

## **Dosis y época de aplicación de nitrógeno en el rendimiento del sorgo (*Sorghum Bicolor* L. Moench)**

<sup>1</sup> Bárbara Campos Ferreira, <sup>2</sup> Lucélia Alves Ramos, <sup>1</sup> Bruno Nicchio, <sup>3</sup> Gustavo Alves Santos, <sup>1</sup> Hamilton Seron Pereira, <sup>1</sup> Gaspar Henrique Korndörfer, <sup>4</sup> Rafael Gomez Arrieta, <sup>3</sup> Camila de Andrade Carvalho

<sup>1</sup> Universidade Federal de Uberlândia, Rodovia BR 050, KM 78, *Campus* Glória - Bloco CCG - Sala 1C 206, CEP 38410-337, Uberlândia, MG, Brasil. E-mails: barbaracampos11@hotmail.com, bruno\_nicchio@hotmail.com, hspereira@ufu.br, ghk@uber.com.br

<sup>2</sup> Microgeo, Condomínio Industrial Duas Barras, via prefeito jurandir paixão de campos Freire, N 12100, Condomínio Industrial Duas Barras, 178, Jardim Colinas de São João, CEP 13481-178, Limeira, SP, Brasil. E-mail: luceliaar@hotmail.com

<sup>3</sup> KP Consultoria, Rua Fernando Costa, N 177, Apto 602, Maracana, CEP 38.400-234, Uberlandia, MG, Brasil. E-mails: asgustavo@yahoo.com.br, camila\_carvalho03@hotmail.com

<sup>4</sup> Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Avenida Pádua Dias, N 11, CEP 13418-900, Piracicaba, SP, Brasil. E-mail: rgomezarr@gmail.com

**Resumen:** En los últimos años, el sorgo (*Sorghum bicolor* L, Moench) ha sido un cultivo con potencial para la producción de azúcar y biocombustibles. El rendimiento del sorgo es influenciado por la fertilización nitrogenada y el fraccionamiento del nitrógeno (N) puede aumentar la eficiencia del elemento, favoreciendo su absorción y reduciendo las pérdidas de N. El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de diferentes dosis y época de aplicación de N en el rendimiento de dos híbridos de sorgo. Se realizaron dos experimentos en dos regiones productoras de caña de azúcar (Tupaciguara y Uberlândia) en el estado de Minas Gerais, Brasil. Los experimentos fueron establecidos en diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones y en esquema factorial 2 (híbridos) x 3 (fraccionamientos de la fertilización nitrogenada). Se evaluaron la productividad de biomasa, azúcar total recuperado (ATR), contenido foliar de N y contenido de N de la parte aérea. La aplicación de N siguiendo la recomendación de 1/3 (20 kg ha<sup>-1</sup> de N) en la siembra y 2/3 (70 kg ha<sup>-1</sup> de N) a los 30 días después de la siembra es la más eficiente en incrementar la productividad de sorgo biomasa y sacarino. El fraccionamiento de las dosis de N no interfiere en el ATR ni en el N foliar de ambos híbridos de sorgo para las dos regiones y el sorgo sacarino presentó menos ATR aunque fue más eficiente en la absorción de N.

**Palabras clave:** Fertilización Nitrogenada, Productividad, Sorgo

## **Rate and time application of nitrogen in sorghum production system (*Sorghum Bicolor* L. Moench)**

**Abstract:** In recent years, sorghum (*Sorghum Bicolor* L. Moench) has been a crop with production of sugar and biofuels potential. The performance of sorghum is influenced by nitrogen fertilization. Nitrogen (N) fractionation can increase the efficiency of the element favoring its absorption and reducing N losses. The objective of this study was to evaluate the effect of different rates and time application of N on the yield of two sorghum hybrids. Two experiments were conducted in two sugarcane-producing regions (Tupaciguara and Uberlândia) in Minas Gerais, Brazil. The experiments were performed in randomized complete block design with four repetitions and in factorial scheme 2 (hybrids) x 3 (fractionations of nitrogen fertilization). Biomass productivity, total recoverable sugar (TRS), foliar and aerial N content was evaluated. The application of N following the recommendation of 1/3 (20 kg ha<sup>-1</sup> of N) in planting and 2/3 (70 kg ha<sup>-1</sup> of N) 30 days after planting is the most efficient in increasing the productivity of biomass sorghum and saccharin.

The fractionation of N rates does not interfere with the TRS or foliar N for both sorghum hybrids in the regions studied as well as saccharin sorghum presented less TRS although it was more efficient at N absorption.

