

Acúmulo e alocação de nutrientes em cana-de-açúcar¹

Accumulation and allocation of nutrients in sugar cane

Emídio Cantídio Almeida de Oliveira², Fernando José Freire^{3*}, Ruthanna Isabelle de Oliveira⁴, Alexandre Campelo de Oliveira⁵ e Maria Betânia Galvão dos Santos Freire⁶

Resumo - O objetivo deste trabalho foi avaliar no ciclo de cana planta a capacidade de onze variedades de cana-de-açúcar (SP79-1011; RB813804; RB863129; RB872552; RB943365; RB72454; RB763710; SP78-4764; SP81-3250; RB867515 e RB92579), cultivadas sob irrigação plena, em acumular os nutrientes N, P, K, Ca e Mg nos componentes da parte aérea (colmo, folha e ponteiro). A pesquisa foi realizada em condições de campo, no município de Carpina/PE, na safra agrícola 2006/2007. O delineamento experimental empregado foi de blocos casualizados com quatro repetições. O acúmulo de nutrientes nos componentes da parte aérea foi avaliado aos 120; 180; 240; 300 e 360 dias após o plantio (DAP). Observou-se no ciclo da cana-de-açúcar, remobilização dos nutrientes N, P e K das folhas para os ponteiros e colmos. Aos 360 DAP o acúmulo de N, P e K na parte aérea mostrou-se superior à quantidade adicionada via fertilizantes. As variedades RB92579 e SP81-3250 se destacaram pelo maior acúmulo de nutrientes nos colmos, enquanto a RB867515 e RB943365 foram as variedades que mais alocaram nutrientes na folha, o que as identifica como variedades de maior capacidade de ciclagem de nutrientes.

Palavras-chave - Nutrição vegetal. Acumulação e distribuição de nutrientes. *Saccharum officinarum*.

Abstract - The objective of this study was to evaluate, along the first cycle of sugar cane, the capacity of eleven varieties of sugar cane (SP79-1011; RB813804; RB863129; RB872552; RB943365; RB72454; RB763710; SP78-4764; SP81-3250; RB867515 and RB92579), cultivated under full irrigation, the accumulation of the nutrients N, P, K, Ca and Mg in the plants aerial parts (stem, leaf and pointer). The research was carried through under field conditions, during the agricultural season 2006/2007, in the Sugar Cane Agricultural Station of the Federal Rural University of Pernambuco, in Carpina County, PE/Brazil. The experimental set was a complete randomized block design, with four replications. The accumulation of nutrients in the components of the aerial part was evaluated at 120; 180; 240; 300 and 360 days after plant (DAP). It was observed along the cycle of the sugar cane, mobilization of nutrients N, P and K from the leaves to the points and stems. At 360 DAP the accumulation of N, P and K in the aerial part was higher than the amount added by fertilizers. The varieties RB92579 and SP81-3250 were detached by the highest nutrients accumulation in stems, while RB867515 and RB943365 were the varieties that allocated more nutrients in leaf, which identifies them as the varieties of larger capacity of cycling of those nutrients.

Key words - Vegetable nutrition. Accumulation and distribution of nutrients. *Saccharum officinarum*.

* Autor para correspondência

¹Recebido para publicação em 05/05/2010; aprovado em 05/04/2011

Pesquisa financiada pelo CNPq e extraída da Dissertação de Mestrado do primeiro autor

²Unidade Acadêmica de Serra Talhada/UFRPE, Serra Talhada-PE, Brasil, emidio@uast.ufrpe.br

³Departamento de Agronomia/UFRPE, Rua Dom Manoel de Medeiros, Campus Universitário de Dois Irmãos, Recife-PE, Brasil, 52.171-900, 3320.6223, f.freire@depa.ufrpe.br

⁴PPGPV/Universidade Estadual do Norte Fluminense "Darcy Ribeiro", Campos dos Goytacases-RJ, Brasil, ruthy_isa@hotmail.com

⁵Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife-PE, Brasil, alexandre_solos@hotmail.com

⁶Departamento de Agronomia/UFRPE, Recife-PE, Brasil, betania@depa.ufrpe.br

Introdução

A absorção de nutrientes pelas plantas, como a cana-de-açúcar, é limitada por fatores de solo, temperatura, radiação e precipitação. Em regiões como o litoral do Nordeste, em que a precipitação se concentra em quatro meses (maio a agosto), a capacidade produtiva da cultura torna-se comprometida, bem como a habilidade da planta em absorver de forma eficiente água e nutrientes disponíveis do solo (SANTOS et al., 2009). Neste sentido, investimentos na seleção e uso de variedades adaptadas a diferentes condições edafoclimáticas, principalmente a sucessivos períodos de estresse hídrico, e a adoção da irrigação nos canaviais, vêm possibilitando a manutenção da produtividade da cultura (SIMÕES NETO et al., 2009).

As variedades, o clima, o ciclo da cultura, o tipo de solo e a quantidade de fertilizantes aplicados são fatores importantes que influenciam na composição mineral da planta (FRANCO et al., 2007). A resposta a esses fatores tem sido observada por meio da análise de tecidos foliares, que constitui uma alternativa eficiente de avaliação nutricional da cana-de-açúcar (REIS JUNIOR; MONNERAT, 2002).

Segundo Sedyama et al. (2009) estudos que avaliam o total de nutrientes removidos por hectare na colheita das culturas têm sido uma estratégia para determinar a quantidade necessária de fertilizantes a serem fornecidos nos ciclos subseqüentes. Contudo, são limitadas as informações de pesquisa que avaliam as exigências nutricionais durante o desenvolvimento da cultura nas regiões produtoras, bem como o conhecimento do balanço nutricional nos canaviais (SOUZA et al., 2009). Deste modo, pesquisas que visem a quantificação e a alocação de nutrientes nos compartimentos da parte aérea da cana-de-açúcar, se fazem necessárias e fornecerão informações sobre a ciclagem de nutrientes nos canaviais, servindo como suporte para a agroindústria sulcralcooleira, que poderá introduzir novos métodos e formas de adubação mais eficazes, com menos desperdício e economicamente mais viáveis (COLETI et al., 2006).

