

Balanço de nitrogênio, fósforo e potássio na agricultura da América Latina e o Caribe

Nitrogen, phosphorus and potassium balance in agriculture of Latin America and the Caribbean

Roni Fernandes Guareschi^{1‡}, Robert Michael Boddey², Bruno José Rodrigues Alves², Leonardo Fernandes Sarkis³, Marcio dos Reis Martins⁴, Cláudia Pozzi Jantalia², Juan José Peña Cabriales⁵, José Antonio Vera Núñez⁵ e Segundo Urquiaga²

¹ Pós-Doutorando em Fitotecnia, ³ Graduando em Agronomia, ⁴ Pós-doutorando em ciência do solo. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, UFRRJ. Seropédica, RJ, Brasil.

[‡] Autor para correspondência (sabarrezueta@utmachala.edu.ec)

² Embrapa Agrobiologia. BR-465, km 7, CP 74505. Seropédica, RJ, Brazil.

⁵ Depto. de Biotecnología y Bioquímica, CINVESTAV. Km 9.6 Libramiento Norte, Carretera Irapuato-León. 36824 Irapuato, Guanajuato, México.

RESUMO

O objetivo deste trabalho é avaliar o consumo de nutrientes (CN) e exportação de nutrientes do campo através dos produtos colhidos (EN), visando estimar o balanço dos principais macronutrientes: nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) nos países da América Latina e Caribe (ALC). O balanço de nutrientes (BN) foi estimado pela quantidade de nutrientes que entra nos sistemas agrícolas pela adubação e fixação biológica de nitrogênio (FBN) em relação à quantidade que deixa o sistema pelos produtos colhidos, em cada um dos países da região. A região da ALC, com base em estatísticas oficiais correspondentes ao ano 2016, apresentou um balanço positivo de N, no entanto, em alguns países (Argentina, Bolívia e Paraguai) esse balanço foi negativo. A FBN é a principal fonte de N da agricultura latino-americana, respondendo por 62% (11,29 Mt N) do total de N (18,10 Mt N) que ingressa anualmente nos sistemas agrícolas. De um modo geral, o fornecimento de P via adubação na América Latina atenderam as exportações realizadas pelos produtos colhidos, com exceção dos países Argentina, Bolívia, Guatemala e México, os quais se utilizaram de reservas do solo para a nutrição das plantas. O K foi um dos nutrientes cuja aplicação não atende a demanda das culturas da região, apresentando balanços negativos em quase todos os países, exceto Brasil, Colômbia e

Venezuela. Deve-se destacar que em muitos solos agrícolas na região, a disponibilidade de K ainda é alta. Os maiores cuidados com o uso de insumos, incluindo os fertilizantes, se dá com os cultivos de soja, milho, café, cana de açúcar e laranja, ficando o restante dependente da fertilidade natural dos solos, que em sua maioria já são pobres, colocando em risco a segurança alimentar.

Palavras-chave: *eficiência da adubação, exportação de macronutrientes, produção de alimentos e energia, segurança alimentar.*

SUMMARY

The objective of this study was to evaluate nutrient consumption and exports in agricultural systems of Latin America and the Caribbean (ALC) in order to estimate the balance of the main macronutrients (N, P and K) used by crops. The nutrient balance was estimated by considering the amount of nutrients entering the agricultural systems via fertilization and biological N₂ fixation (BNF) and the amount of nutrients leaving the systems through crop harvest removal in each country. Based on official statistics for the year 2016, the ALC region presented a positive balance of nitrogen. However, some countries (Argentina, Bolivia and Paraguay) had a negative balance of N. Biological

Cita recomendada:

Fernandes Guareschi, R., R. M. Boddey, B. J. Rodrigues Alves, L. Fernandes Sarkis, M. Reis Martins, C. Pozzi Jantalia, J. J. Peña Cabriales, J. A. Vera Núñez e S. Urquiaga. 2019. Balanço de nitrogênio, fósforo e potássio na agricultura da América Latina e o Caribe. *Terra Latinoamericana* 37: 105-119.

DOI: <https://doi.org/10.28940/terra.v37i2.423>

Recibido: 05 de junio de 2018.

Aceptado: 22 de noviembre de 2018.

Publicado en *Terra Latinoamericana* 37: 105-119.

N₂ fixation is the main source of N in Latin American agriculture, accounting for more than 62% (11.29 Mt N) of the total N (18.10 Mt N) entering the agricultural systems. Broadly speaking, the supply of P via fertilizer in Latin America counterbalanced the removal through crop harvest, with the exception of Argentina, Bolivia, Guatemala and México, which have crop production dependent on soil P mining. Potassium was one of the nutrients whose application does not meet the demand of the region's crops, presenting negative balances in almost all countries except Brazil, Colombia and Venezuela. Nevertheless, it should be noted that many agricultural soils from this region have naturally high K availability. Greater care in the use of inputs, including fertilizers, occurs with cropping soybean, corn, coffee, sugarcane and oranges, while the rest are dependent on natural soil fertility, which may compromise food safety.

Index words: *fertilizer efficiency, macronutrient exportation, food and energy production, food security.*

INTRODUÇÃO

De acordo com dados da FAO (2019), a ALC consome respectivamente 8,0; 15,4 e 18,3% do N, P-P₂O₅ e K-K₂O do mundo anualmente, na forma de fertilizantes industrializados, com uma expectativa de taxa de crescimento anual de consumo de 3,3; 3,6 e 3,0%, respectivamente, para N, P₂O₅ e K₂O. Sendo que o consumo de N, P₂O₅ e K₂O para o ano safra de 2015/2016 (última medição da FAO) na região foi respectivamente de 9,73; 7,47 e 7,09 milhões de toneladas. Os principais países consumidores de fertilizantes da ALC são o Brasil, Argentina, México e Colômbia, os quais juntamente com os demais países dessa região são altamente dependentes de importação de N, P₂O₅ e K₂O (FAO, 2019).

Sendo assim, o balanço de nutrientes (BN) é uma importante ferramenta indicadora de sustentabilidade da agricultura, a qual contabiliza a quantidade de nutrientes que entra no sistema agrícola pela adubação, correção do solo e fixação biológica de nitrogênio (FBN), em relação com a quantidade que deixa o sistema pelos produtos colhidos (Cunha *et al.*, 2010). Desta forma, percebe-se que o balanço dos macronutrientes é uma ferramenta simples que pode demonstrar se as adubações e calagens realizadas estão sendo capazes de garantir as quantidades de nutrientes exportadas pelos produtos

colhidos do sistema, ou se os cultivos das culturas estão complementando suas exigências nutricionais com a FBN ou com outras fontes, como o solo, reduzindo sua fertilidade (Cavalett e Ortega, 2009).

Diante o exposto, percebe-se a importância da realização de estudos de balanço de nutrientes das culturas cultivadas na ALC, pois essa informação além de indicar a eficiência de uso dos fertilizantes por cultura aponta junto com os dados de exportação do campo de nutrientes através dos produtos colhidos, se a fertilidade do solo dos países produtores está sendo afetada, e caso o balanço seja negativo, colocando em risco a segurança alimentar.

Atualmente, o BN das principais culturas brasileiras vem sendo realizado e publicado frequentemente pelo International Plant Nutrition Institute (IPNI) (Yamada e Lopes, 1998; Cunha *et al.*, 2010; 2011; 2014). No entanto, tomando-se como base o BN das principais culturas brasileiras publicados pelo IPNI e fazendo uma análise crítica dos resultados, percebe-se que, no caso do fertilizante nitrogenado, poderia ter-se dado mais ênfase nas perdas logo após a aplicação dos adubos, especialmente a volatilização de amônia que é mais crítica no uso da ureia, justamente o adubo nitrogenado mais aplicado no Brasil e no mundo, por seu baixo custo e alta concentração de N (45% de N) (Silva *et al.*, 2017). Esta alta volatilização da ureia ocorre quando ela é aplicada a lançar sobre a superfície do solo coberta com palhada ou resíduos culturais, onde a presença desse material orgânico sobre a superfície do solo aumenta as perdas de NH₃, mais que em solos descobertos, devido à maior presença da uréase em palhada (Silva *et al.*, 2017).

Verifica-se na literatura certa escassez de resultados do BN dos demais países da ALC. De uma forma geral, a FAO (2015) estimou através da produção e importação de fertilizantes que a América Latina e o Caribe apresentaram na safra 2014/2015 um balanço negativo de N, P₂O₅ e K₂O de aproximadamente 870, 4832 e 4977 mil toneladas destes nutrientes, respectivamente. Isso indica que essa região é muito dependente da importação de fertilizantes e que se torna indispensável obter uma elucidação da eficiência da adubação por cultura nos principais países da região. De acordo com IFA (2017), déficits regionais de N e K₂O são percebidos na América Latina, o que então vai levar um aumento da demanda de importações mais elevadas destes nutrientes até 2021.

Ressalta-se que o cálculo do balanço de nutrientes de um país ou uma região trata-se de uma estimativa, pois é praticamente impossível fazer um balanço completo de entrada e saídas de nutrientes devido a falta de algumas informações específicas, consistentes e confiáveis para cada área em cada região. Por exemplo, as perdas ou saídas de nutrientes (N, P e K) por erosão do solo, lixiviação de K e emissão de N_2O e CH_4 são praticamente impossíveis de se estimar e contabilizar no balanço, devido a grande variabilidade das condições edafoclimáticas e de manejo de cada área. Da mesma forma, as entradas de nutrientes via adubação orgânica e aplicação de resíduos vegetais não entram nos cálculos do balanço, devido a falta de dados de produção e quantidades aplicadas por país e devido também por esses insumos terem uma dinâmica na ciclagem de nutrientes diferente dos fertilizantes convencionais.

