$ , e  $111,58 \pm 84,31$  kg/ha de  $K_2O$ . Nas propriedades que usaram adubo orgânico mais adubo mineral, a fonte orgânica contribuiu, em média, com 27,6% do N, 48,8% do  $P_2O_5$  e 54,4% do  $K_2O$  fornecido, porém houve situações em que estes índices chegaram a 62,5%, 83,8% e 92,3%, respectivamente. O gasto financeiro médio com os adubos mineral na semeadura foi de US\$ 138,67 por hectare, acrescido de US\$ 105,47 relativo ao fertilizante usado em cobertura.

O contraste entre a quantidade recomendada (CQFS-RS/SC, 2016) e a quantidade aplicada de cada nutriente, por propriedade, é apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 - Quantidade recomendada segundo a análise de solo, quantidade aplicada e balanço entre a quantidade recomendada e aplicada, para cada nutriente analisado

Pr	N (kg/ha)			$P_2O_5$ (kg/ha)			$K_2O$ (kg/ha)		
	Recom.	Aplicado	Balanço	Recom.	Aplicado	Balanço	Recom.	Aplicado	Balanço
1	155,0	126,0	-29,0	150,0	132,0	-18,0	260,0	108,0	-152,0
2	168,8	135,0	-33,8	222,5	50,0	-172,5	265,0	37,5	-227,5
3	175,0	135,0	-40,0	180,0	82,5	-97,5	290,0	30,0	-260,0
4	179,4	140,5	-38,9	132,9	70,0	-62,9	265,8	70,0	-195,8
5	201,3	208,0	6,7	187,5	152,0	-35,5	295,0	120,0	-175,0
6	247,5	144,5	-103,0	205,0	96,0	-109,0	330,0	48,0	-282,0
7	237,5	216,0	-21,5	205,0	132,0	-73,0	360,0	48,0	-312,0
8	179,4	166,5	-12,9	182,9	115,5	-67,4	265,8	102,0	-163,8
9	158,8	137,5	-21,3	112,5	75,0	-37,5	225,0	25,0	-200,0
10	135,0	112,5	-22,5	110,0	55,0	-55,0	250,0	32,5	-217,5
11	175,0	115,0	-60,0	130,0	50,0	-80,0	260,0	50,0	-210,0
12	148,8	204,0	55,2	162,5	60,0	-102,5	255,0	60,0	-195,0
13	227,5	106,0	-121,5	165,0	40,0	-125,0	410,0	40,0	-370,0
14	253,8	207,0	-46,8	292,5	138,0	-154,5	365,0	90,0	-275,0
15	227,5	202,5	-25,0	215,0	115,0	-100,0	370,0	72,0	-298,0
16	148,8	224,0	75,2	112,5	208,0	95,5	255,0	139,6	-115,4

Continua...

Tabela 2 – Conclusão

Pr	N (kg/ha)			P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg/ha)			K <sub>2</sub> O (kg/ha)		
	Recom.	Aplicado	Balanço	Recom.	Aplicado	Balanço	Recom.	Aplicado	Balanço
17	179,4	156,6	-22,8	242,9	54,0	-188,9	265,8	54,0	-211,8
18	280,0	173,2	-106,8	200,0	66,6	-133,4	400,0	86,4	-313,6
19	195,5	360,0	164,5	187,0	370,5	183,5	274,0	390,0	116,0
20	201,3	163,5	-37,8	147,5	75,6	-71,9	295,0	117,0	-178,0
21	227,5	197,2	-30,3	215,0	70,2	-144,8	360,0	154,4	-205,6
22	175,0	169,1	-5,9	180,0	77,1	-102,9	290,0	50,2	-239,8
23	280,0	340,8	60,8	200,0	326,7	126,7	400,0	363,3	-36,7
24	185,0	186,2	1,2	130,0	130,0	0	260,0	131,2	-128,8
25	148,8	144,8	-4,0	112,5	100,0	-12,5	255,0	94,8	-160,2
26	148,8	223,2	74,4	112,5	200,4	87,9	225,0	195,3	-29,7
27	228,0	197,0	-31,0	212,0	189,6	-22,4	344,0	189,8	-154,2
28	179,4	173,6	-5,8	132,9	150,0	17,1	265,8	129,0	-136,8
29	227,5	163,0	-64,5	215,0	136,0	-79,0	330,0	145,0	-185,0
30	145,0	150,5	5,5	110,0	128,0	18,0	220,0	132,5	-87,5
31	185,0	151,6	-33,4	180,0	147,0	-33,0	290,0	153,8	-136,2
32	185,0	173,4	-11,6	170,0	66,6	-103,4	260,0	40,1	-219,9
33	145,0	151,7	6,7	150,0	152,0	2,0	220,0	130,0	-90,0
34	221,3	191,0	-30,3	187,5	100,0	-87,5	295,0	78,3	-216,7
35	175,0	154,1	-20,9	240,0	71,8	-168,2	260,0	53,8	-206,2
36	280,0	311,0	31,0	250,0	201,0	-49,0	400,0	255,5	-144,5
<b>M</b>	<b>194,77</b>	<b>180,88</b>	<b>-13,89</b>	<b>176,13</b>	<b>121,78</b>	<b>-54,35</b>	<b>295,31</b>	<b>111,58</b>	<b>-183,73</b>

Fonte: Organização dos autores

Pr: Propriedade. Balanço: Quantidade recomendada menos quantidade aplicada. M: Média. Relação P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O da adubação recomendada (176,13 : 295,31 = 1,00 : 1,68) difere significativamente da relação P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O da adubação aplicada (121,78 : 111,58 = 1,00 : 0,92) pelo Teste t de Student a 0,1%.