Apesar da importância do tema, poucos foram os trabalhos que avaliaram a extração e exportação de nutrientes em cana-de-açúcar, principalmente utilizando variedades recentemente disponibilizadas aos produtores (COLETI et al., 2006; MOURA FILHO, 2006; PRADO et al., 2002).

Medidas de taxa de crescimento e alocação de nutrientes durante o desenvolvimento fenológico da cana-de-açúcar contribuem para o entendimento da capacidade produtiva das novas variedades nos diferentes ambientes das unidades sucroalcooleiras.

Diante do exposto, esta pesquisa teve como objetivo avaliar o acúmulo e alocação de macronutrientes nos componentes da parte aérea (colmo, folha e ponteiro) em diferentes variedades de cana-de-açúcar, cultivadas sob irrigação plena.

Material e métodos

A pesquisa foi realizada na Estação Experimental de Cana-de-Açúcar de Carpina (EECAC), Unidade de Pesquisa da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), localizada no município de Carpina, Zona da Mata Norte do Estado, durante o ciclo de cana planta na safra agrícola 2006/2007. Durante o desenvolvimento da pesquisa constatou-se precipitação pluviométrica de 1.181 mm e temperatura média anual superior a 25 °C (FIG. 1).

O experimento foi instalado em Argissolo Amarelo Distrófico abrupto textura arenosa/argilosa (EMBRAPA, 2006), cuja caracterização física e química realizada em amostras coletadas nas camadas de 0,0-0,2; 0,2-0,4 e 0,4-0,6 m de profundidade apresentam-se na Tabela 1.

O experimento foi conduzido em delineamento de blocos casualizados. Os tratamentos consistiram de onze variedades de cana-de-açúcar, sendo cinco precoces (SP79-1011; RB813804; RB863129; RB872552 e RB943365) e seis de maturação média e tardia (RB72454; RB763710; SP78-4764; SP81-3250; RB867515 e RB92579), com quatro repetições, totalizando 44 unidades experimentais. As parcelas foram constituídas por cinco linhas, espaçadas de 1,10 m, com dez metros de comprimento, perfazendo uma área total de 44 m².

Visando a correção da acidez do solo, utilizou-se calcário dolomítico na dose de 465 kg ha⁻¹, calculado pelo método da neutralização do Al³⁺ trocável ou elevação dos teores trocáveis de Ca²⁺ e Mg²⁺, considerando-se 3,0 cmol_c dm⁻³ como nível crítico de (Ca + Mg) (IPA, 2008). Após a abertura dos sulcos, promoveu-se a aplicação de fertilizantes com base no Manual de Recomendação de Adubação e Calagem para o Estado de Pernambuco (IPA, 2008), conforme os resultados da análise do solo (TAB. 1), aplicando-se no fundo do sulco de plantio, 30 kg ha⁻¹ de N; 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 70 kg ha⁻¹ de K₂O, utilizando-se como fonte uréia, superfosfato simples e cloreto de potássio, respectivamente.

O plantio foi realizado manualmente e 90 dias após, realizou-se a adubação de cobertura, aplicando-se 50 kg ha⁻¹ de N e 50 kg ha⁻¹ de K₂O nas linhas da cana, com posterior incorporação manual, utilizando-se como fonte uréia e cloreto de potássio.

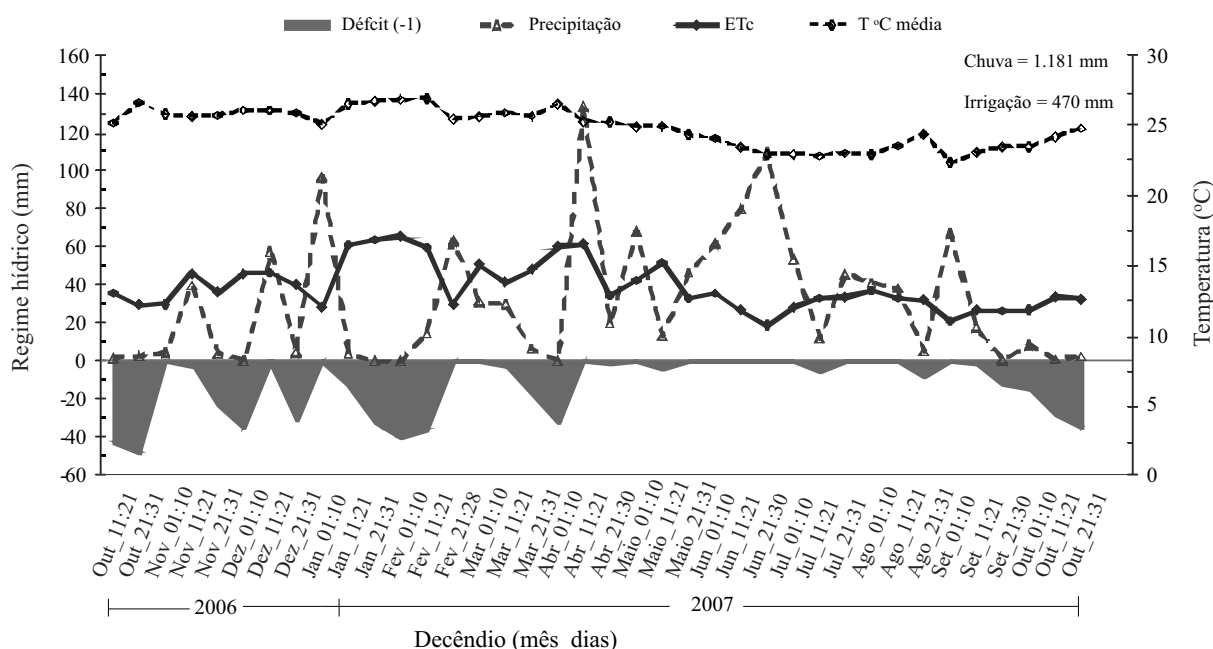


Figura 1 - Balanço hídrico e temperatura média do ar durante a condução do experimento