Sendo assim, o objetivo deste estudo foi avaliar o consumo de nutrientes e exportação dos mesmos pelos produtos colhidos, visando estimar o balanço de nutrientes (N, P e K) nos países da região. Tudo, visando a preservação do recurso solo e a segurança alimentar na ALC.

MATERIAIS E MÉTODOS

Este levantamento foi realizado através de pesquisa tipo exploratória, e seguiu as orientações metodológicas que contemplam estudos de casos múltiplos, com uso de pesquisa bibliográfica.

O balanço de nutrientes (BN) por país da América Latina foi calculado de acordo com a fórmula abaixo:

$$BN = Ctn - Extn \quad (1)$$

onde:

Ctn = Consumo total de nutrientes (N, P e K) (Mt) por país (FAOSTAT, 2019).

Extn = Exportação total de nutrientes do sistema por país, o qual foi estimado, considerando-se a produção agrícola total no país por cultura (Mt), multiplicado pela quantidade de nutrientes (N, P e K) exportados nos produtos colhidos por cultura (Mt). Tendo-se os dados de exportação de nutrientes (N, P e K) por produto colhido em cada país, realizou-se o somatório dessas exportações pelas culturas e estimou-se assim a Extn de cada país.

Maiores detalhes e a maneira que foi trabalhado cada item dessa fórmula, são apresentados no decorrer desta seção.

O primeiro passo, para os cálculos da determinação do BN por país, foi estabelecer o consumo total de nutrientes. Os dados de Ctn utilizados neste estudo foram extraídos do FAOSTAT (2019). Essa fonte de informação apresenta os dados mais atualizados do consumo de nutrientes minerais ou industrializados (N, P e K) dos países da ALC, onde seu último ano de atualização foi 2016 (Tabela 1). Na Ctn incluiu-se a significativa contribuição da FBN na agricultura regional, especialmente através das leguminosas como a soja, entre outras.

Cabe ainda destacar alguns fatores de correção que foram utilizados para ajustar os valores das entradas médias de nutrientes por cultura em cada país:

1) No caso da fertilização nitrogenada foi descontado um valor de 30% das entradas de N-fertilizante que foi aplicado por cultura em cada país, que correspondem as perdas desse nutriente do sistema solo-planta, logo nos primeiros dias após a aplicação em cobertura dos adubos amoniacais, especialmente no caso da ureia, o adubo nitrogenado mais utilizado na agricultura (Urquiaga e Zapata, 2000). Tais perdas devem ser consideradas para se ter uma estimativa mais efetiva da real quantidade de N-fertilizante que entra no sistema, evitando superestimar esse valor. Já para o P e K, adotou-se uma posição conservadora de que 100% do nutriente aplicado permanecem no sistema solo-planta.

2) Considerou-se como entrada de N no sistema, a contribuição da fixação biológica de nitrogênio (FBN) das leguminosas, cana-de-açúcar e milho, a qual foi calculada considerando a estimativa de proporção de N fixado (P_{fix} %) de cada cultura, que foi de 65% para as culturas (amendoim, ervilhas, grão de bico, lentilha, tremoço vagens e vicia), 35% (cana), 36% (feijão – valor médio estimado, pois sabe-se que este valor varia de acordo com o tipo de feijão), 10% (milho), 80% (soja no Brasil, Bolívia e Paraguai); 60% (soja na Argentina e Uruguai) e 58% (soja em outros países) (Herridge *et al.*, 2008; Peoples *et al.*, 1995; Alves *et al.*, 2006; Collino *et al.*, 2015; Urquiaga *et al.*, 2012; Boddey *et al.*, 2001; Yoneyama *et al.*, 1997; Alves *et al.*, 2015). Sendo assim, o ingresso total de N nas culturas por país é a soma do N-fertilizante efetivo aplicado e a contribuição da FBN nessas culturas. Essa estimativa da contribuição da FBN foi realizada

Tabela 1. Área cultivada das principais culturas de cada país e consumo total de N, P e K via fertilizantes dos países da América Latina e Caribe em 2016.

Table 1. Cultivated area of the main crops of each country and total consumption of N, P and K via fertilizers in Latin America and Caribbean countries in 2016.

| Países | Área cultivada ¹ | N fertilizante consumido ¹ | N-fertilizante efetivo ² | P fertilizante consumido ^{1,2} | K fertilizante consumido ^{1,2} |
|---------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|---|---|
| ----- Mt ----- | | | | | |
| Argentina | 35,90 | 0,91 | 0,63 | 0,447 | 0,035 |
| Bolívia | 3,54 | 0,02 | 0,01 | 0,005 | 0,003 |
| Brasil | 75,93 | 4,37 | 3,06 | 2,169 | 4,755 |
| Chile | 1,19 | 0,26 | 0,18 | 0,034 | 0,025 |
| Colômbia | 4,10 | 0,56 | 0,40 | 0,090 | 0,283 |
| Costa Rica | 0,47 | 0,10 | 0,07 | 0,005 | 0,033 |
| Cuba | 1,41 | 0,08 | 0,05 | 0,014 | 0,032 |
| El Salvador | 0,79 | 0,07 | 0,05 | 0,008 | 0,011 |
| Equador | 2,13 | 0,20 | 0,14 | 0,018 | 0,083 |
| Guatemala | 2,32 | 0,17 | 0,12 | 0,017 | 0,045 |
| Honduras | 1,30 | 0,10 | 0,07 | 0,015 | 0,030 |
| México | 16,43 | 2,00 | 1,40 | 0,162 | 0,163 |
| Nicarágua | 1,08 | 0,05 | 0,04 | 0,009 | 0,016 |
| Panamá | 0,27 | 0,01 | 0,01 | 0,003 | 0,007 |
| Paraguai | 5,77 | 0,12 | 0,08 | 0,097 | 0,155 |
| Peru | 3,15 | 0,29 | 0,20 | 0,038 | 0,059 |
| República Dominicana | 0,90 | 0,04 | 0,03 | 0,009 | 0,008 |
| Uruguai | 1,97 | 0,16 | 0,11 | 0,064 | 0,036 |
| Venezuela | 1,25 | 0,23 | 0,16 | 0,055 | 0,112 |
| América Latina e o Caribe | 161,49 | 9,74 | 6,81 | 3,26 | 5,89 |
| - Total: | | | | | |

¹ FAOSTAT (2019) - dados referentes ao ano de 2016. ² O N-fertilizante efetivo corresponde a 70% da quantidade total de N aplicada a cada cultura, o que deve ficar no sistema solo-planta, descontando-se principalmente as perdas por volatilização de amônia (Urquiaga & Zapata, 2000). Já para o P e K, adotou-se uma posição conservadora de que 100% do nutriente aplicado permanece no sistema solo-planta.

¹ FAOSTAT (2019) - data for the year 2016. ² Effective N-fertilizer is 70% of the total amount of N applied to each crop, which should remain in the soil-plant system, mainly discounting losses by volatilization of ammonia (Urquiaga & Zapata, 2000). For P and K, a conservative position was adopted that 100% of the applied nutrient remains in the soil-plant system.

da seguinte forma: a) a quantidade de N acumulada pela planta inteira (N_{planta}) (kg Mg^{-1}) foi calculado multiplicando por 2 a quantidade de N extraída no produto colhido ($N \text{ kg Mg}^{-1}$) (IPCC, 2006), exceto para a cultura da soja, para a qual foi considerado que o total de N acumulado na planta inteira obedece à taxa de 80 kg N por tonelada de grão produzido (Zotarelli *et al.*, 2012); b) então, conhecendo-se o N_{planta} e a proporção de N fixado ($P_{\text{fix}} \%$) de cada cultura, obteve-se uma estimativa da quantidade de N derivada da FBN (kg Mg^{-1}) que ingressou no sistema para a produção dos produtos colhidos (N_{FBN}).

O segundo passo para os cálculos do BN deste estudo, foi determinar através de pesquisa bibliográfica (FAOSTAT, 2019) a produção por país das principais culturas cultivadas na ALC. É importante destacar que este estudo é o mais completo possível, baseado em dados oficiais confiáveis e expostos na literatura vigente da produção de todas as culturas cultivadas por país, referente ao ano de 2016 (FAOSTAT, 2019). Por fim, para o cálculo do fluxo de saída de nutrientes do sistema, ou seja, da quantidade de nutrientes exportados do campo, estes foram determinados considerando o conteúdo de nutrientes nos produtos colhidos em

matéria seca; de outra forma, o conteúdo de umidade é o padrão do mercado ou como declarado pelas referências de cada cultura) e a produção agrícola total de cada cultura por país (FAOSTAT, 2019). Então a soma da exportação de N de todas as culturas por país, representa a Extn, citada na fórmula anteriormente apresentada neste estudo. De forma similar, calculou-se o P e K exportado pelos produtos colhidos do campo.