**Key words:** Nitrogen Fertilization, Productivity, Sorghum.

## Introducción

Con la creciente emisión de gases con efecto invernadero y la constante disminución de las reservas del petróleo, el empleo de energías renovables de origen vegetal es relevante. El cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) se destaca al generar los principales productos de energías limpias, pero otras especies como el sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) también han mostrado su utilidad (Lanaudie et al., 2016 & Gabriel et al., 2016).

El sorgo es una especie de origen africano, siendo que todos los híbridos (forrajero, granífero, biomasa y sacarino) presentan amplia adaptabilidad a ambientes de estrés abiótico por temperatura y humedad del suelo (Horvathy et al., 2014). Además, es una especie precoz de porte alto que produce gran cantidad de masa fresca y tallos con elevados contenidos de azúcares fermentables. Usado principalmente en la producción de ración animal, el sorgo puede ser empleado como una matriz bioenergética económicamente viable para producción de etanol y biomasa (Dayakar Rao et al., 2004, Thawaro et al., 2017). En Brasil, la mayor parte del sorgo es cultivado en la entre-zafra, lo cual evita el corte anticipado de la caña de azúcar y permite el aumento de la eficiencia de producción de los ingenios (Masson et al., 2015). Por tal razón, el sorgo puede sustituir en parte a la caña de azúcar en la producción de etanol (Zhang & Li, 2016).

La fertilización influye fuertemente la calidad en la producción de gramíneas y el nitrógeno (N) que es el elemento más exigido (Chakwizira et al., 2015). El N aumenta la eficiencia fermentativa del sorgo, así como la supervivencia de las células de levadura y, consecuentemente, genera una mayor producción de etanol (Santos et al., 2015).

En la fertilización nitrogenada, se sabe que el N está sujeto a grandes pérdidas al ser aplicado en el suelo. Menos del 50% del N aplicado al suelo es aprovechado por las plantas, puesto que este elemento se pierde principalmente por lixiviación en la forma de nitrato, volatilización de amonio y emisión de N<sub>2</sub>,

N<sub>2</sub>O y otros óxidos de N (Rochette et al., 2013 & Torres et al., 2014).

Para el sorgo, se recomienda la aplicación fraccionada de N en dos épocas, proporcionando una parte en la siembra para suplir a la planta en los primeros estadios de desarrollo y el resto después de la emergencia. Resultados experimentales con el sorgo granífero evidenciaron la necesidad de adicionar de 20 a 30 kg ha<sup>-1</sup> de N en la siembra y, posteriormente, 40 kg ha<sup>-1</sup> de N (Embrapa, 2008). Así, se espera que con el manejo adecuado de la fertilización nitrogenada se incremente significativamente la productividad del sorgo y disminuya las pérdidas de N aplicado al suelo.

Como los estudios encontrados sobre sorgo se enfatizan en los híbridos granífero y sorgo para ensilaje es relevante estudiar el efecto de la fertilización nitrogenada en la nutrición y la exportación del N en los híbridos de sorgo biomasa y sacarino. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar el fraccionamiento de la fertilización nitrogenada en el rendimiento agronómico de los híbridos de sorgo sacarino y biomasa.

## Materiales y métodos

Fueron establecidos dos experimentos en dos regiones productoras de caña de azúcar, el primero en Uberlândia, Minas Gerais (19° 14' 36" S y 48° 23' 48" W) y el segundo en Tupaciguara, Minas Gerais (18° 41' 18" S y 48° 39' 24" W). En noviembre del 2013, los experimentos fueron instalados en bloques completos al azar con cuatro repeticiones y en esquema factorial 2 x 3, compuesto de dos híbridos (sacarino y biomasa) y tres fraccionamientos de N.

### Delineamiento experimental y tratamientos usados

Los fraccionamientos consistieron en aplicaciones de N en diferentes dosis, una en la siembra (base) y la segunda a los 30 días después de la siembra (DDS). La fertilización nitrogenada de base fue aplicada mecánicamente (5 cm bajo la semilla) en la línea de siembra y la

segunda fertilización se aplicó manualmente al voleo al lado de la línea de cultivo (Tabla 1).