Tabela 1 - Caracterização química e física do solo

Profundidade m	Análises Químicas									m
	pH H ₂ O	P _{Mehlich} mg dm ⁻³	H+Al	Al	Ca	Mg	K	CTC ⁽¹⁾	V	
			-----cmol _c dm ⁻³ -----						-----%-----	
0,0 - 0,2	5,4	8	6,4	0,2	1,6	1,2	0,07	9,33	31,4	0,3
0,2 - 0,4	5,2	7	6,8	0,5	1,0	0,5	0,05	8,50	20,0	2,7
0,4 - 0,6	5,0	6	6,8	0,7	0,75	0,5	0,03	8,20	17,0	6,1

Profundidade m	Análises Físicas							Textura
	Ds Mg m ⁻³	Areia	Silte	Argila	Θ _{cc}	Θ _{pmp}	L. útil ⁽²⁾ mm	
		g kg ⁻¹			m ⁻³ m ⁻³			
0,0 - 0,2	1,44	769,4	61,4	169,2	0,15	0,083	7,4	Franco arenosa
0,2 - 0,4	1,36	689,4	46,4	264,2	0,21	0,110	9,7	Franco argilo-arenosa
0,4 - 0,6	1,39	661,0	54,8	284,2	0,21	0,140	7,3	Franco argilo-arenosa

⁽¹⁾ Capacidade de troca de cátions potencial; ⁽²⁾ Lâmina útil calculada a partir de 50% da lâmina total

Adotou-se o manejo de irrigação plena até os 300 dias após o plantio (DAP), aplicando-se uma lâmina necessária para suprir a evapotranspiração da cultura (Etc), calculada para atingir até 0,6 m de profundidade (TAB. 1). Paratanto, levou-se em consideração os resultados da capacidade de campo (CC) e do ponto de murcha permanente (PMP) do solo até a respectiva profundidade (TAB. 1), bem como a precipitação e a eficiência do sistema de irrigação utilizado no experimento.

O acúmulo e a alocação dos nutrientes na parte aérea das variedades foram avaliados aos 120; 180; 240; 300 e 360 DAP, conforme a duração das diferentes fases fenológicas da cana-de-açúcar (MACHADO, 1982). Para tanto, foi coletada a parte aérea de oito canas na área útil da parcela experimental. As amostras foram separadas em ponteiro, folha e colmo, sendo o ponteiro constituído do cartucho e da folha +1 (que apresentava o primeiro colarinho visível); para a

componente folha (folha + bainha), consideraram-se as folhas secas e verdes a partir da folha +1; e após a retirada do ponteiro e folhas, o restante foi considerado colmo (FIG. 2).



Figura 2 - Colmos (A), folhas + bainhas (B), folhas secas (C) e ponteiros (D) de plantas de cana-de-açúcar

Os ponteiros, folhas e colmos, após serem separados, foram pesados, determinando-se a massa de matéria fresca total. Em seguida, foram triturados em forrageira e retiradas subamostras para determinação da massa úmida. As subamostras foram submetidas à secagem em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C até peso constante, para obtenção da matéria seca que, após trituração em moinho tipo Willey, promoveu-se a determinação de N, por digestão sulfúrica e destilação; e P, K, Ca e Mg, por digestão nitroperclórica, determinando-se P por colorimetria, K por fotometria de chama e Ca e Mg por espectrofotometria de absorção atômica (MALAVOLTA et al., 1997).

A quantidade dos nutrientes acumulados foi calculada pelo produto da matéria seca total versus o teor do nutriente contido em cada componente da planta e o total extraído de cada nutriente foi o somatório do acumulado nos componentes.

Os dados obtidos foram submetidos à análise da variância, utilizando-se o teste F ao nível de 5% de significância. Para comparar o acúmulo de nutrientes entre os componentes da parte aérea, entre as onze variedades estudadas, utilizou-se o teste de Scott-Knott ao nível de 1% de significância. Foram também realizadas regressões com o acúmulo de nutrientes em cada componente da parte aérea em função do tempo de amostragem (DAP). Nos parâmetros das equações de regressão realizou-se teste t a 5% de significância. O pacote estatístico utilizado foi o SAEG (SAEG, 1999).