As principais culturas cultivadas na ALC (FAOSTAT, 2019) e as referências da onde se extraíram os dados da concentração de N, P e K no produto colhido (kg Mg⁻¹) foram: amendoim com casca, arroz, aveia, cevada, feijão seco, milho, semente de girassol, semente de algodão, soja, sorgo, trigo, triticale (Sousa *et al.*, 2004); banana, batata, café, cana-de-açúcar, laranja, mandioca, semente de cacau, tomate (Cunha *et al.*, 2014); batata doce (Rajj *et al.*, 1997); centeio, ervilha, semente oleaginosa, tremoço (Tedesco, 2004); manga, mangostão, goiaba (Fernandes e Nascimento, 2004); caqui (Takahashi *et al.*, 2010); maçã (Batjer *et al.*, 1952); azeitona (Janick, 2005); abóbora, cabaça, alface e chicória, alho, alho-poró, outros vegetais aliáceos, beringela, beterraba açucareira, cebola, cenoura e nabo, couve e outras brássicas, couve-flor e brócolis, ervilha verde, espinafre, feijão verde, melancia, melão, morango, pepino, pimenta, quiabo (Faquin e Andrade, 2004); borracha, natural, cebola, chalota verde, chá, fibra de linho, fibra de agave, figo, juta, limão e lima, tremoço, milho verde, noz com casca, óleo (fruta de palmeira), pera, pêssigo e nectarina, pimentão, rami, semente de cânhamo, sisal, tabaco não fabricado, uva (Malavolta, 1980); abacaxi, caju, castanha, coco, mamão, noz de caju com casca, papaya (Crisóstomo e Naumov, 2009); alcachofra, anis, badian, erva-doce, coentro, aspargo, espargo (Haag e Minami, 1988); ameixa e aba, cereja, cereja azedo, damasco (Rombolà *et al.*, 2012); feijão cavalo seco, feijão fava seco (Magalhães *et al.*, 2017); alpiste, colza, linhaça, milheto, trigo sarraceno (IPNI, 2017); tangerina, mandarina, clementina, satsuma, toranja (inc. pomelos) (Borealis, 2017); lentilha (MFGA, 2001); erva mate (Campos, 1991)¹; semente de cártamo (Ciampitti e Garcia, 2007); banana da terra e outros, plátano e outros (Borges e Oliveira, 2000); quinoa (Awadalla e Morsy, 2017); semente de gergelim (Beltrão *et al.*, 2001); inhame (Oliveira *et al.*, 2011);

Cranberrie (DeMoranville, 1992)²; kiwi (Bassotto, 2011); gengibre (Haag *et al.*, 1990); grão de bico, lúpulo, marmelo, nozes tung, vagens, vicia, yautia (cocoyam) (estimados pelos autores deste trabalho).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os cinco países que apresentaram as maiores exportações de N no produto colhido na ALC foram o Brasil (50%), Argentina (30%), México (6%), Paraguai (4%) e Bolívia (2%) (Figura 1 e Tabela 2). Juntos esses países são responsáveis pela exportação de 93% do N ou 15,5 Mt de N exportados com os produtos colhidos das culturas pesquisadas na ALC.

Dentro desses 5 países, as 5 principais culturas responsáveis pelas maiores exportações de N no produto colhido (Figura 1) foram (FAOSTAT, 2016):

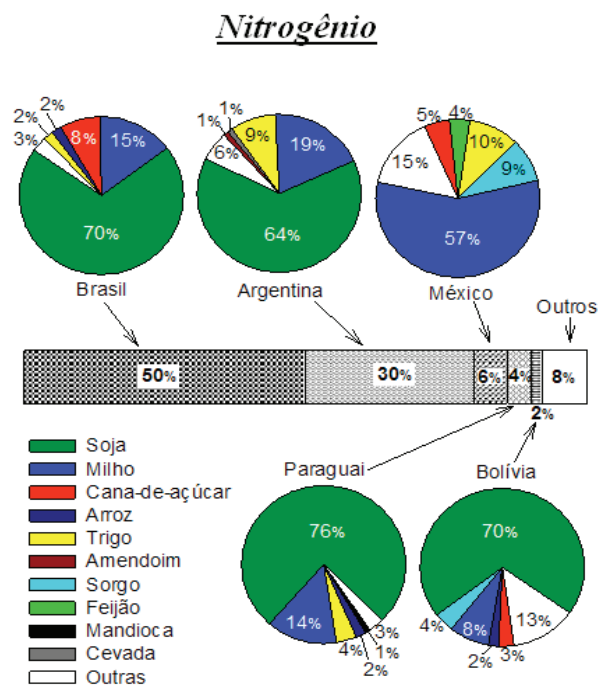


Figura 1. Porcentagem de participação nas exportações de N no produto colhido dos cinco principais países da ALC e de suas respectivas cinco principais culturas responsáveis pelas maiores exportações de N no produto colhido.

Figure 1. Percentage share of export of N in the products harvested from the five main LAC countries and their respective five major crops responsible for the largest export of N in the harvested products.

¹ Campos, M. A. A. 1991. Balanço de biomassa e nutrientes em povoamentos de *Ilex paraguariensis*. Avaliação na safra e na safrinha. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, PR, Brasil.

² DeMoranville, C. J. 1992. Cranberry nutrients, phenology, and N-P-K fertilization. Doctoral Dissertation, Department of Plant and Soil Science, University of Massachusetts. Amherst, MA, USA.

Tabela 2. Quantidades aplicadas, exportadas e balanço de N das principais culturas cultivadas nos países da América Latina e o Caribe.
Table 2. Quantities applied, exported and N balance of the main crops grown in the countries of Latin America and the Caribbean.

| Países | ^{†1} N exportado | ^{†2} N-fertilizante efetivo | ^{†3} N FBN | ⁴ Ingresso Total de N | ⁵ Balanço total de N |
|---------------------------------------|---------------------------|--------------------------------------|---------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| | ----- 1000 t ----- | | | | |
| Argentina | 5128,95 | 633,97 | 2948,05 | 3582,02 | -1546,93 |
| Bolívia | 256,93 | 13,97 | 207,31 | 221,28 | -35,65 |
| Brasil | 8513,90 | 3056,44 | 6987,84 | 10044,28 | 1530,38 |
| Chile | 119,42 | 184,58 | 6,48 | 191,06 | 71,64 |
| Colômbia | 203,67 | 395,41 | 38,09 | 433,50 | 229,83 |
| Costa Rica | 22,16 | 69,26 | 2,94 | 72,20 | 50,04 |
| Cuba | 51,69 | 54,95 | 16,44 | 71,39 | 19,70 |
| El Salvador | 34,54 | 46,67 | 11,48 | 58,15 | 23,61 |
| Equador | 90,81 | 137,51 | 14,40 | 151,90 | 61,09 |
| Guatemala | 112,96 | 117,10 | 36,70 | 153,80 | 40,84 |
| Honduras | 40,24 | 67,26 | 9,00 | 76,26 | 36,02 |
| México | 1034,03 | 1402,68 | 223,74 | 1626,43 | 592,40 |
| Nicarágua | 45,40 | 37,15 | 25,01 | 62,16 | 16,76 |
| Panamá | 10,42 | 8,31 | 2,07 | 10,38 | -0,04 |
| Paraguai | 722,24 | 84,17 | 614,91 | 699,08 | -23,16 |
| Peru | 173,27 | 202,52 | 20,28 | 222,81 | 49,54 |
| República Dominicana | 33,40 | 29,02 | 2,99 | 32,01 | -1,40 |
| Uruguai | 202,41 | 109,60 | 108,45 | 218,05 | 15,63 |
| Venezuela | 55,78 | 164,03 | 8,32 | 172,35 | 116,57 |
| América Latina e o Caribe - Total: | 16880,71 | 6814,59 | 11290,23 | 18104,82 | 1224,12 |

[†] FAOSTAT (2019): dados referentes ao ano de 2016. ¹ O N exportado do campo pelos os produtos colhidos foram calculados a partir dos dados de produção total por país e dos teores de N, P, K de cada um dos produtos. ² O N-fertilizante efetivo corresponde a 70% da quantidade total de N que foi aplicada a cada cultura em cada país, considerando a área plantada e a dose de N aplicada (Urquiaga & Zapata, 2000; IFA, 2013). ³ A contribuição da FBN foi calculada considerando os valores expostos no Material e métodos. ⁴ O ingresso total de N nas culturas por país foi realizado pela soma do N-fertilizante efetivo aplicado e a contribuição da FBN. ⁵ O balanço de N foi calculado pela diferença entre o ingresso de N ao sistema e a saída do nutriente com o produto colhido. [†] FAOSTAT (2019): data for the year 2016. ¹ The N exported from the field by the harvested products were calculated from total production data by country and the N, P and K levels of each of the products. ² Effective N-fertilizer is 70% of the total amount of N that was applied to each crop in each country, considering the planted area and the applied N dose (Urquiaga & Zapata, 2000; IFA, 2013). ³ The BNF contribution was calculated considering the values presented in Material and Methods. ⁴ The total inflow of N to the crops by country was calculated as the sum of the effective N-fertilizer applied and the contribution of the BNF. ⁵ The N balance was calculated as the difference between N entry into the system and the exit of the nutrient with the harvested product.

- Brasil – soja (70%); milho (15%); cana-de-açúcar (8%); arroz (2%) e trigo (2%).

- Argentina – soja (64%); milho (19%); trigo (9%); cevada (1%) e girassol (1%).

- México – milho (57%); trigo (10%); sorgo (9%); cana-de-açúcar (5%); feijão (4%).

- Paraguai – soja (76%); milho (14%); trigo (4%); arroz (2%) e mandioca (1%).

- Bolívia - soja (70%); milho (8%); sorgo (4%); cana-de-açúcar (3%); arroz (2%).

O maior destaque é para as culturas de soja e milho, devido a suas maiores extensões de cultivo, e no caso da leguminosa também associado ao alto teor de N nos grãos. No caso do milho, a prospecção é de aumento da área cultivada na América Latina, podendo atingir 35,7 M ha em 2026 (OCDE/FAO, 2017).

Diante o exposto, para fins de balanço de N, tais culturas citadas anteriormente, fornecem uma boa base para análise global da ALC, pois representam acima de 74% do N que deixa o sistema solo-planta nesta região.