Tomando por base o teor de matéria orgânica e a adubação nitrogenada com base nele (CQFS-RS/SC, 2016), o nitrogênio foi aplicado em excesso por dez produtores (em média, 48,1 kg/ha de N – cerca de 105 kg de ureia – a mais), o que significa desperdício de recursos financeiros, pois o N pode ser facilmente perdido do sistema, em particular por lixiviação e volatilização (COELHO; FRANÇA, 1995; BASI *et al.*, 2011). Além disso, recai sobre o nitrogênio lixiviado a possibilidade de provocar poluição ambiental (RESENDE, 2002). Por outro lado, os demais 26 produtores (72,2%) aplicaram menos do que o recomendado (déficit médio de 36,6 kg/ha de N, mas que alcança 120 kg/ha), e, possivelmente, terão frustração de suas expectativas produtivas. Considerando o conjunto de propriedades, a quantidade

aplicada (180,88 kg/ha de N) representou cerca de 93% da quantidade recomendada média (194,77 kg/ha).

Quanto ao fósforo, 19,4% das propriedades realizaram a aplicação de uma quantidade acima do recomendado, condição que também pode provocar danos ambientais (KLEIN; AGNE, 2012). Por outro lado, 77,8% dos produtores utilizaram um nível de adubação fosfatada que não atendia a recomendação, com possibilidade de prejuízo na produção de forragem, enquanto uma propriedade aplicou exatamente a dose indicada. Na média das propriedades, a aplicação (121,78 kg/ha) representou 69% da recomendação (176,13 kg/ha).

Com relação ao potássio, a situação é ainda mais crítica. Apenas um produtor (propriedade 19) aplicou um nível de adubação superior à indicada pela análise de solo, com mais de 40% de excesso. Nas demais propriedades, a quantidade empregada foi insuficiente perante à recomendação, havendo casos em que a aplicação foi de apenas 10 a 15% do necessário. Na propriedade 13, o déficit alcançou 370 kg/ha de K<sub>2</sub>O, equivalente a 616 kg de cloreto de potássio. O potássio é o segundo elemento mais extraído no cultivo de milho para silagem, atrás apenas do nitrogênio (COELHO; FRANÇA, 1995; COELHO, 2006; VON PINHO *et al.*, 2009) e, devido à maior concentração nos colmos (HÜLSE *et al.*, 2017), sua exportação chega a ser 384% maior do que em lavouras destinadas à produção de grãos (UENO *et al.*, 2013). Sem a devida reposição, após poucas safras de milho para silagem, haverá inegável empobrecimento do solo (RESENDE *et al.*, 2016b). Consideradas em conjunto, as propriedades utilizaram uma quantidade média de potássio (111,58 kg/ha) que correspondeu a apenas 38% do necessário.

Com base nestes resultados, pode-se verificar que o uso limitante de fertilizante (N, P e K) é bem mais comum do que em dose superior à recomendada. Observando os 108 campos de “balanço” na Tabela 2, verifica-se que tão somente 19 apresentam resultado positivo, o que leva ao baixo índice de 17,6% de suficiência na oferta nutricional dos principais elementos que devem ser

fornecidos através do solo. Apenas uma propriedade supriu adequadamente os três nutrientes.

A relação fósforo:potássio ( $P_2O_5:K_2O$ ) da adubação recomendada pela análise de solo (1,00:1,68) mostrou-se significativamente diferente ( $P<0,001$ ) à relação da fertilização efetivamente realizada (1,00:0,92). Fica comprovado o descompasso nutricional a que ficam sujeitas as lavouras, destacado pelo baixo nível de aplicação de potássio. Borghi *et al.* (2015) verificaram ser bastante comum o emprego de relações fósforo:potássio inadequadas na cultura do milho. Para Resende *et al.* (2017), a proporcionalidade entre nutrientes é uma condicionadora da produção e o desequilíbrio, além de determinar queda no rendimento, prejudica a economicidade da atividade. O efeito deste equívoco pode ultrapassar o período de uma safra, gerando desbalanços nutricionais para as culturas subsequentes (RESENDE *et al.*, 2016b). Este problema pode ser evitado de forma simples, fazendo-se a escolha de uma formulação mais equilibrada às características do solo e exigências do cultivo, sem que isso represente, necessariamente, maior custo de produção.