Resultados e discussão

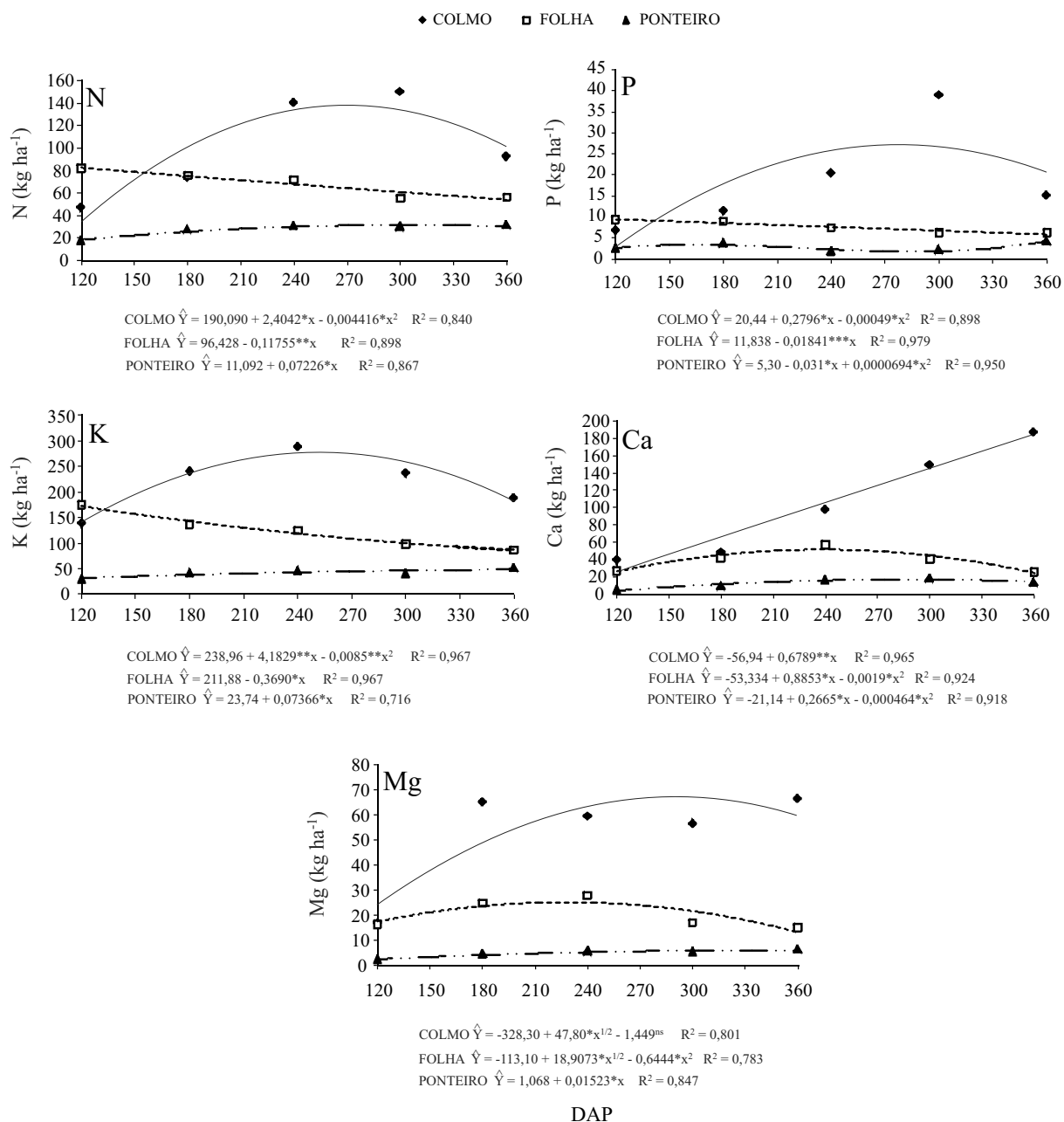
Avaliando-se o acúmulo de nutrientes por componente da parte aérea (colmo, folha e ponteiro) das variedades foi possível constatar alterações nas quantidades de nutrientes acumulados, sendo os maiores acúmulos observados no colmo (FIG. 3).

Aos 120 DAP, o acúmulo dos nutrientes N, P e K foi maior nas folhas, enquanto que a quantidade acumulada de Ca e Mg nesse período se concentrou no colmo (FIG. 3). Possivelmente, isso se deve à quantidade de massa de matéria seca produzida nas folhas até os 120 DAP ser superior a do colmo (SILVA et al., 2008). Adicionalmente, a disponibilidade hídrica promovida pela irrigação e as elevadas temperaturas constatadas durante este período, proporcionaram aumento na atividade metabólica das folhas, concentrando neste componente os nutrientes mais móveis na planta (N, P e K). Por outro lado, o Ca por ser o nutriente responsável pela estruturação da parede celular, apresenta menor mobilidade nas plantas (VITTI et al., 2006), ficando concentrado em componentes de menor atividade metabólica, como o colmo da cana-de-açúcar. Após os 120 DAP, constatou-se uma inversão no acúmulo dos nutrientes N, P e K para o colmo, tendo os dados se ajustado ao modelo curvilíneo quadrático (FIG. 3). Alguns trabalhos (COLETI et al., 2006; MOURA FILHO, 2006; SILVA et al., 2008) mostraram que em cana planta conduzida sem irrigação, a inversão no acúmulo de N, P e K das folhas para o colmo somente ocorreu após 180 DAP, evidenciando que a irrigação associada a altas temperaturas (FIG. 1) colaboraram para a antecipação deste evento nesta pesquisa.

Os dados de acúmulo de nutrientes na folha em função do tempo ajustaram-se ao modelo linear decrescente, com exceção do Ca e do Mg, em que os dados apresentaram modelo quadrático, com os valores máximos observados aos 233 e 216 DAP, respectivamente (FIG. 3).

O menor acúmulo de nutrientes foi observado no componente ponteiro e os dados ajustaram-se ao modelo linear crescente, exceto para P e Ca, cujos dados apresentaram um comportamento quadrático (FIG. 3).

Os ajustes quadráticos obtidos para os dados do acúmulo de N, P, K e Mg no colmo permitiram estimar o máximo acúmulo aos 272; 285; 246 e 272 DAP, respectivamente. No entanto, não foi possível estimar uma quantidade máxima acumulada para Ca no colmo, devido ao ajuste linear apresentado pelos dados, evidenciando que a extração de Ca permaneceu crescente até a colheita, que ocorreu aos 360 DAP (FIG. 3). Pesquisa realizada em condição de sequeiro por Silva et al. (2008) mostrou que o acúmulo de nutrientes no



*** Significant at 1, 5 and 10%, respectively, by the t test

Figura 3 - Extração de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio por componente da parte área de cana-de-açúcar em função do tempo de cultivo em dias após o plantio (DAP)

colmo durante o desenvolvimento vegetativo da cana planta permaneceu crescente até o final do experimento. Do mesmo modo, Barbosa et al. (2002), avaliando o acúmulo de nutrientes pela variedade RB72454, em cultivo de sequeiro, observaram os maiores acúmulos de N e Mg no colmo aos 447 DAP e de P e K aos 370 DAP e, de forma semelhante ao encontrado neste trabalho, o acúmulo de Ca foi crescente até a colheita.