Ainda pela Tabela 2, pode-se verificar que os países que consomem maior quantidade de N-fertilizante efetivo na ALC, são Brasil (45%), México (21%), Argentina (9%), Colômbia (6%) e Peru (3%). No entanto, quando se considera a entrada de N via FBN, os países da ALC que apresentam maior ingresso de N-FBN nos sistemas agrícolas são Brasil (62%), Argentina (26%), Paraguai (5%), Bolívia (2%) e Uruguai (1%). Tais resultados demonstram a importância da FBN, principalmente da soja, no aporte de N na ALC, onde 62% do total das entradas de N (11,29 Mt N) na produção das culturas vem desse processo biológico. Se considerarmos um exemplo hipotético, de que 100% desse N fixado (11,29 Mt N) fosse fornecido via ureia (45% N), e levando em consideração que a eficiência média da adubação nitrogenada ou que a planta recupera do adubo aplicado é de 50%, a um preço atual de US\$ 304 por tonelada de ureia, economizou-se cerca de 15,3 bilhões de dólares americanos na ALC por ano, pela substituição do N-fertilizante pela FBN.

A também de se considerar a importância das bactérias diazotróficas na contribuição da FBN em plantas não-leguminosas e gramíneas. Neste trabalho, como já demonstrado anteriormente, adotou-se uma posição conservadora e só se atribuiu essa entrada de N via fixação biológica para as culturas da cana-de-açúcar e milho. A entrada via FBN destas duas culturas representou em 1,22 Mt de N por ano, representando cerca de 7% do ingresso total de N da ALC. Mais estudos devem ser realizados nesta área, buscando estabelecer a real contribuição da FBN em outras culturas, tais como, arroz, trigo, etc. Diante tais estudos, a contribuição das entradas dessas outras culturas podem influenciar no balanço de N na ALC.

Em média, a ALC apresentou um balanço de N perto da neutralidade ou ligeiramente positivo (Tabela 2), apresentando um saldo de 1,22 Mt de N. Com exceção dos países Argentina, Bolívia e Paraguai todos os demais países mantiveram seu balanço positivo ou próximo da neutralidade (Tabela 2), indicando que a quantidade de N aportado via fertilizante nitrogenado e FBN foram suficientes para repor a quantidade extraída pelos produtos colhidos nesses países. Já em relação aos países com balanço negativo de N, pode-se inferir que as adubações nestes países estão sendo em parte negligenciadas e/ou as perdas de N fertilizante não estão sendo consideradas no plano de adubação das culturas cultivadas.

Os balanços negativos de N da Argentina ocorrem porque nesse país a contribuição da FBN na cultura da soja é baixa ($\approx 60\%$) comparada com o Brasil (Collino *et al.*, 2015), fazendo com que as entradas de N no cultivo da soja sejam menores do que as saídas via exportação nos grãos (Tabela 2). Essa baixa eficiência da FBN no cultivo da soja nesse país ocorre porque a maioria dos solos das áreas onde é cultivada a soja apresenta alto teor de matéria orgânica e disponibilidade de N, fazendo com que a planta reduza a nodulação com as bactérias fixadoras, porém mantendo rendimentos similares aos obtidos no Brasil. Deve-se destacar também a importância do cultivo da soja no balanço de N da América Latina, onde a produção desta oleaginosa, com alta eficiência da FBN, representa 56% da exportação total de N da região.

Por fim, outra justificativa do balanço negativo de N na Argentina são os cultivos das culturas agrícolas em solos com alta fertilidade e disponibilidade de nutrientes, pois muitos solos onde a soja é plantada na Argentina são férteis porque eram prados permanentes e nunca haviam sido arados antes, permitindo que muitos produtores obtenham altas produtividades com baixo aporte de N-fertilizante. No entanto, destaca-se que esse tipo de resultado é preocupante, tendo em vista que a aplicação de N-fertilizante em quantidades abaixo da quantidade removida pelos produtos colhidos pode causar, em longo prazo, uma depleção nos estoques de N e matéria orgânica do solo.

Wood *et al.* (2000) em um balanço de nutrientes (NPK) da América Latina em 1995, também evidenciou em seu trabalho, balanço negativo de nutrientes para a Argentina. Tendo em vista isso, e os resultados deste trabalho, pode-se inferir que a situação não melhorou com o passar dos anos.

Na Bolívia e Paraguai, o balanço de N foi negativo, porém bem próximo da neutralidade (Tabela 2). Pode-se inferir que o principal motivo que desencadeou tal resultado foram adubações desequilibradas de acordo com as produtividades alcançadas, que podem ser consequência de duas circunstâncias: 1) cultivo do milho por pequenos agricultores ou com baixo input de tecnologia, com ausência e/ou baixa adubação nitrogenada; 2) aplicação de doses recomendadas de N-fertilizante sem considerar as perdas deste nutriente do sistema solo-planta-atmosfera.

Isso reforça a ideia da criação de políticas públicas que possam auxiliar no fornecimento de fertilizantes

para tais países pequenos da América Latina e o Caribe. Segundo Reyes e Cortés (2017) ao analisar o uso de fertilizantes na ALC, o tamanho das economias está significativamente associado com o uso de fertilizantes, onde países com economias menores tem menos oportunidade de importação e aplicação de fertilizante.

De acordo com Fixen (2011) este é o principal desafio para o setor de fertilizantes, onde precisarão centrar a atenção no uso de sua força de marketing e distribuição para aumentar os balanços de nutrientes nas regiões onde os mesmos estão inadequadamente baixos e na disponibilização de tecnologia, serviços e programas educacionais para reduzir o desbalanço. Segundo a Agência dos Estados Unidos para o Desenvolvimento Internacional (USAID) (2012), após o grande terremoto no Haiti, em 2010, o governo Haitiano criou o Programa de Subsídios de Fertilizantes como um esforço para intensificar e aumentar a produção agrícola em resposta a um súbito aumento da demanda de alimentos nas áreas rurais. No entanto, a falta de recursos financeiros para aquisição dos fertilizantes ainda é um fator prejudicial neste país.

Ressalta-se novamente que o cálculo do balanço de N de um país ou uma região trata-se de uma estimativa, pois é praticamente impossível fazer um balanço completo de entrada e saídas desse nutriente devido a falta de algumas informações específicas, consistentes e confiáveis para cada área em cada região. Por exemplo, as perdas por emissão de N_2O e CH_4 são praticamente impossíveis de se estimar e contabilizar no balanço, devido a grande variabilidade das condições edafoclimáticas e de manejo de cada área. Da mesma forma, as entradas de N via adubação orgânica e/ou aplicação de resíduos vegetais não entram nos cálculos do balanço, devido a falta de dados de produção e quantidades aplicadas por país e devido também por esses insumos terem uma dinâmica na ciclagem de nutrientes diferente dos fertilizantes convencionais. Conforme já discutido anteriormente, a entrada de N via FBN por bactérias diazotróficas para algumas culturas ainda não estão bem estabelecidas e também não entram no balanço. No entanto, a estimativa do balanço busca se aproximar ao máximo da realidade da agricultura da região, procurando enfatizar bem, principalmente a dinâmica do uso de nutrientes de fertilizantes pelas culturas.

Semelhante com os resultados de exportação de N do campo com os produtos colhidos, os cinco países que apresentaram as maiores exportações de P no

produto colhido na ALC também foram o Brasil (47%), Argentina (31%), México (9%), Paraguai (4%) e Bolívia (1%) (Figura 2 e Tabela 3). Tudo isso associado principalmente com a produção de soja e milho, as culturas de grande extensão e/ou mais tecnificadas na região. Juntos, esses países são responsáveis pela exportação de 92% do P ou 2,24 Mt de P com os produtos colhidos da grande maioria das culturas agrícolas da ALC.

Dentro desses cinco países, as cinco principais culturas responsáveis pelas maiores exportações de P no produto colhido (Figura 2) foram (FAOSTAT, 2019):

- Brasil – soja (54%); milho (27%); cana-de-açúcar (7%); trigo (3%) e arroz (2%).
- Argentina – soja (47%); milho (33%); trigo (11%); girassol (3%) e Cevada (2%).
- México – milho (72%); trigo (9%); sorgo (8%); cana-de-açúcar (3%) e milho verde (2%).
- Paraguai – soja (61%); milho (27%); trigo (5%); arroz (2%) e colza (1%).

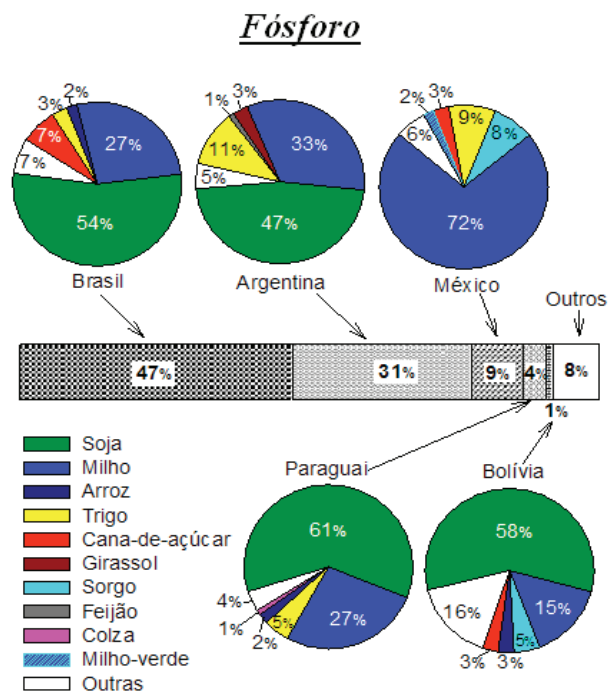


Figura 2. Porcentagem de participação nas exportações de P no produto colhido dos cinco principais países da ALC e de suas respectivas cinco principais culturas responsáveis pelas maiores exportações de P no produto colhido.