Como antes destacado, o sistema de adubação adotado pela CQFS-RS/SC (2016), especialmente para fósforo e potássio, envolve as adubações de correção, manutenção e reposição. Ainda que a adubação de reposição deva ser adotada tão somente quando os teores dos nutrientes estiverem no patamar “muito alto” (RESENDE *et al.*, 2016a), a exportação de nutrientes pela cultura (ENPC) pode ser empregada como base para o dimensionamento da adubação (MOTTA; MONTE SERRAT, 2006), notadamente como uma opção de economia. A expectativa de produção de forragem (EPF), manifestada pelo pecuarista, está associada a uma certa ENPC. Portanto, cabe verificar se a EPF pode ser alcançada com adubação empregada, tomando por base o atendimento da ENPC relativa a esta produção. A propriedade 1, por exemplo, estimou uma produção de forragem de 10,50 Mg/ha de MS, para o que seria necessário o aporte de 157,50 kg/ha de N, 42,00 kg/ha de  $P_2O_5$  e 120,75 kg/ha de  $K_2O$  (Tabela 3). Na propriedade, a adubação proveu 126,00

kg/ha de N, 132,00 kg/ha de  $P_2O_5$  e 108,00 kg/ha de  $K_2O$  (Tabela 2). Verifica-se, portanto, que apenas a necessidade de  $P_2O_5$  foi atendida, o mesmo não ocorrendo em relação aos requerimentos em N e  $K_2O$ .

Das 36 propriedades, 32 (88,9%) atenderiam a demanda de  $P_2O_5$  para a EPF, seis (16,7%) a de  $K_2O$  e somente cinco (13,9%) proporcionariam um suprimento adequado de N (Tabela 3). Apenas três propriedades, ou seja, menos de 10% do total, aplicaram fertilizantes em nível que permite alcançar a expectativa de produção dos proprietários. Na média do conjunto de propriedades, o fornecimento de  $K_2O$  foi equivalente a 64,8% das exigências de exportação do milho para as devidas produtividades. Cabe ressaltar, porém, que o não fornecimento de uma quantidade de nutriente que supra a ENPC relativa a uma determinada produtividade não significa que tal produtividade deixará de ser alcançada; porém, se a mesma for atingida, o será com depleção do nível inicial do nutriente no solo, repercutindo na necessidade de elevar o nível de adubação nas safras seguintes. Para Heckman *et al.* (2003), do ponto de vista da agricultura sustentável, o manejo ideal do solo deve prover um equilíbrio entre entradas e saídas de nutrientes a longo prazo.

A produção máxima de forragem possível de ser obtida com o nutriente limitante (PMNL) é apresentada na Tabela 3. Na média das 36 propriedades, a quantidade empregada de N permite produzir 12,06 Mg/ha de MS, a dosagem de  $P_2O_5$  suporta uma produtividade de 30,45 Mg/ha, mas, pelo  $K_2O$  aplicado, não seria possível obter mais do que 9,70 Mg/ha. Em 25 propriedades o elemento limitante foi o potássio e nas demais 11, o nitrogênio. Houve casos em que a PMNL não chegou a 3 Mg/ha de MS.

Tabela 3 - Expectativa de produção de forragem (EPF) informada pelos agricultores, exigência de nutrientes para obter a EPF e produção máxima de matéria seca que pode ser obtida com a quantidade aplicada de cada nutriente

Pr.	EPF (Mg MS/ ha)	Exigência para obter a EPF (kg/ha)			Produção potencial por nutriente aplicado (Mg MS/ha)		
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
1	10,50	157,50	42,00 **	120,75	8,40 #	33,00	9,39
2	12,25	183,75	49,00 **	140,88	9,00	12,50	3,26 #
3	14,00	210,00	56,00 **	161,00	9,00	20,63	2,61 #
4	14,29	214,35	57,16 **	164,34	9,37	17,50	6,09 #
5	15,75	236,25	63,00 **	181,13	13,87	38,00	10,43 #
6	17,50	262,50	70,00 **	201,25	9,63	24,00	4,17 #
7	17,50	262,50	70,00 **	201,25	14,40	33,00	4,17 #
8	14,29	214,35	57,16 **	164,34	11,10	28,88	8,87 #
9	12,25	183,75	49,00 **	140,88	9,17	18,75	2,17 #
10	10,50	157,50	42,00 **	120,75	7,50	13,75	2,83 #
11	14,00	210,00	56,00	161,00	7,67	12,50	4,35 #
12	12,25	183,75 **	49,00 **	140,88	13,60	15,00	5,22 #
13	17,50	262,50	70,00	201,25	7,07	10,00	3,48 #
14	19,25	288,75	77,00 **	221,38	13,80	34,50	7,83 #
15	17,50	262,50	70,00 **	201,25	13,50	28,75	6,26 #
16	12,25	183,75 **	49,00 **	140,88	14,93	52,00	12,14 #
17	14,29	214,35	57,16	164,34	10,44	13,50	4,70 #
18	21,00	315,00	84,00	241,50	11,55	16,65	7,51 #
19	14,70 *	220,50 **	58,80 **	169,05 **	24,00 #	92,63	33,91
20	15,75	236,25	63,00 **	181,13	10,90	18,90	10,17 #
21	17,50	262,50	70,00 **	201,25	13,15 #	17,55	13,43
22	14,00	210,00	56,00 **	161,00	11,27	19,28	4,37 #
23	21,00 *	315,00 **	84,00 **	241,50 **	22,72 #	81,68	31,59
24	14,00	210,00	56,00 **	161,00	12,41	32,50	11,41 #
25	12,25	183,75	49,00 **	140,88	9,65	25,00	8,24 #
26	12,25 *	183,75 **	49,00 **	140,88 **	14,88 #	50,10	16,98
27	18,20	273,00	72,80 **	209,30	13,13 #	47,40	16,50
28	14,29	214,35	57,16 **	164,34	11,57	37,50	11,22 #
29	17,50	262,50	70,00 **	201,25	10,87 #	34,00	12,61
30	11,20	168,00	44,80 **	128,80 **	10,03 #	32,00	11,52
31	14,00	210,00	56,00 **	161,00	10,11 #	36,75	13,37
32	14,00	210,00	56,00 **	161,00	11,56	16,65	3,49 #
33	10,50	157,50	42,00 **	120,75 **	10,11 #	38,00	11,30
34	15,75	236,25	63,00 **	181,13	12,73	25,00	6,81 #
35	14,00	210,00	56,00 **	161,00	10,27	17,95	4,68 #
36	21,00	315,00	84,00 **	241,50 **	20,73 #	50,25	22,22
<b>M</b>	<b>14,97</b>	<b>224,48</b>	<b>59,86</b>	<b>172,10</b>	<b>12,06</b>	<b>30,45</b>	<b>9,70</b>