Nesta pesquisa observou-se que a utilização da irrigação plena, aliada às condições edafoclimáticas do local experimental promoveram um desenvolvimento mais acentuado das variedades, antecipando o acúmulo de nutrientes pelo colmo, sugerindo que nestas condições as recomendações de adubação em cobertura de N e, eventualmente de K, sejam realizadas até os 120 DAP da cultura avaliada. Segundo Moura Filho

(2006) estima-se que o perfilhamento máximo em cana planta ocorra até os 120 DAP, seguido de crescimento vegetativo até 300 DAP. Assim, no período do máximo perfilhamento até o máximo crescimento, a disponibilidade de nutrientes é fundamental para uma adequada formação de folhas e colmos.

Avaliando a extração de nutrientes por diferentes variedades de cana-de-açúcar, observou-se que a variedade RB92579 extraiu, em média, 260 kg ha⁻¹ de N, seguida da SP81-3250 e RB867515 com valores de extração entre 241 e 237 kg ha⁻¹ de N, respectivamente (TAB. 2). Estes resultados são superiores aos encontrados por Coleti et al. (2006) na variedade SP81-3250 e Silva et al. (2008) na variedade RB92579, que constataram extrações de 207 e 158 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, quando as variedades foram manejadas sob condição de sequeiro.

De maneira geral, observou-se que o acúmulo de N na parte aérea das variedades foi superior aos 80 kg ha⁻¹ de N incorporados ao solo via fertilizantes. Considerando os resultados encontrados por Oliveira et al. (1999), que constataram uma eficiência da adubação nitrogenada de plantio em torno de 50%,

estima-se que a quantidade efetiva acumulada na parte aérea da cana planta, proveniente do fertilizante, foi de cerca de 40 kg ha⁻¹ de N. Assim, pode-se, também, estimar que o N acumulado nas variedades de cana-de-açúcar, proveniente do fertilizante, considerando os maiores e menores acúmulos, variaram entre 15 e 42%, respectivamente (TAB. 2). Estes resultados corroboram os encontrados por Barbosa et al. (2002) que constataram aproveitamento de 16% do N aplicado via fertilizante em cana planta na variedade RB72454.

Contudo, em condições de colheita sem despalha a fogo, Franco et al. (2008), utilizando a técnica da diluição isotópica do N (¹⁵N-Urêia), mostraram que a eficiência da adubação nitrogenada em cana planta é inferior a 50%, o que levaria a estimativa de contribuição ainda menor do N oriundo do fertilizante para essa pesquisa, evidenciando que, as principais fontes de N para cana planta são a mineralização da matéria orgânica do solo, a fixação do N atmosférico por microrganismos, a absorção de amônia da atmosfera, a absorção de nitrato pelas raízes mais profundas e a palha residual dos ciclos anteriores (AMBROSANO et al., 2005).

Tabela 2 - Extração de nitrogênio, fósforo e potássio por componente da parte aérea em diferentes variedades de cana-de-açúcar

Parte da planta	Variedade											
	SP79 1011	RB81 3804	RB86 3129	RB87 2552	RB94 3365	RB72 454	RB76 3710	SP78 4764	SP81 3250	RB86 7515	RB92 579	Média
-----kg ha ⁻¹ -----												
Nitrogênio												
Colmo	84,8 d	36,3 e	79,9 d	17,7 f	85,1 d	27,1 e	89,7 d	121,8 c	167,7 a	134,9 b	167,4 a	92,0
Folha	8,4 e	31,7 d	63,0 b	32,5 d	61,8 b	76,8 a	47,7 c	49,0 c	22,0 d	77,9 a	65,1 b	38,1
Ponteiro	49,0 a	26,1 b	53,1 a	45,3 a	30,0 b	49,1 a	32,9 b	29,9 b	51,5 a	24,6 b	27,5 b	48,7
Total	142,3 e	94,3 f	196,0 c	95,6 f	177,0 d	153,0 e	170,4 d	200,8 c	241,4 b	237,5 b	260,0 a	179,0
CV (%)	14,5											
Fósforo												
Colmo	14,4 a	19,2 a	18,4 a	17,7 a	9,1 b	11,8 b	16,6 a	14,6 a	15,3 a	9,4 b	16,0 a	14,8
Folha	2,1 c	4,1 c	3,5 c	3,1 c	9,3 a	5,0 c	4,9 c	3,5 c	5,9 b	6,4 b	5,5 b	4,88
Ponteiro	8,1 a	6,5 a	7,3 a	7,1 a	6,1 a	6,3 a	5,7 a	1,8 b	7,1 a	2,7 b	3,6 b	5,70
Total	24,7 a	29,8 a	29,2 a	28,0 a	24,5 a	23,2 b	27,2 a	19,9 b	28,4 a	18,6 b	25,2 a	25,4
CV (%)	27,0											
Potássio												
Colmo	255,9 a	231,7 a	159,7 a	205,9 a	177,9 b	164,6 b	219,2 a	165,4 b	235,2 a	160,1 b	96,8 b	188,4
Folha	59,9 c	47,7 c	71,4 b	49,0 c	137,5 a	123,7 a	90,3 b	84,0 b	86,9 b	79,4 b	69,5 b	81,7
Ponteiro	84,1 a	46,5 b	67,7 a	72,9 a	47,5 b	56,5 b	52,2 b	24,9 c	82,2 a	24,6 c	46,0 b	55,0
Total	400,0 a	326,0 a	299,0 b	328,0 a	363,0 a	344, a	361,9 a	274,4 b	404,4 a	264,2 b	212,5 b	325,3
CV (%)	29,7											

Médias seguidas pela mesma letra na linha, não diferem entre si, pelo teste Scott-Knott a 1% de significância

As variedades SP81-3250 e RB92579 apresentaram maior acúmulo de N no colmo, com valores de alocação de 167 kg ha⁻¹ de N, correspondendo, respectivamente, a 69 e 64% do N acumulado na parte aérea (TAB. 2). As variedades RB872552; RB72454 e RB813804 alocaram menor quantidade de N no colmo, com acúmulos entre 18 e 36 kg ha⁻¹ de N. Em trabalhos realizados sob cultivo de sequeiro (Barbosa et al., 2002; Silva et al., 2008) os valores de acúmulos de N no colmo foram semelhantes aos encontrados nesta pesquisa, porém com menores variações entre as variedades.