Figure 2. Percentage share of export of P in the products harvested from the five main LAC countries and their respective five main crops responsible for the largest export of P in the harvested products.

- Bolívia - soja (58%); milho (15%); sorgo (5%); arroz (3%) e cana-de-açúcar (3%).

Então, quando se trata de balanço de P, para que se tenha uma boa base para análise da ALC, além das culturas já citadas para o balanço de N, deve-se ater também as culturas do girassol, cevada e colza, que se destacaram, respectivamente, na Argentina e Paraguai. Tais culturas em conjunto (soja, milho, cana-de-açúcar, arroz, trigo, girassol, sorgo, feijão e milho) representam cerca de 90% do P que deixa anualmente o sistema solo-planta nesta região.

Ainda pela Tabela 3, pode-se verificar que os países que consomem maior quantidade de P-fertilizante na ALC, são Brasil (67%), Argentina (14%), México (5%), Paraguai (3%) e Colômbia (3%), associados

principalmente com a extensão da área agrícola (Tabela 1) e a intensificação das culturas de soja e de milho.

A ALC apresentou um balanço positivo de P (Tabela 3), com um saldo de 0,822 Mt (Tabela 3). Com exceção da Argentina, Bolívia, México e Guatemala, os demais países da ALC avaliados apresentaram valores positivos e/ou próximos de zero no balanço de P (Tabela 3). Tais valores positivos ou próximos de zero no balanço de P demonstram que no geral o fornecimento destes nutrientes no desenvolvimento das culturas na ALC está equilibrado, ou seja, o ingresso de P nas culturas cultivadas está compensando as exportações nos produtos colhidos que saem do sistema solo-planta.

Tabela 3. Quantidades aplicadas, exportadas e balanço de P das principais culturas cultivadas nos países da América Latina e o Caribe.
Table 3. Quantities applied, exported and P balance of the main cultivated crops in the countries of Latin America and the Caribbean.

| Países | [†] P exportado | [‡] P-fertilizante | ^³ Balanço total de P |
|---------------------------|--------------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| | | 1000 t | |
| Argentina | 753,95 | 446,85 | -307,10 |
| Bolívia | 32,33 | 4,65 | -27,68 |
| Brasil | 1146,28 | 2168,91 | 1022,63 |
| Chile | 22,65 | 34,49 | 11,85 |
| Colômbia | 28,89 | 90,42 | 61,53 |
| Costa Rica | 3,26 | 4,68 | 1,42 |
| Cuba | 7,68 | 13,57 | 5,89 |
| El Salvador | 6,76 | 7,53 | 0,78 |
| Equador | 15,26 | 17,89 | 2,63 |
| Guatemala | 20,41 | 17,19 | -3,22 |
| Honduras | 6,71 | 15,19 | 8,49 |
| México | 213,11 | 161,96 | -51,15 |
| Nicarágua | 5,96 | 8,93 | 2,96 |
| Panamá | 1,80 | 3,32 | 1,52 |
| Paraguai | 97,20 | 97,24 | 0,03 |
| Peru | 27,07 | 38,24 | 11,16 |
| República Dominicana | 4,25 | 8,57 | 4,32 |
| Uruguai | 27,18 | 63,68 | 36,50 |
| Venezuela | 10,74 | 54,92 | 44,18 |
| América Latina e o Caribe | 2435,85 | 3258,24 | 822,39 |
| Total: | | | |

[†] FAOSTAT (2019) - dados referentes ao ano de 2016. ¹ O P exportado do campo com os produtos colhidos foram calculados a partir dos dados de produção total por país e dos teores de P de cada um dos produtos. ² Para o P adotou-se uma posição conservadora de que 100% do nutriente aplicado permaneceu no sistema solo-planta. ³ O balanço de P foi calculado pela diferença entre o ingresso de P ao sistema e a saída do nutriente com o produto colhido.

[†] FAOSTAT (2019) - data for the year 2016. ¹ The P exported from the field with the harvested products were calculated from the total production data by country and the P content of each of the products. ² For P, the conservative position was adopted that 100% of the applied nutrient remained in the soil-plant system. ³ The P balance was calculated by the difference between the inflow of P to the system and the exit of the nutrient with the product harvested.

O alto valor positivo do balanço de P no Brasil (Tabela 3) indica que se está aplicando P acima das demandas das culturas, gerando com o passar dos anos um aumento no estoque deste nutriente no solo. Este fenômeno obedece principalmente a baixa solubilidade de P da maioria dos fertilizantes, e alta fixação do P nos colóides do solo, diminuindo a disponibilidade, sendo por isso necessário aplicar bem acima da demanda das culturas (Vitti e Trevisan, 2000; Caione *et al.*, 2011). Resultados semelhantes foram apresentados por Cunha *et al.* (2014) no Brasil, os quais relatam que o fornecimento de P-fertilizante na cultura da soja (principal cultura deste país) chega ser o dobro da demanda de exportação da cultura.

Já os valores negativos do balanço de P na Argentina, Bolívia, México e Guatemala (Tabela 3), ocorrem devido ao cultivo de suas principais culturas em solos com boa fertilidade e disponibilidade deste nutriente, que permitem agricultura com ausência ou baixo aporte de fertilizante fosfatado. Ressalta-se ainda que o México apresenta muitas áreas de cultivo de milho e feijão de subsistência, as quais devido ao baixo poder aquisitivo dos agricultores aplicam fertilizantes abaixo da demanda da cultura. Sendo assim, esse fator também contribui para os valores negativos de balanço de P destes países.

O potássio foi o segundo nutriente mais exportado pelos produtos colhidos na ALC (Tabela 4). E os cinco países que apresentaram as maiores exportações de K no produto colhido na região foram o Brasil (50%), Argentina (25%), México (6%), Paraguai (3%) e Colômbia (3%) (Figura 3 e Tabela 4). Juntos esses países são responsáveis pela exportação de 88% do K ou 5,61 Mt de K exportados pelos produtos colhidos das culturas pesquisadas na região.

Dentro desses cinco países (Brasil, Argentina, México, Paraguai e Colômbia), as cinco principais culturas responsáveis pelas maiores exportações de K no produto colhido (Figura 3) foram (FAOSTAT, 2019):

- Brasil – soja (56%); cana-de-açúcar (19%); milho (11%); café (3%) e banana (2%).
- Argentina – soja (63%); milho (17%); trigo (05%); girassol (4%) e amendoim (2%).
- México – milho (39%); cana-de-açúcar (11%); feijão (6%); sorgo (5%) e bananas (5%).
- Paraguai – soja (72%); milho (12%); mandioca (3%); cana-de-açúcar (2%) e trigo (2%).
- Colômbia – óleo de dendê (21%); plátano (20%); bananas (19%); cana-de-açúcar (17%) e café (13%).

Para o balanço de K, outras culturas, se destacaram como grandes exportadoras deste nutriente na região, tais como, café, amendoim, banana, amendoim, mandioca, dendê e plátano.

Craswell *et al.* (2004) ao analisar a situação do balanço de nutrientes (NPK) na América Latina em 1997, também evidenciaram que tais culturas citadas neste trabalho para o balanço de N, P e K realmente são as que apresentaram maior contribuição para este tipo de estudo.

Ainda pela Tabela 4, pode-se verificar que os países que consomem maior quantidade de K-fertilizante na ALC, são Brasil (81%), Colômbia (5%); México (3%), Paraguai (3%) e Venezuela (2%).

Situação preocupante pode ser verificada no balanço de K da ALC, onde a grande maioria dos países (Argentina, Bolívia, Chile, Costa Rica, Cuba, El Salvador, Equador, Guatemala, Honduras, México,

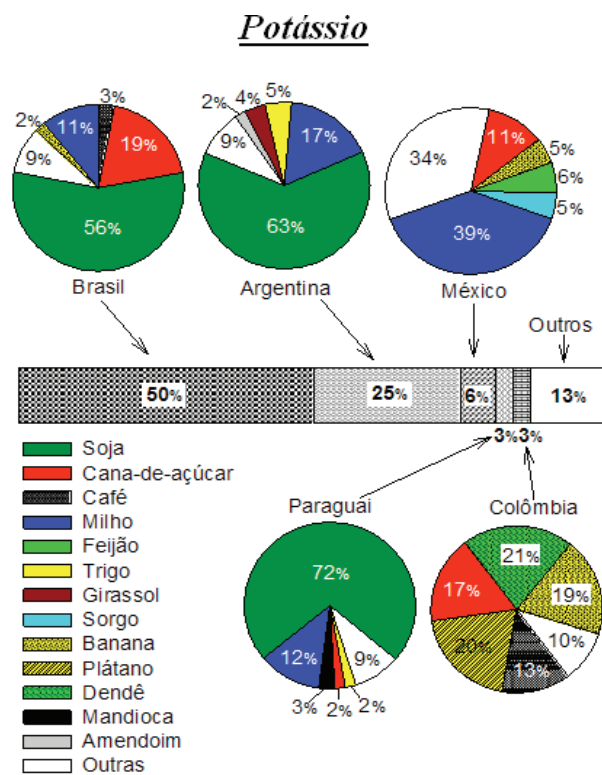


Figura 3. Porcentagem de participação nas exportações de K no produto colhido dos cinco principais países da ALC e de suas respectivas cinco principais culturas responsáveis pelas maiores exportações de K no produto colhido.