Fonte: Organização dos autores.

EPF: Expectativa de produção de forragem (MS), segundo o próprio produtor. \* EPF atendida pela aplicação de adubo, com base na exportação de nutrientes pela cultura (ENPC); \*\* Exigência no referido nutriente atendida pela quantidade de adubo aplicado; # Produção máxima possível de ser obtida com o nutriente limitante (PMNL).

Entre as propriedades que empregaram apenas adubação mineral, o K foi o elemento limitante em 16 delas e o N em apenas uma. Já nas propriedades que realizaram adubação mineral e orgânica, o K limitaria a produção em dez, e o N em nove. Esta diferença, que se mostrou altamente significativa ( $P < 0,01$ ), é justificada pelo fato de a adubação mineral utilizada ter uma relação N:K<sub>2</sub>O de 1,00:0,41, favorável ao nitrogênio, ao passo que na fertilização orgânica esta relação foi de 1,00:1,59, favorável, portanto, ao potássio. Verifica-se que a adubação orgânica pode atenuar a deficiência de K em cultivos altamente demandantes do nutriente, como a produção de milho para silagem. Por outro lado, a fertilização feita sem o suporte da análise de solo é frequentemente equivocada. Em muitos casos, alguns nutrientes são aplicados em excesso, ao passo que outros não são fornecidos na dosagem exigida para o alcance de níveis razoáveis de produtividade.

Não há dúvida que a questão financeira é muito relevante quando se trata da prática de adubação. Entre as propriedades que utilizaram apenas adubação mineral (1 a 17), o gasto médio com adubação foi de US\$ 267,70. Caso realizassem a adubação conforme as recomendações da análise de solo (Tabela 2), empregando a formulação 08-20-20, cloreto de potássio e ureia, o valor médio chegaria a US\$ 517,28 por propriedade. Esta é uma das razões que afasta o produtor da análise de solo, pautado no argumento que é difícil segui-la por escassez de recursos financeiros. Porém, o produtor pode (deve) empregar a análise para fazer uma adubação “economicamente possível”, mas também “tecnicamente equilibrada”.

A Tabela 4 apresenta a adubação mineral de máxima eficiência com isonomia de custo (AMEIC), consistindo em uma proposta de fertilização mais adequada às exigências do solo e da cultura, com o mesmo dispêndio financeiro realizado pelo agricultor.

Tabela 4 - Relação P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O recomendada pela análise de solo; gasto financeiro com adubação mineral; produção máxima possível com a adubação usada, pelo elemento limitante; proposta de adubação (AMEIC); e produção máxima possível com a AMEIC