Nas folhas, observou-se elevado acúmulo de N nas variedades RB867515; RB72454; RB92579; RB863129 e RB943365, com extrações médias variando de 62 a 78 kg ha⁻¹ de N (TAB. 2). A quantidade de N encontrada no ponteiro das mesmas variedades representa, em média, 52% do N absorvido pela planta, que poderá retornar ao solo e tornar-se disponível em ciclos subsequentes. Entretanto, os resultados obtidos por Vitti et al. (2008) revelaram que apenas 10% do N contido na palhada (folha + ponteiro) (FIG. 2) será utilizado no ciclo posterior da cana-de-açúcar, ou seja, a maior parte deste N abastecerá o estoque do solo, como mostram os estudos conduzidos com palha marcada com ¹⁵N (BASANTA et al., 2003). Assim, considerando os dados obtidos por estes autores, estima-se que cerca de 6 a 8 kg ha⁻¹ do N presente na palhada das variedades dessa pesquisa deverá ser disponibilizado para a cultura no ciclo posterior.

A prática de retirada das folhas com fogo (“despalha”) antes do corte da cana-de-açúcar, ainda adotado no manejo da colheita dos canaviais, principalmente no Nordeste, leva a perdas de 75% do N contido na palhada (BASANTA et al., 2003), devido às perdas por volatilização após a queima. Assim, estima-se que, em média, apenas 12% do N acumulado na parte aérea da cana-de-açúcar durante o ciclo da cultura poderá retornar ao solo. Portanto, para que a fertilidade do solo e a sustentabilidade do sistema solo/planta se mantenha é necessário adotar um programa de reposição de N, aliado com um adequado manejo da matéria orgânica e a fixação biológica de nitrogênio.

Os dados de acúmulo de P nos componentes da parte aérea das variedades de cana-de-açúcar foram estatisticamente diferentes (TAB. 2), evidenciando a formação de dois grupos distintos entre as variedades. O primeiro, com os maiores acúmulos, formado pelas variedades RB813804; RB863129; SP81-3250; RB872552; RB763710; RB92579; SP79-1011 e RB943365, com extrações de 30 a 24 kg ha⁻¹ de P (TAB. 2); e o segundo formado pelas variedades RB867515; SP78-4764 e RB72454 com remoções variando entre 19 e 23 kg ha⁻¹ de

P. Resultados semelhantes foram observados por Oliveira et al., (2002) em cana irrigada, que encontraram extrações entre 22 e 29 kg ha⁻¹ de P nas variedades RB72454 e RB867515, respectivamente. Por outro lado, Barbosa et al. (2002), em condições de sequeiro, encontraram acúmulos entre 39 e 49 kg ha⁻¹ de P nas mesmas variedades.

Quanto à alocação de P, observou-se que as variedades RB813804; RB863129; RB872552; RB763710; RB92579; SP81-3250; SP78-4764 e SP79-1011 acumularam mais P no colmo, com alocações variando entre 14 e 19 kg ha⁻¹ de P, enquanto que as variedades RB943365; RB867515 e RB72454 apresentaram menor acúmulo de P no colmo, com alocações variando entre 9 e 12 kg ha⁻¹ de P (TAB. 2).

A maior alocação de P nas folhas foi verificada na variedade RB943365, seguida das variedades RB867515; SP81-3250 e RB92579, com acúmulos médios de 6,8 kg ha⁻¹ de P. No ponteiro, as menores alocações de P foram observadas nas variedades SP78-4764; RB867515 e RB92579, que alocaram entre 1,8 e 3,6 kg ha⁻¹ de P (TAB. 2). Resultados encontrados por Silva et al. (2008), nas variedades RB867515 e RB92579 cultivadas sem irrigação, mostraram que os acúmulos de P no ponteiro foram, em média, de 8,3 e 8,8 kg ha⁻¹ de P, respectivamente.

Elevada extração de K foi observada nas variedades SP81-3250 e SP79-1011, que acumularam, em média, 402 kg ha⁻¹ de K (TAB. 2). Entretanto, outras variedades extraíram menos de 300 kg ha⁻¹ de K, especificamente as variedades RB92579; RB867515; SP78-4764 e RB863129. Uchôa et al. (2009) estudando respostas à adubação com K em seis variedades de cana-de-açúcar, constataram elevados incrementos de produtividade na variedade RB867515 quando aplicaram 200 kg ha⁻¹ de K. Acúmulos de K observados por Oliveira et al. (2002) em variedades irrigadas foram semelhantes aos observados nesta pesquisa, com extrações de 284 a 429 kg ha⁻¹ de K. Porém, quando conduzidas sem irrigação, as variedades SP79-1011 e RB867515 extraíram menos K, com remoções que variaram entre 177 e 250 kg ha⁻¹ de K, respectivamente (SILVA et al., 2008).

No colmo, as variedades SP79-1011; SP81-3250; RB813804; RB763710; RB872552 e RB863129 acumularam as maiores quantidades de K, variando entre 160 e 256 kg ha⁻¹ de K (TAB. 2). Por outro lado, a RB92579 apresentou a menor alocação de K no colmo (97 kg ha⁻¹ de K).