Figure 3. Percentage share of export of K in the products harvested from the five main LAC countries and their respective five major crops responsible for the largest export of K in the harvested products.

Nicarágua, Panamá, Paraguai, Peru, Republica Dominicana e Uruguai) apresentaram valores negativos, ocasionando um déficit de 0,519 Mt de K na região (Tabela 4). Tais valores negativos indicam que o fornecimento de K via adubação nas principais culturas destes países avaliados não estão atendendo às quantidades exportadas pelas produtividades de grãos atingidas, podendo, com o passar dos anos, contribuir para a redução da fertilidade do solo.

Tais valores de balanços negativos nesses países podem ter três explicações: 1) cultivo de suas principais culturas citadas anteriormente em solos com boa disponibilidade de K, que dispensam fertilização com este nutriente, onde só para se ter uma ideia, a adubação do cultivo de milho com K raramente

ocorre na Argentina (Cunha *et al.*, 2014); 2) aumento de produtividade da cultura da soja promovido pelo melhoramento genético com o passar dos anos, o qual pode ter deixado a soja mais responsiva à nutrição com K, tendo em vista que este macronutriente é o segundo mais extraído pela soja (Vitti e Trevisan, 2000). Vale destacar que nas áreas comerciais de produção de soja, com nível de tecnologia, a questão de aplicar mais ou menos adubação com K, também varia muito de acordo com o teor de K no solo (Vitti e Trevisan, 2000), pois existem propriedades que necessitam realizar adubação de correção e manutenção, enquanto que em outras, por se tratar de áreas com muitos anos de agricultura aplicando doses altas de K (> 60 kg ha⁻¹), o teor deste nutriente no solo passou da faixa de médio

Tabela 4. Quantidades aplicadas, exportadas e balanço de K das principais culturas cultivadas nos países da América Latina e o Caribe.
Table 4. Quantities applied, exported and K balance of the main cultivated crops in the countries of Latin America and the Caribbean.

| Países | [†] K exportado | [‡] K-fertilizante | ^³ Balanço total de K |
|------------------------------------|--------------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| | ----- 1000 t ----- | | |
| Argentina | 1578,50 | 35,38 | -1543,13 |
| Bolívia | 93,30 | 2,70 | -90,60 |
| Brasil | 3194,10 | 4754,58 | 1560,49 |
| Chile | 57,23 | 25,17 | -32,06 |
| Colômbia | 197,83 | 283,27 | 85,44 |
| Costa Rica | 44,57 | 33,24 | -11,34 |
| Cuba | 41,09 | 31,70 | -9,39 |
| El Salvador | 16,65 | 11,30 | -5,35 |
| Equador | 103,25 | 82,73 | -20,51 |
| Guatemala | 108,59 | 45,32 | -63,27 |
| Honduras | 42,05 | 30,44 | -11,61 |
| México | 415,16 | 163,43 | -251,73 |
| Nicarágua | 27,75 | 15,69 | -12,06 |
| Panamá | 8,57 | 6,78 | -1,79 |
| Paraguai | 224,36 | 154,73 | -69,63 |
| Peru | 104,05 | 58,89 | -45,16 |
| República Dominicana | 35,79 | 7,76 | -28,03 |
| Uruguai | 59,38 | 36,28 | -23,11 |
| Venezuela | 36,59 | 112,11 | 75,51 |
| América Latina e o Caribe - Total: | 6410,74 | 5891,49 | -519,25 |

[†] FAOSTAT (2019) - dados referentes ao ano de 2016. ¹ O K exportado do campo com os produtos colhidos foram calculados a partir dos dados de produção total por país e dos teores de K de cada um dos produtos. ² Para o K adotou-se uma posição conservadora de que 100% do nutriente aplicado permaneceu no sistema solo-planta. ³ O balanço de K foi calculado pela diferença entre o ingresso de K ao sistema e a saída do nutriente com o produto colhido.

[†] FAOSTAT (2019) - data for the year 2016. ¹ The K exported from the field with the harvested products were calculated from the total production data by country and the K levels of each of the products. ² For K, a conservative position was adopted that 100% of the applied nutrient remained in the soil-plant system. ³ The K balance was calculated by the difference between the input of K to the system and the exit of the nutrient with the product harvested.

a alto, necessitando apenas de adubações reduzidas de manutenção; 3) problemas de crédito, frustração de safras, baixos preços dos produtos agrícolas e baixo poder aquisitivo dos agricultores, podem contribuir para que muitos agricultores apliquem fertilizantes abaixo da demanda da cultura, ou até mesmo suprimir a adubação potássica.

Existem também situações em que não foi demonstrada uma resposta clara à aplicação do fertilizante potássico, provavelmente devido à própria dinâmica do K no solo e sua interação com a água e a temperatura ambiente, fazendo com que assim, muitas vezes este nutriente deixe de ser aplicado.

De acordo com IFA (2018) a expansão dos déficits regionais de K na ALC, apoiaria um aumento sustentado no comércio e importação de K até 2022 para essa região. Diante o exposto, já se percebe uma possível visão de melhorias futuras para essa região, a qual além de já ter esse déficit de K, tem grandes perspectivas de aumento de área e produção principalmente das commodities (IFA, 2018).

Os saldos negativos de nutrientes já vêm sendo anunciada desde 1999, onde os resultados de Craswell *et al.* (2004) indicam claramente que não estão sendo aplicados nutrientes suficientes na maioria das áreas de cultivo da ALC. Neste trabalho de Craswell *et al.* (2004) a série de dados de 1996-1999 mostra que o uso anual de nutrientes é de cerca de 60 kg de NPK por hectare na região. O uso de fertilizantes variava de cerca de 234 kg de NPK por hectare no Chile para 46 kg no México, e para menos de 10 kg na maioria dos países do Caribe. Diante o exposto, tais autores concluíram que os países latino-americanos e o Caribe precisariam aumentar o uso de fertilizantes para evitar o declínio da fertilidade do solo, o que sem dúvida pode colocar em risco a segurança alimentar. Reyes e Cortés (2017) ao estudarem a intensidade de uso de fertilizantes na América Latina e Caribe de 2006 a 2012, evidenciaram que a intensidade do uso de fertilizante dependendo das áreas cultivadas aumentou em 27,1%, passando de 21,4 em 2006, para 27,2 toneladas de fertilizantes por mil hectares cultivados em 2012. No entanto, tais pesquisadores evidenciam que alguns países como Chile, Honduras, Guiana e Costa Rica diminuíram o uso de fertilizantes neste intervalo de tempo, enquanto outros aumentaram (Uruguai, Panamá e Bolívia).

Ressalta-se também que é necessário conhecer claramente as necessidades de aplicação dos fertilizantes com base no rendimento máximo provável

de cada unidade de produção, para evitar o excesso ou déficit de aplicação dos nutrientes essenciais.

Conforme visto anteriormente, passou-se os anos e a situação do balanço de nutrientes na agricultura da ALC não melhorou, principalmente no que diz respeito ao potássio. Em relação a este nutriente a maioria dos países ainda continuam explorando a fertilidade natural do solo. Essa situação deve ser observada com cuidado, especialmente nos solos tropicais altamente intemperizados onde a disponibilidade de K é baixa, o que pode estar limitando os rendimentos e contribuindo para o empobrecimento rápido do solo, colocando em risco a segurança alimentar da população. Frente a essa situação ainda é válida a recomendação de intensificar os estudos sobre a dinâmica e disponibilidade de K no solo para a adequada adubação (Bernardi e Machado, 2005).

Evidenciam-se também na Tabela 4, os países (Brasil, Colômbia e Venezuela) que fecharam balanço de K positivo. Dentre esses países destaca-se a situação brasileira, a qual apresentou um saldo de 1,560 Mt de K. De acordo com dados de nosso grupo de pesquisa de ciclagem de nutrientes da Embrapa Agrobiologia (resultados ainda não publicados), essa situação pode estar ocorrendo devido a balanços positivo de K no cultivo do arroz, milho e cana-de-açúcar no Brasil. No caso do arroz, por exemplo, seu cultivo em solos arenosos e orgânicos evidenciam maiores perdas de K e doses maiores do nutriente podem ser utilizadas (SOSBAI, 2014), enquanto que também existe aplicação de maiores doses de K, visando compensar a saída desse nutriente no manejo da irrigação (drenagens) (Marchezan *et al.*, 2007). Diante o exposto, destaca-se que a agricultura brasileira está aplicando K em quantidades superiores a o que algumas plantas necessitam. Em situações de solo que permite que o K não se perda do sistema por lixiviação, por exemplo, pode-se inferir que o estoque deste nutriente está aumentando nos solos agrícolas brasileiros com o passar dos anos. Cunha *et al.* (2014), ao avaliarem o balanço de N, P e K nos anos de 2009 a 2012, também verificaram no Brasil um fornecimento de K acima da exportação pelas culturas do milho e arroz.