Pr.	Rel. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> :K <sub>2</sub> O recomendada	Gasto c/ adubação mineral (US\$/ha)	PMNL original (Mg MS/ha)	Adubação mineral de máxima eficiência - AMEIC (kg/ha)	Nova PMNL (Mg MS/ha)
1	1 : 1,7333	288,00	8,40	361,2 (F) + 88,3 (C) + 298,7 (U)	10,89
2	1 : 1,1910	199,70	3,26	332,1 (F) + 21,1 (C) + 170,3 (U)	6,88
3	1 : 1,6111	200,90	2,61	266,8 (F) + 54,3 (C) + 201,7 (U)	7,47
4	1 : 2,0000	227,80	6,09	254,9 (F) + 85,0 (C) + 250,2 (U)	8,87
5	1 : 1,5733	439,80	10,43	594,8 (F) + 113,7 (C) + 436,7 (U)	16,27
6	1 : 1,6098	268,50	4,17	356,7 (F) + 72,5 (C) + 269,5 (U)	9,99
7	1 : 1,7561	321,50	4,17	399,1 (F) + 100,6 (C) + 335,3 (U)	12,19
8	1 : 1,4533	304,70	8,87	437,7 (F) + 66,1 (C) + 291,0 (U)	11,06
9	1 : 2,0000	198,50	2,17	222,1 (F) + 74,0 (C) + 218,0 (U)	7,72
10	1 : 2,2727	180,70	2,83	182,1 (F) + 77,3 (C) + 207,6 (U)	7,20
11	1 : 2,0000	180,70	4,35	202,2 (F) + 67,4 (C) + 198,5 (U)	7,03
12	1 : 1,5692	265,80	5,22	360,1 (F) + 68,3 (C) + 263,6 (U)	9,83
13	1 : 2,4848	151,90	3,48	142,1 (F) + 70,3 (C) + 179,4 (U)	6,14
14	1 : 1,2479	358,20	7,83	576,0 (F) + 47,6 (C) + 314,3 (U)	12,50
15	1 : 1,7209	321,70	6,26	405,8 (F) + 97,5 (C) + 332,7 (U)	12,14
16	1 : 2,2667	426,00	12,14	430,3 (F) + 181,7 (C) + 488,9 (U)	16,96
17	1 : 1,0943	216,50	4,70	382,2 (F) + 12,0 (C) + 174,5 (U)	7,27
18	1 : 2,0000	208,80	7,51	212,5 (F) + 65,5 (C) + 264,4 (U)	10,28
19	1 : 1,4652	200,90	24,00	103,3 (C) + 413,8 (U)	27,41
20	1 : 2,0000	249,50	10,17	266,9 (F) + 85,9 (C) + 294,3 (U)	10,95
21	1 : 1,6744	310,70	13,15	393,1 (F) + 79,5 (C) + 336,3 (U)	12,93 *
22	1 : 1,6111	264,80	4,37	350,9 (F) + 69,8 (C) + 268,5 (U)	10,04
23	1 : 2,0000	203,40	22,72	333,5 (C) + 163,2 (U)	18,78 *
24	1 : 2,0000	154,10	11,41	164,7 (C) + 221,9 (U)	10,97 *
25	1 : 2,2667	154,80	8,24	140,7 (C) + 250,7 (U)	10,37
26	1 : 2,0000	195,50	14,88	226,5 (C) + 262,0 (U)	13,80 *
27	1 : 1,6226	170,60	13,13	137,6 (C) + 295,7 (U)	15,04
28	1 : 2,0000	160,80	11,22	105,0 (C) + 306,1 (U)	13,56
29	1 : 1,5349	151,90	10,87	10,9 (F) + 72,5 (C) + 308,2 (U)	13,10
30	1 : 2,0000	227,80	10,03	129,2 (F) + 115,6 (C) + 341,7 (U)	12,84
31	1 : 1,6111	220,20	10,11	135,9 (F) + 89,7 (C) + 343,9 (U)	13,89
32	1 : 1,5294	255,90	3,49	322,4 (F) + 79,4 (C) + 263,0 (U)	10,73
33	1 : 1,4667	189,80	10,11	138,9 (F) + 114,3 (C) + 233,5 (U)	12,73
34	1 : 1,5733	239,60	6,81	235,2 (F) + 94,3 (C) + 290,6 (U)	11,91
35	1 : 1,0833	213,20	4,68	340,8 (F) + 23,6 (C) + 194,6 (U)	9,23
36	1 : 1,6000	465,50	20,73	465,6 (F) + 181,3 (C) + 558,0 (U)	22,56
<b>M</b>	<b>1 : 1,7395</b>	<b>244,10</b>	<b>8,74</b>	<b>---</b>	<b>11,99 **</b>

PMNL: Produção máxima possível com o nutriente limitante; AM: adubação mineral; AO: adubação orgânica; (F): adubo fórmula 08-20-20; (C): cloreto de potássio; (U): ureia. \* Nova PMNL menor do que a original. \*\* "Nova PMNL" difere significativamente da "PMNL original" pelo Teste t de Student a 0,1%. Organização dos autores.

Em quatro propriedades, a nova adubação provocaria uma diminuição da PMNL (9,14%, em média), pois o ajuste da relação P/K – desequilibrada devido à adubação orgânica – exigiria alta dose de cloreto de potássio, impedindo que, com o valor restante, fosse realizada uma adubação nitrogenada compatível com a demanda da lavoura. Nestes casos, o N figurou como elemento limitante. Porém, mesmo com queda de produtividade, cabe destacar as vantagens em termos de fertilidade do solo a médio e longo prazo. Nas demais 32 propriedades, a adubação proposta determinaria aumento na produtividade de forragem, que passaria de uma média de 7,89 Mg/ha para 11,72 Mg/ha de MS, representando um acréscimo médio de 48,54%.