As maiores alocações de K nas folhas foram observadas nas variedades RB943365 e RB72454 que acumularam, em média, 130 kg ha⁻¹ de K. No ponteiro, as variedades que mais alocaram K foram a SP79-1011,

a SP81-3250 e a RB872552, com extrações variando entre 73 e 84 kg ha⁻¹ de K. Dados obtidos por Silva et al. (2008), em cana cultivada sob condições de sequeiro, mostraram-se inferiores comparativamente aos acúmulos de K na folha encontrados nesta pesquisa, enquanto que as alocações de K no colmo e ponteiro nas duas pesquisas foram semelhantes.

As quantidades de Ca acumuladas na parte aérea da cana-de-açúcar variaram de 186 kg ha⁻¹ de Ca na variedade RB72454 a 305 kg ha⁻¹, respectivamente para as variedades RB72454 e RB92579, apresentando em média acúmulos da ordem de 226 kg ha⁻¹ de Ca (TAB. 3). Oliveira et al. (2002), avaliando a extração de nutrientes em sete variedades de cana-de-açúcar sob cultivo irrigado, constataram remoções inferiores ao do presente trabalho e, em média, obtiveram extrações de 75 kg ha⁻¹ de Ca. Em outros trabalhos, que quantificaram a extração de Ca por variedades conduzidas sem irrigação, os valores obtidos foram, também, inferiores a desta pesquisa. Neles, as remoções de Ca variaram de 25 a 85 kg ha⁻¹ de Ca (BARBOSA et al., 2002; COLETI et al., 2006).

No colmo, as variedades RB863129 e RB92579 acumularam maiores quantidades de Ca, com alocações de 230 e 266 kg ha⁻¹, respectivamente. As demais variedades alocaram, em média, 172 kg ha⁻¹ de Ca no colmo (TAB. 3). Por outro lado, constatou-se que a variedade RB867515 foi a variedade que alocou maiores quantidade de Ca na folha, representando, em média,

22% do Ca extraído pela planta. No ponteiro, a SP81-3250, a SP79-1011 e a RB872552 foram as variedades que apresentaram as maiores alocações de Ca nesse componente da parte aérea (TAB. 3).

Os valores de Ca acumulados foram superiores aos de N (TAB. 2 e 3). De um modo geral, os resultados de pesquisas com extração e alocação de nutrientes em cana-de-açúcar, tanto em condições de sequeiro, como sob manejo de irrigação, não constataram este comportamento (BARBOSA et al., 2002; COLETI et al., 2006; OLIVEIRA et al., 2002; SILVA et al., 2008). Isto decorre, possivelmente, da utilização do calcário que promoveu aumento no teor de Ca disponível às plantas.

As variedades RB943365; SP81-3250 e RB92579 apresentaram maiores acúmulos de Mg na parte aérea, com extrações de 96; 99 e 122 kg ha⁻¹ de Mg, respectivamente; enquanto a SP79-1011 apresentou o menor acúmulo (55 kg ha⁻¹ de Mg). As demais variedades não apresentaram diferenças significativas e extraíram, em média, 73 kg ha⁻¹ de Mg (TAB. 3). De forma semelhante, Silva et al. (2008), avaliando sete variedades de cana-de-açúcar no Estado de Alagoas, observaram que a variedade RB92579 extraiu maior quantidade de Mg quando comparada à SP79-1011.

As variedades SP79-1011 e RB92579 alocaram no colmo 40 e 99 kg ha⁻¹ de Mg, respectivamente. As demais variedades acumularam entre 57 e 75 kg ha⁻¹ de Mg (TAB. 3). Nas folhas, as variedades RB943365; RB72454 e RB867515 alocaram, em média, 20 kg ha⁻¹

Tabela 3 - Extração de cálcio e magnésio por componente da parte aérea em diferentes variedades de cana-de-açúcar

Parte da planta	Variedade											
	SP79 1011	RB81 3804	RB86 3129	RB87 2552	RB94 3365	RB72 454	RB76 3710	SP78 4764	SP81 3250	RB86 7515	RB92 579	Média
-----kg ha ⁻¹ -----												
Cálcio												
Colmo	201,1 b	159,7 b	229,9 a	173,5 b	192,7 b	148,8 b	160,0 b	174,3 b	168,3 b	180,4 b	265,6 a	186,7
Folha	12,0 c	14,3 c	16,6 c	14,2 c	31,4 b	18,3 c	21,2 c	29,7 b	29,8 b	52,5 a	29,5 b	24,53
Ponteiro	23,3 a	18,4 b	17,6 b	22,1 a	6,9 d	18,8 b	12,9 b	4,9 d	26,6 a	4,6 d	10,3 c	15,18
Total	236,5 b	192,6 b	264,1 a	209,9 b	231,0 b	185,9 b	194,2 b	208,9 b	224,8 b	237,6 b	305,5 a	226,5
CV (%)	26,5											
Magnésio												
Colmo	40,4 c	57,1 b	65,7 b	64,5 b	67,9 b	60,8 b	63,0 b	62,1 b	75,1 b	69,9 b	99,0 a	66,0
Folha	5,7 d	16,0 c	8,7 d	10,9 c	21,8 a	19,3 a	15,3 b	16,0 b	13,3 c	18,3 a	16,6 b	14,2
Ponteiro	9,1 a	7,4 b	7,4 b	7,1 b	5,8	7,2 b	6,4 b	4,0 c	10,8 a	1,7 c	6,1 b	6,70
Total	55,3 d	74,3 c	81,9 c	82,6 c	95,7 b	87,4 c	84,9 c	82,2 c	99,4 b	90,0 c	121,8 a	86,91
CV (%)	23,0											

Médias seguidas pela mesma letra na linha, não diferem entre si, pelo teste Scott-Knott a 1%

de Mg e se destacaram na alocação desse nutriente. No ponteiro a variedade SP81-3250 e a SP79-1011 extraíram, em média, 10 kg ha⁻¹ de Mg. Moura Filho (2006), avaliando extração de nutrientes por quatro variedades de cana-de-açúcar em regime irrigado, observou que a SP79-1011 alocou na folha e ponteiro 4,3 kg ha⁻¹ de Mg.