Os resultados deste estudo de balanço de nutrientes demonstram que a agricultura da ALC apresenta balanço positivo para nitrogênio (+1,22 Mt N), fósforo (+0,82 Mt P) e negativo para potássio (- 0,519 Mt K). Considerando a imensa área cultivada (161,5 Mha) e o grande volume de produção, pode-se dizer que a

região apresenta em geral um balanço de NPK próximo do equilíbrio. No entanto, analisando internamente a região, encontram-se desbalanços significativos em alguns países. Assim, no que diz respeito a N, a Argentina apresenta um balanço negativo de -1,55 Mt N, o qual é contrabalanceado pela significativa contribuição do Brasil que apresenta balanço positivo de + 1,53 Mt N. No caso do P, o significativo balanço positivo (+0,761 Mt P) demonstram a grande contribuição do Brasil (+1,023 Mt P) que ajudou a neutralizar a significativa perda de P dos solos da Argentina (- 0,307 Mt P). No caso do K, o desbalanço regional é significativo (-0,519 Mt K) e chama a atenção o grande desbalanço de K na agricultura Argentina (-1,543 Mt K) que foi neutralizado com o superávit do Brasil (+1,560 Mt K).

No caso do N, deve-se destacar a significativa contribuição da FBN para o balanço deste nutriente na agricultura regional. A FBN contribuindo com 11,29 Mt N, está respondendo por 62% do ingresso total de N na agricultura da ALC. Tratando-se de um nutriente nobre, tanto por sua demanda e pela influência na qualidade dos produtos agrícolas, pode-se dizer que a agricultura de ALC, em quanto a N, está baseada na FBN, destacando-se a cultura da soja, uma das principais culturas, especialmente em Brasil, Argentina e Paraguai. A tecnologia da inoculação com bactérias diazotróficas precisa ser aprimorada na região, ampliando seu uso nas outras leguminosas como também em culturas de gramíneas como cana-de-açúcar e milho, as mais promissoras.

A situação do desbalanço de nutrientes na agricultura da ALC parece ser mais crítica dentro de cada país, pois é conhecido que dentro dos países o maior consumo de nutrientes ocorre nas culturas produtoras de commodities (soja, milho, cana de açúcar, café, laranja), deixando o resto para continuar explorando a fertilidade natural dos solos, que caminham para o empobrecimento e colocando em risco a segurança alimentar. Assim destaca-se a necessidade do monitoramento periódico do balanço de nutrientes, acompanhado da análise de solos, procurando estabelecer pelo menos as adubações de manutenção, ou seja, repor os nutrientes exportados pelos produtos colhidos, visando assim uma agricultura conservacionista e não exploratória. Essa ideia é corroborada por um trabalho recente de Lu e Tian (2017), os quais ao avaliarem a produção e consumo de

fertilizantes nitrogenados e fosfatados no último meio século no mundo, concluíram que práticas de manejo e políticas agrícolas devem enfatizar o aumento da eficiência do uso dos fertilizantes nas regiões de alta entrada de N e P, reduzindo os impactos ambientais e consequências ecológicas do excesso de uso de nutrientes, e que se deve preconizar e/ou incentivar o aumento da aplicação de fertilizantes agrícolas nas regiões de baixa entrada, visando aliviar a limitação ou o desbalanço de nutrientes.

CONCLUSÕES

- A ALC tem um balanço ligeiramente positivo de (nitrogênio) N, no entanto, em alguns países (Argentina, Bolívia e Paraguai) esse balanço foi negativo, demonstrando que a quantidade de N aportado via fertilizante nitrogenado e FBN não estão sendo suficientes para repor a quantidade extraída por seus produtos colhidos (principalmente a soja, milho, arroz e o trigo) tendo as plantas suprido suas necessidades do estoque deste nutriente no solo, contribuindo assim para a diminuição do conteúdo de matéria orgânica do solo.
- A fixação biológica de N é fundamental para o balanço positivo de N da ALC, pois é a principal fonte de N da agricultura desta região, respondendo por 62% da demanda de N das culturas, e isto ocorre devido principalmente à alta eficiência da FBN na cultura de soja, com maior destaque para as grandes produções do Brasil.
- No que diz respeito ao fósforo (P), embora a ALC apresente um balanço positivo deste nutriente, devido à grande contribuição do Brasil principalmente, alguns países como Argentina, Bolívia, Guatemala e México, apresentaram balanço negativo, levando assim o solo ao empobrecimento. Esta situação é muito preocupante, principalmente na Argentina, que é um dos países de maior produção de alimentos agrícolas do mundo, onde essa situação ocorre por apresentar grandes áreas de produção com solos naturalmente férteis, onde a resposta das culturas à fertilização é geralmente baixa, e por isso também a adubação é baixa, deixando o solo ser a principal fonte de nutrientes em muitos casos.
- O desbalanço de potássio (K) é mais preocupante. Com exceção de Brasil, Colômbia e Venezuela, todos os demais países apresentaram balanço negativo deste nutriente. O empobrecimento do solo neste nutriente

coloca em risco a segurança alimentar regional para as futuras gerações, e alerta para os desafios que a política regional deve tomar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alves, B. J. R., L. Zotarelli, F. M. Fernandes, J. C. Heckler, R. A. T. Macedo, R. M. Boddey, C. P. Jantalia, e S. Urquiaga. 2006. Fixação biológica de nitrogênio e fertilizantes nitrogenados no balanço de nitrogênio em soja, milho e algodão. *Pesq. Agropec. Bras.* 41: 449-456.
- Alves, G. C., S. S. Videira, S. Urquiaga, and V. M. Reis. 2015. Differential plant growth promotion and nitrogen fixation in two genotypes of maize by several *Herbaspirillum* inoculants. *Plant Soil* 387: 307-321. doi: 10.1007/s11104-014-2295-2.
- Awadalla, A. and A. S. M. Morsy. 2017. Influence of planting dates and nitrogen fertilization on the performance of quinoa genotypes under Toshka conditions. *Egypt. J. Agro.* 39: 27-40.
- Bassotto, V. 2011. Relatório de estágio curricular obrigatório supervisionado. Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul Faculdade De Agronomia Agr 99003 – Estágio Curricular Obrigatório Supervisionado. EMATER/RS-ASCAR. Porto Alegre, RS, Brasil.
- Batjer, L. P., B. L. Rogers, and A. H. Thompson. 1952. Fertilizer applications as related to nitrogen, phosphorus, potassium, calcium and magnesium utilization by apple trees. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 60: 1-6.
- Beltrão, N. E. de M., J. G. de Souza, e J. R. Pereira. 2001. Fitologia. pp. 37-57. *In:* N. E. de M. Beltrão e D. J. Vieira. (eds). O agronegócio do Gergelim no Brasil. Embrapa Informação Tecnológica. Brasília, DF, Brasil. ISBN: 85-7383-115-4.
- Bernardi, A. C. C. e P. L. O. A. Machado. 2005. Uso agrícola dos solos do Brasil e balanço de nutrientes. pp. 127-133. *In:* H. Nielson e R. Sarudiansky. Minerales para la agricultura en Latinoamérica. CEPES. Argentina.
- Boddey, R. M., J. C. Polidoro, A. S. Resende, B. J. R. Alves, and S. Urquiaga. 2001. Use of the ^{15}N natural abundance technique for the quantification of the contribution of N_2 fixation to sugar cane and other grasses. *Aust. J. Plant Physiol.* 28: 889-895. doi: 10.1071/PP01058.
- BOREALIS Lat. 2017. Citrus fertigation. https://www.borealis-lat.com/fileadmin/media/International/SUPREMO/Fertigation/Citrus_fertigation.pdf (Consulta: Junho 30, 2017).
- Borges, A. L. e A. M. G. Oliveira. 2000. Nutrição Calagem e Adubação. pp. 47-59. *In:* Z. J. M. Cordeiro. Banana. Produção: aspectos técnicos. Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, (Frutas do Brasil, 1). Brasília, Brasil. ISBN: 85-7383-070-0.
- Caione, G., A. F. Silva, L. L. Reis, F. C. Dalchiavon, M. T. R. Teixeira, e P. A. Santos. 2011. Doses de potássio em cobertura na primeira soca da cultura da cana-de-açúcar cultivada no norte matogrossense. *Biosci. J. Uberlândia* 27: 572-580.
- Cavalett, O. and E. Ortega. 2009. Emergency, nutrients balance, and economic assessment of soybean production and industrialization in Brazil. *J. Clean. Prod.* 17: 762-771. doi: 10.1016/j.jclepro.2008.11.022.
- Ciampitti, I. A. y F. O. Garcia. 2007. Requerimientos nutricionales. Absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundários: I. cereales, oleaginosos e industriales. IPNI. *Archivo Agronómico* 11: 13-16.
- Collino, D. J., F. Salvagiotti, A. Peticari, C. Piccinetti, G. Ovando, S. Urquiaga, and R.W. Racca. 2015. Biological nitrogen fixation in soybean in Argentina: Relation ships with crop, soil, and meteorological factors. *Plant Soil* 392: 239-252. doi: 10.1007/s11104-015-2459-8.
- Craswell, E. T., U. Grote, J. Henao, and P. L. G. Vlek. 2004. Nutrient flows in agricultural production and international trade: Ecological and policy issues. ZEF Discussion Paper on Development Policy No. 78. Center for Development Research. Bonn, Germany.
- Crisóstomo, L. A. e A. Naumov. 2009. Adubando para alta produtividade e qualidade: fruteiras tropicais do Brasil. IIP. Boletim 18. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical; Horgen: Instituto Internacional de Potassa. Fortaleza, CE, Brasil. ISBN: 978-85-89946-09-4.
- Cunha, J. F., V. Cesarin e L. I. Prochnow. 2010. Balanço de nutrientes na agricultura Brasileira. *Informações Agronômicas* no. 130: 1-11. Piracicaba, Brasil.
- Cunha, J. F., V. Cesarin e L. I. Prochnow. 2011. Balanço de nutrientes na agricultura brasileira no período de 1988 a 2010. IPNI *Informações Agronômicas* no. 135: 1-7. Piracicaba, Brasil.
- Cunha, J. F., V. Cesarin, E. A. B. Francisco e L. I. Prochnow. 2014. Balanço de nutrientes na agricultura Brasileira – 2009 a 2012. *Informações Agronômicas* no. 145: 1-28. Piracicaba, Brasil.
- FAO (Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura). 2015. World fertilizer trends and outlook to 2018. FAO. Roma. ISBN: 978-92-5-108692-6.
- FAOSTAT (Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura – Divisão de Estatística). Dados de produção e cultivo. 2019. <http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/E> (Consulta: Fevereiro 19, 2019).
- Faquin, V. e A. T. Andrade. 2004. Nutrição mineral e diagnose do estado nutricional de hortaliças. UFLA/FAEPE. Lavras, MG, Brasil.
- Fernandes, F. M. e V. M. Nascimento. 2004. Fertilidade do solo e nutrição da mangueira. pp.179-198. *In:* D. E. Rozane, R. J. Darezzo, R. L. Aguiar, G. H. A. Aguilera e L. Zambolim (eds.). Manga - produção integrada, industrialização e comercialização. UFV. Viçosa, MG, Brasil.
- Fixen, P. E. 2011. Balanço de nutrientes em terras cultivadas: Um desafio global para o setor de fertilizantes. *Informações Agronômicas* no. 133: 1-6. Piracicaba, Brasil.
- Haag, H. P. e K. Minami. 1988. Nutrição mineral de hortaliças: LXXX absorção de nutrientes pela cultura de almeirão. *An. ESALQ* 45: 597-603.
- Haag, H.P., M. K. P. Souza, Q. A. C. Carmello e A. R. Dechen. 1990. Extração de macro e micronutrientes por frutos de quatro variedades de manga (*Mangifera indica* L.). *Anais ESALQ* 47: 459-477.
- Herridge, D. F., M. B. Peoples, and R. M. Boddey. 2008. Global inputs of biological nitrogen fixation in agricultural systems. *Plant Soil* 311: 1-18. doi: 10.1007/s11104-008-9668-3.