No conjunto de todas as 36 propriedades, a nova PMNL é significativamente maior (3,25 Mg/ha de MS ou cerca de 9,3 Mg/ha de ME) do que a PMNL original ( $P < 0,001$ ). É imperioso destacar que esta é tão somente uma estimativa de produção, com base apenas na adubação NPK, e sua concretização pode ou não ocorrer, dependendo de inúmeros outros fatores que também interferem no desempenho produtivo da lavoura. Considerando o valor corrente de US\$ 32,05 por megagrama de ME de milho silagem na região do estudo (COOPERIDEAL, 2020), a adoção da nova adubação poderia proporcionar um ganho de aproximadamente US\$ 295,86 por hectare. Em contraste, o custo de uma análise de solo situa-se por volta de US\$ 8,63, e frequentemente uma amostra representa vários hectares, não apenas um.

A análise de solo pode atuar como um elemento orientador não só de uma “adubação ideal”, mas também de uma adubação “que caiba no bolso do agricultor” e que, mesmo frente a uma restrição financeira, seja tecnicamente indicada para as condições em questão e possa repercutir de forma favorável. Muitas vezes, o produtor vê-se obrigado a gastar menos do que deveria, e então, mais do que nunca, precisa investir corretamente. Assim, não há dúvida que a sustentabilidade técnica, ambiental e econômica da produção de silagem de milho passa pela análise de solo e pelo adequado manejo deste. Na atividade agropecuária sustentável, tecnologias de insumo devem ser devidamente associadas a

tecnologias de processo, não só adicionando recursos ao sistema de produção, mas também – e principalmente – gerindo bem todos os fatores, de forma a extrair deles os melhores resultados.

#### **4 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O adequado manejo da fertilidade do solo é fundamental para a obtenção de bons resultados produtivos em qualquer atividade agropecuária. Na produção de milho para silagem tal condição é ainda mais evidenciada, devido à grande exigência nutricional da cultura e pelo fato de haver elevada exportação de nutrientes causada pela colheita total da massa produzida. Neste cenário, a análise de solo fornece valiosas informações e permitirá uma ação com base em dados situacionais reais. Muito embora seja um procedimento simples e que deveria ser rotineiro, consta como uma prática frequentemente menosprezada por agricultores e técnicos. Assim, este trabalho levanta evidências concretas e “numéricas” quanto à necessidade e aos benefícios da análise de solo.

A adubação feita de forma aleatória não atende às exigências específicas do solo, e na grande maioria dos casos ocorre a aplicação insuficiente de nutrientes, o que determinará produtividades aquém das esperadas e rentabilidades insuficientes para o produtor rural. Por outro lado, tão ou ainda mais grave são as situações em que os nutrientes são aplicados em excesso e/ou em desequilíbrio, a exemplo da relação  $P_2O_5:K_2O$ , o que pode acarretar sérios prejuízos ambientais e econômicos, não raro de longa duração. A possibilidade de retorno imediato do emprego da análise de solo, aqui valorado em uma média de US\$ 296,00 de ganho adicional por hectare de milho para silagem, deve ser visto como um fator motivador para a adoção da prática, em particular frente à facilidade e ao baixíssimo custo desta.

O trabalho não objetivou trazer resultados definitivos e, em condições diversas às retratadas, os quantitativos aqui expressos poderiam ser outros, mas

as conclusões gerais por certo não seriam diferentes ou invalidadas. A extensão rural pode, através deste exemplo prático e real, difundir o impacto positivo que a análise de solo determina em um dado sistema de produção, posicionando-a como um fator de sustentabilidade, tanto técnica quanto econômica, para a atividade agropecuária.

## REFERÊNCIAS

BASI, S. *et al.* Influência da adubação nitrogenada sobre a qualidade da silagem de milho. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, v. 4, n. 3, p. 219-234, 2011. Disponível em: <https://revistas.unicentro.br/index.php/repaa/article/view/143310.5777/paet.v4i3.1433>. Acesso em: 17 dez. 2019.

BORGHI, E. *et al.* **Estado da arte da agricultura e pecuária do estado do Tocantins**. Palmas: Embrapa Pesca e Aquicultura, 2015. 63p.

BRAND, S.I. *et al.* Dados preliminares sobre características de propriedades de bovinocultura leiteira da Região Noroeste do RS. **Revista Interdisciplinar de Ensino, Pesquisa e Extensão**, v. 2, n. 1, 2014. Disponível em: <http://www.revistaeletronica.unicruz.edu.br/index.php/eletronica/article/view/1095>. Acesso em: 17 dez. 2019.

COELHO, A.M.; FRANÇA, G.E. **Seja o doutor do seu milho**. Arquivo do Agrônomo. 2ª. Ed., n.2. Piracicaba: Potafos, 1995. 25p.

COELHO, A.M. **Nutrição e adubação do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. (Circular Técnica, 78).

COOPERIDEAL. Informação pessoal. 2020.

COSTA, C.C. **Importância econômica da amostragem de solo na adubação agrícola**. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2017. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 40).

CQFS-RS/SC – COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. **Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. [s.l.]: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2016. 375p.