Conclusões

1. O acúmulo máximo de N, P e K no colmo ocorreu nas fases fenológicas iniciais, indicando que a adubação de cobertura em condições de cultivo irrigado deve ser realizada antes do período convencionalmente recomendado;
2. O Ca se acumulou mais do que N nas plantas de cana-de-açúcar, indicando que a absorção do Ca é mais favorecida pela umidade do solo;
3. As variedades RB92579 e SP81-3250 mostraram-se mais exigentes em nutrientes, sendo recomendadas para áreas irrigadas e para ambientes de produção com alta capacidade produtiva;
4. As variedades RB867515 e RB943365 alocaram maiores quantidades de nutrientes na folha, caracterizando-as como variedades de maior capacidade de ciclagem de nutrientes no solo.

Referências

- AMBROSANO, E. J. *et al.* Utilization of nitrogen from green manure and mineral fertilizer by sugarcane. **Scientia Agrícola**, v. 62, n. 06, p. 534-542, 2005.
- BARBOSA, M. H. P. *et al.* Acúmulo e alocação de nutrientes pela RB72454 no ciclo da cana planta. *In*: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL - STAB, 8., 2002, Recife. **Anais...** Recife: STAB, 2002. p. 264- 267.
- BASANTA, M. V. *et al.* Management effects on nitrogen recovery in a sugarcane crop grown in Brazil. **Geoderma**, v. 116, n. 01, p. 235-248, 2003.
- COLETI, J. T. *et al.* Remoção de macronutrientes pela cana planta e cana soca, em argissolos, variedades RB83486 e SP81-3250. **Revista STAB**, v. 24, n. 05, p. 32-36, 2006.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Centro Nacional de Pesquisa Agropecuária de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: Embrapa, 2006. 306 p.
- EMPRESA PERNAMBUCADA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (IPA). **Recomendações de Adubação para o Estado de Pernambuco**. Recife: IPA, 2008. 98 p.
- FRANCO, H. C. J. *et al.* Acúmulo de macronutrientes em cana-de-açúcar em função da adubação nitrogenada e dos resíduos culturais incorporados ao solo no plantio. **Bragantia**, v. 66, n. 04, p. 669-674, 2007.
- FRANCO, H. C. J. *et al.* Aproveitamento pela cana-de-açúcar da adubação nitrogenada de plantio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2763-2770, 2008.
- MACHADO, E. C. Índices biométricos de duas cultivares de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 17, p. 1323-1329, 1982.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional de plantas**. Piracicaba: Potafos, 1997. 319 p.
- MOURA FILHO, G. Crescimento e absorção de nutrientes em quatro variedades de cana-de-açúcar. *In*: Seminário Alagoano sobre Variedades de Cana-de-açúcar. 16., 2006. Maceió, **Anais ...** Maceió: STAB. 1 CD-ROM.
- OLIVEIRA, M. W. *et al.* Avaliação de sete variedades de cana-de-açúcar sob irrigação complementar. *In*: Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas. 15., 2002. Rio de Janeiro, **Anais...** Rio de Janeiro: SBCS. 1 CD-ROM.
- OLIVEIRA, M. W. *et al.* Decomposição e liberação de nutrientes da palhada de cana-de-açúcar em campo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 12, p. 2359-2362, 1999.
- PRADO, R. de M; FERNADES, F. M; NATALE, W. Calcário e Escória siderúrgica, avaliados por análise foliar, acúmulo e exportação de macronutrientes em cana-de-açúcar. **Scientia Agrícola**, v. 59, n. 01, p. 129-135, 2002.
- REIS JUNIOR., R. A; MONNERAT, P. H. Diagnose nutricional da cana-de-açúcar em Campos dos Goytacazes (RJ). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 367-372, 2002.
- SANTOS, V. R. *et al.* Crescimento e produtividade agrícola de cana-de-açúcar em diferentes fontes de fósforo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 04, p. 389-396, 2009.
- SEDIYAMA, M. A. N. *et al.* Produtividade e exportação de nutrientes por rizomas de taro cultivado com resíduos orgânicos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 04, n. 04, p. 421-425, 2009.
- SILVA, L. C. *et al.* Acúmulo e eficiência de potássio em sete cultivares de cana-de-açúcar na Região de Cururipe-AL. *In*: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 9., 2008. Maceió, **Anais...** Maceió: STAB, 2008. p. 244-248.
- SIMÕES NETO, D. E. *et al.* Extração de fósforo em solos cultivados com cana-de-açúcar e suas relações com a capacidade tampão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, p. 840-848, 2009. Suplemento.
- SISTEMA PARA ANÁLISES ESTATÍSTICAS (SAEG). **Análises estatísticas**. Viçosa: Fundação Arthur Bernardes, 1999. 207 p.

SOUZA, Z. M.; JÚNIOR, J. M.; PEREIRA, G. T. Geoestatística e atributos do solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, v. 40, n. 01, p. 48-56, 2009.

TRIVELIN, P. C. O. *et al.* Utilização de nitrogênio e produtividade da cana-de-açúcar (cana-planta) em solo arenoso com incorporação de resíduos da cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 03, p. 637-646, 2002.

UCHÔA, S. C. P. *et al.* Resposta de seis variedades de cana-de-açúcar às doses de potássio em ecossistema de cerrado

de Roraima. **Revista Ciência Agronômica**, v. 40, n. 04, p. 505-513, 2009.

VITTI, G. C. *et al.* Mineralização da palhada e crescimento de raízes de cana-de-açúcar relacionados com a adubação nitrogenada de plantio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2757-2762, 2008.

VITTI, G. C.; LIMA, E.; CICARONE, F. Cálcio, magnésio e enxofre. *In*: FERNANDES, M. S. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 115-152.