- IFA(International Fertilizer Industry Association). Fertilizer outlook 2017–2021. 2017. https://www.fertilizer.org/images/Library_Downloads/2017_IFA_Annual_Conference_Marrakech_PIT_AG_Fertilizer_Outlook.pdf (Consulta: Fevereiro 19, 2019).
- IFA(International Fertilizer Industry Association). Fertilizer outlook 2018–2022. 2018. https://www.fertilizer.org/images/Library_Downloads/2017_IFA_Annual_Conference_Marrakech_PIT_AG_Fertilizer_Outlook.pdf (Consulta: Fevereiro 19, 2019).
- IFA(International Fertilizer Industry Association). World Nutrients Consumption Statistics. 2013. <http://www.fertilizer.org/ifa/statistics/IFADATA/dataline.asp> (Consulta: Maio 06, 2013).
- IPCC (Intergovernmental panel on climate change). Solid waste disposal. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. 2006. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/> (Consulta: Maio 06, 2017).
- IPNI (International Plant Nutrition Institute). Calculadora de Remoção de Nutrientes. 2017. <http://brasil.ipni.net/article/BRS-3268> (Consulta: Junho 30, 2017).
- Janick, J. 2005. Horticultural Reviews. v.31. John Wiley and Sons Ltd. New York, NY, USA. ISBN: 978-0-471-66694-3.
- Lu, C. and H. Tian. 2017. Global nitrogen and phosphorus fertilizer use for agriculture production in the past half century: shifted hot spots and nutrient imbalance. *Earth Syst. Sci. Data* 9: 181-192. doi:10.5194/essd-9-181-2017.
- Magalhães, I. P. B., M. A. N. Sedyama, F. D. B. Silva, S. M. Vidigal, C. L. O. Pinto e I. P. C. Lopes. 2017. Produtividade e exportação de nutrientes em feijão-vagem adubado com esterco de galinha. *Revista Ceres* 64: 98-107. doi: 10.1590/0034-737X201764010014.
- Malavolta, E. 1980. Elementos de nutrição mineral de plantas. São Paulo: Agronômica Ceres. Embrapa Informática Agropecuária. Campinas, SP, Brasil.
- Marchezan, E., E. R. Camargo e T. Segabinazzi. 2007. Manejo dos fertilizantes fosfatados e potássicos em arroz irrigado no sistema pré-germinado. *Bragantia* 66: 219-226. doi: 10.1590/S0006-87052007000200005.
- MFGA (Manitoba Forage and Grassland Association). 2001. Nutrient uptake and removal by field crops. <http://mfga.net/resources/545-nutrient-uptake-and-removal-by-field-crops-eastern-canada/> (Consulta: Junho 30, 2017).
- OCDE/FAO (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos/ Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2017. OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas 2017-2026. Éditions OCDE, Paris. http://dx.doi.org/10.1787/agr_outlook-2017-es (Consulta: Fevereiro 20, 2019).
- Oliveira, F. L., A. P. Araujo e J. G. M. Guerra. 2011. Crescimento e acumulação de nutrientes em plantas de taro sob níveis de sombreamento artificial. *Hortic. Brasil*. 29: 291-298. doi: 10.1590/S0102-05362011000300006.
- Peoples, M. B., D. F. Herridge, and J. K. Ladha. 1995. Biological nitrogen fixation: An efficient source of nitrogen for sustainable agricultural production? *Plant Soil* 174: 3-28. doi:10.1007/978-94-011-0055-7_1.
- Raij, B. V., H. Cantarella, J. A. Quaggio e A. M. C. Furlani. 1997. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Instituto Agronômico/Fundação IAC. Campinas, Brasil.
- Reyes, G. E. y J. D. Cortés. 2017. Intensidad en el uso de fertilizantes en américa latina y el caribe (2006-2012). *Bioagro* 29: 45-52.
- Rombolà, A. D., G. Sorrenti, G. A. B. Marodin, Z. A. De Pieri e E. Barca. 2012. Nutrição e manejo do solo em fruteiras de caroço em regiões de clima temperado. *Semina: Ciênc. Agrár.* 33: 639-654. doi: 10.5433/1679-0359.2012v33n2p639.
- Silva, D. F., R. F. Pegoraro, V. M. Maia, M. K. Kondo, G. L. O. D. Souza e M. F. C. Mota. 2017. Volatilização de amônia do solo após doses de ureia com inibidores de urease e de nitrificação na cultura do abacaxi. *Rev. Ceres* 64: 327-335.
- SOSBAI (Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado). 2014. Arroz irrigado: Recomendações técnicas da pesquisa para o sul do Brasil. Santa Maria, Brasil.
- Sousa, D. M. G., E. Lobato e T. A. Rein. 2004. Adubação com fósforo. pp. 147-168. *In: D. M. G. Sousa e E. Lobato (eds.). Cerrado: Correção do solo e adubação.* Embrapa. Planaltina, DF, Brasil. ISBN: 85-7383-230-4.
- Takahashi, H. W., I. C. B. Fonseca e A. Takahashi. 2010. Extração de nutrientes pelos ramos frutíferos de caqui cultivar giombo durante um ciclo de produção. *Rev. Bras. Frutic.* 32: 326-334.
- Tedesco, M. J., C. Gianello, I. Anghinoni, C. A. Bissani, F. A. O. Camargo e S. Wiethölter. 2004. Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Su, Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC. Porto Alegre, Brasil.
- Urquiaga, S. y F. Zapata, 2000. Manejo eficiente de la fertilización nitrogenada de cultivos anuales en América Latina y el Caribe. Porto Alegre: Gênese; Rio de Janeiro: Embrapa Agrobiologia. ISBN: 85-87578-02-2.
- Urquiaga, S., R. P. Xavier, R. F. Morais, R. B. Batista, N. Schultz, J. M. Leite, J. M. SÁ, K. P. Barbosa, A. S. Resende, B. J. R. Alves, and R. M. Boddey. 2012. Evidence from field nitrogen balance and ¹⁵N natural abundance data for the contribution of biological N₂ fixation to Brazilian sugarcane varieties. *Plant Soil* 356: 5-21. doi: 10.1007 / s11104-011-1016-3.
- USAID (United States Agency for International Development). 2012. Assessment of the fertilizer markets in haiti: Issues and recommendations. http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/pnaed205.pdf (Consulta: Junho 30, 2017).
- Vitti, G. C. e W. Trevisan. 2000. Manejo de macro e micronutrientes para alta produtividade da soja. *Informações Agrônomicas* no. 90: 01-16. Piracicaba, Brasil.
- Wood, S., K. Sebastian, and S. J. Scherr. 2000. Pilot analysis of global ecosystems: Agroecosystems. World Resources Institute. Washington, DC, USA. ISBN: 1-56973-461-5.
- Yamada, T. e A. S. Lopes. 1998. Balanço de nutrientes na agricultura brasileira. *Informações Agrônomicas* no. 84: 2-8 Piracicaba, Brasil.
- Yoneyama, T., T. Muraoka, T. H. Kim, E. V. Dacanay, and Y. Nakanishi. 1997. The natural ¹⁵N abundance of sugarcane and neighbouring plants in Brazil, the Philippines and Miyako (Japan). *Plant Soil* 189: 239-244. doi: 10.1023/A:1004288008199.
- Zotarelli, L., N. P. Zatorre, R. M. Boddey, S. Urquiaga, C. P. Jantalia, J. C. Fanchini, and B. J. R. Alves. 2012. Influence of no-tillage and frequency of a green manure legume in crop rotations for balancing N outputs and preserving soil organic C stocks. *Field Crops Res.* 132: 185-195. doi: 10.1016/j.fcr.2011.12.013.