DANIELI, B. **Compost barns: dinâmica de utilização da cama e bem-estar animal**. 2019. 107 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Chapecó, 2019.

DUARTE, A.P. *et al.* Acúmulo de matéria seca e nutrientes em cultivares de milho originárias de clima tropical e introduzidas em clima temperado. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 2, n. 3, p. 1-20, 2003. DOI 10.18512/1980-6477/rbms.v2n3p1-20.

FACTORI, M.A. *et al.* Demanda energética na colheita de híbridos de milho para silagem em função do estágio de maturidade e tamanho de partícula. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 2, p. 363-371, 2014. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/17400>. Acesso em: 13 out. 2021.

GAVA, G.J.C. *et al.* Balanço do nitrogênio da ureia (<sup>15</sup>N) no sistema solo-planta na implantação da semeadura direta na cultura do milho. **Bragantia**, v. 65, n. 3, p. 477-486, 2006. DOI 10.1590/S0006-87052006000300014. Acesso em: 17 dez. 2019.

HECKMAN, J.R. *et al.* Nutrient removal by corn grain harvest. **Agronomy Journal**, v. 95, p. 587-591, 2003. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/228482737\\_Nutrient\\_Removal\\_by\\_Corn\\_Grain\\_Harvest](https://www.researchgate.net/publication/228482737_Nutrient_Removal_by_Corn_Grain_Harvest). Acesso em: 13 out. 2021.

HÜLSE, J. *et al.* Nutrient balance in the soil and nutritive characteristics of maize silage cut at different heights. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 38, n. 6, p. 3779-3796, 2017. DOI 10.5433/1679-0359.2017v38n6p3779. Acesso em: 17 dez. 2019.

KLEIN, C.; AGNE, S.A.A. Fósforo: de nutriente à poluente! **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 8, n. 8, p. 1713-1721, 2012. DOI 10.5902/223511706430. Acesso em: 17 dez. 2019.

KLEIN, J.L. *et al.* Desempenho produtivo de híbridos de milho para a produção de silagem da planta inteira. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 17, n. 1, p. 101-110, 2018. DOI: 10.18512/1980-6477/rbms.v17n1p101-110. Acesso em: 17 dez. 2019.

MANTOVANI, E.C. **Otimização do sistema de produção de silagem com a técnica de movimento e tempo**. Sete Lagoas: Embrapa, 2020. (Circular Técnica, 263).

MENDES, M.C. *et al.* Época de semeadura de híbridos de milho forrageiro colhidos em diferentes estádios de maturação. **Revista Agro@ambiente On-line**, v. 9, n. 2, p. 136-142, 2015. DOI 10.18227/1982-8470ragro.v9i2.2316. Acesso em: 17 dez. 2019.

MITTELMANN, A. *et al.* Avaliação de híbridos comerciais de milho para utilização como silagem na Região Sul do Brasil. **Ciência Rural**, v. 35, n. 3, p. 684-690, 2005. DOI 10.1590/S0103-84782005000300032. Acesso em: 17 dez. 2019.

MOTTA, A.C.V.; MONTE SERRAT, B. Princípios de adubação. *In*: LIMA, M.R. (Ed.). **Diagnóstico e recomendações de manejo do solo**: aspectos teóricos e metodológicos. Curitiba: UFPR, 2006. p. 143-190.

NEUMANN, M. *et al.* Características agronômicas do milho para silagem sob níveis de adubação nitrogenada e potássica em cobertura. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 16, n. 1, p. 69-77, 2017. DOI 10.18188/1983-1471/sap.v16n1p69-77. Acesso em: 17 dez. 2019.

NEUMANN, M. *et al.* Avaliação de doses crescentes de nitrogênio em cobertura em milho para silagem. **Revista Agrarian**, v. 12, n. 44, p. 156-164, 2019. DOI 10.30612/agrarian.v12i44.7195. Acesso em: 17 dez. 2019.

NEUMANN, M. *et al.* Comportamento de híbridos de milho (*Zea mays*) e sorgo (*Sorghum bicolor*) para silagem na região centro-sul do Paraná. **Ambiência**, v. 4, n. 2, p. 237-250, 2008. Disponível em: <https://revistas.unicentro.br/index.php/ambiencia/article/view/165>. Acesso em: 13 out. 2021.

OLIVEIRA, J.S. *et al.* Estratificação de ambientes, adaptabilidade e estabilidade de híbridos comerciais de milho para silagem no sul do Brasil. **Ciência Rural**, v. 34, n. 4, p. 997-1003, 2004. DOI 10.1590/S0103-84782004000400005. Acesso em: 17 dez. 2019.

OLIVEIRA, L.B. *et al.* Produtividade, composição química e características agronômicas de diferentes forrageiras. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, n. 12, p. 2604-2610, 2010. DOI 10.1590/S1516-35982010001200007. Acesso em: 17 dez. 2019.

RABELO, C.G.; SOUZA, L.H.; OLIVEIRA, F.G. Análise dos custos de produção de silagem de milho: estudo de caso. **Caderno de Ciências Agrárias**, v. 9, n. 2, p. 8-15, 2017. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/ccaufmg/article/view/2955>. Acesso em: 13 out. 2021.

RAMOS, B.L.P. *et al.* Perdas no processo de ensilagem: uma breve revisão. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 5, e8910514660, 2021. DOI 10.33448/rsd-v10i5.14660. Acesso em: 05 out. 2021.

REIS, E.A.; REIS, I.A. **Análise Descritiva de Dados**. Belo Horizonte: Departamento de Estatística da UFMG, 2002. Disponível em: [www.est.ufmg.br](http://www.est.ufmg.br). Acesso em: 05 out. 2021.

RESENDE, A.V. **Agricultura e qualidade da água: contaminação da água por nitrato**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2002. 29p. (Documentos, 57).

RESENDE, A.V. *et al.* Solos de fertilidade construída: características, funcionamento e manejo. **Informações Agronômicas**, n. 156, p. 1-19, 2016a. Disponível em:

<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1070008/1/Solosfertilidade1.pdf>. Acesso em: 13 out. 2021.

RESENDE, A.V. *et al.* **Requerimentos nutricionais do milho para produção de silagem**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2016b. (Circular Técnica, 221).

RESENDE, H. *et al.* **Tecnologia e custo da silagem de milho**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2017. (Circular Técnica, 114).

ROCHA, L.G. *et al.* Estudo econômico da produção de milho de silagem no Sudeste de Goiás. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 38, n. 1, e26760, 2021. DOI 10.35977/0104-1096.cct2021.v38.26760. Acesso em: 13 out. 2021.

RONQUIM, C.C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2010. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 8).

SANTOS, G.; MORAES, J.M.M; NUSSIO, L.G. Custo e análise de sensibilidade na produção de silagem. **Revista iPecege**, v. 3, n. 1, p. 39-48, 2017. DOI 10.22167/r.ipecege.2017.1.39.

SOUZA, S.S.P.V. *et al.* Caracterização quanto à tecnificação dos produtores de leite no Planalto Norte Catarinense. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DO LEITE, 12, Porto Velho. **Anais[...]** Porto Velho: Embrapa, 2013. p. 1-3.

UENO, R.K. *et al.* Dinâmica dos nutrientes do solo em áreas destinadas à produção de milho para forragem. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, v. 4, n. 1, p. 182-203, 2011. DOI 10.5777/PAeT.V4.N1.11. Acesso em: 17 dez. 2019.

UENO, R.K. *et al.* Exportação de macronutrientes do solo em área cultivada com milho para alimentação de bovinos confinados. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 6, p. 3001-3018, 2013. DOI 10.5433/1679-0359.2013v34n6p3001. Acesso em: 17 dez. 2019.

VIEIRA, V.C. *et al.* Caracterização da silagem de milho, produzida em propriedades rurais do sudoeste do Paraná. **Revista Ceres**, v. 58, n. 4, p. 462-469, 2011. DOI 10.1590/S0034-737X2011000400009. Acesso em: 17 dez. 2019.

VON PINHO, R.G. *et al.* Marcha de absorção de macronutrientes e acúmulo de matéria seca em milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 8, n. 2, p. 157-173, 2009. DOI 10.18512/1980-6477/rbms.v8n2p157-173. Acesso em: 17 dez. 2019.

WERNCKE, D. *et al.* Qualidade do leite e perfil das propriedades leiteiras no sul de Santa Catarina: abordagem multivariada. **Arquivo Brasileiro de Medicina**

**Veterinária e Zootecnia**, v. 68, n. 2, p. 506-516, 2016. DOI 10.1590/1678-4162-8396. Acesso em: 17 dez. 2019.

## **CONTRIBUIÇÕES DE AUTORIA:**

### **1 – Antonio Waldimir Leopoldino da Silva**

Engenheiro Agrônomo, Dr. Engenharia e Gestão do Conhecimento, Professor  
<https://orcid.org/0000-0001-7399-3814> - [antonio.silva@udesc.br](mailto:antonio.silva@udesc.br)

Contribuição: Conceituação, Curadoria de dados, Análise formal, Obtenção de financiamento, Investigação, Metodologia, Administração do projeto, Recursos, Programas, Supervisão, Validação, Visualização de dados, Escrita – primeira redação, Escrita – revisão e edição.

### **2 – Patrick Iury Roieski**

Zootecnista, Mestrando em Zootecnia

<https://orcid.org/0000-0003-2959-006X> g - [patrick.iury@hotmail.com](mailto:patrick.iury@hotmail.com)

Contribuição: Curadoria de dados, Análise formal, Obtenção de financiamento, Investigação, Recursos, Validação, Visualização de dados, Escrita – primeira redação.

## **Como citar este artigo**

SILVA, A. W. L.; ROIESKI, P. I. Análise de solo com fator de sustentabilidade técnica e econômica na produção de milho para silagem. **Extensão Rural**, Santa Maria, v. 28, n. 1, e2, p.1-25, 2021. DOI 10.5902/2318179644173. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/2318179644173>. Acesso em: dia mês abreviado. ano.