**Tabla 1** - Épocas de aplicación de N e híbridos de sorgo utilizados en ambos experimentos.

Híbrido	Dosis de N (kg ha <sup>-1</sup> )		
	Siembra	30 DDS	TOTAL
Uberlândia			
Biomasa (CB7520)	30	60	90
	45	45	90
	90	0	90
Sacarino (CB7290)	30	60	90
	45	45	90
	90	0	90
Tupaciguara			
Biomasa (CB7520)	20	70	90
	45	45	90
	90	0	90
Sacarino (CB7290)	20	70	90
	45	45	90
	90	0	90

Fueron sembradas 18 y 14 semillas m<sup>-1</sup> de los híbridos biomasa (CB 7520) y sacarino (CB 7290), respectivamente. Las parcelas se constituyeron de ocho líneas espaciadas a 0,65 m y de 10 m de largo.

Experimento I - Uberlândia: El área provenía de pastos, por lo cual se realizó incorporación con arado de vertedera. Se aplicaron 5000 kg ha<sup>-1</sup> de calcáreo dolomítico y

1000 kg ha<sup>-1</sup> de yeso agrícola con el fin de aumentar la CIC, los niveles de Calcio, Magnesio y Azufre del suelo (Tabla 2). En la siembra, se aplicaron 500 kg ha<sup>-1</sup> de fertilizante grado 6-30-10 + 1 % de Mn + 0,8 % de Zn. En la aplicación de N a los 30 DDS se utilizó nitrato de amonio NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> (34% de N), en las dosis equivalentes a cada tratamiento (Tabla 1).

**Tabla 2** - Caracterización química de los suelos donde se instalaron los experimentos (Uberlândia y Tupaciguara, Minas Gerais, Brasil).

Región	pH	P	K	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	T	V	M.O
		----mg dm <sup>-3</sup> ----		-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----			---dag dm <sup>-3</sup> ----	
Uberlândia	6,2	1,1	30	1,4	0,7	3,5	60	2,8
Tupaciguara	6,1	7,2	344	2,9	1,4	7,3	71	4,8

pH en H<sub>2</sub>O; P y K: HCl (0,05 mol L<sup>-1</sup>) + (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,0125 mol L<sup>-1</sup>); Ca y Mg: KCl (1,0 mol L<sup>-1</sup>); T: CIC a pH 7,0; V: Saturación por bases; M.O: Por Método Colorimétrico (Embrapa, 1997).

Experimento II - Tupaciguara: El área cultivada provenía de caña de azúcar por lo cual antes de instalar el experimento se realizó desecación con glifosato a  $5,0 \text{ L ha}^{-1}$  y destrucción de la soca mecánicamente. Posteriormente, se incorporó la paja al suelo y se aplicaron  $1000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  de vinaza, lo que aportó  $405 \text{ kg ha}^{-1}$  de N y  $2750 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ . El suelo del área experimental presentó las características químicas mostradas en el Tabla 2. En la siembra se aplicaron  $20 \text{ kg ha}^{-1}$  de N ( $70 \text{ kg}$  de  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) y  $140 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  ( $330 \text{ kg}$  de Superfosfato Triple). La segunda aplicación de N fue realizada a los 30 DDS con nitrato de amonio y en la tabla 1 podemos encontrar las dosis de cada tratamiento.

En ambos experimentos a los 50 DDS se realizó el muestreo de hojas de 30 plantas por parcela, las cuales se colectaron en cada línea del área útil de las parcelas, conforme Cantarella et al. (1996). Así, fueron recogidas hojas completamente expandidas presentes en el tercio medio de la planta, sin nervadura central. En seguida, las muestras fueron molidas y sometidas a la digestión sulfúrica según la metodología descrita por Kjeldahl (Malavolta et al., 1997) para determinar el contenido de N foliar.

La cosecha se realizó a los 159 DDS se cortaron manualmente las plantas de seis metros de las dos líneas centrales de cada parcela. Para la determinación de la productividad de biomasa, todas las plantas cosechadas fueron contadas y pesadas. Los resultados se extrapolaron para valores de producción en  $\text{t ha}^{-1}$ .

Se recolectaron tres plantas por parcela para el análisis químico. Las muestras fueron acondicionadas en bolsas de papel y sometidas al secado en una estufa de circulación forzada de aire a  $65^\circ \text{C}$  por 72 horas. Después de secas, las plantas fueron pesadas en balanza de precisión para la determinación del peso de la materia seca y, nuevamente, molidas y sometidas a la digestión sulfúrica para la determinación del contenido de N de la parte aérea.

También se realizó en el momento de la cosecha, un muestreo aleatorio de doce plantas para los análisis tecnológicos y la determinación la calidad de Azúcar Total Recuperado (ATR) según la metodología descrita por Tanimoto (1964).

#### **Análisis de datos**

El análisis de varianza se realizó con el programa estadístico SISVAR 5.3 (Ferreira, 2014). Cuando se presentaron diferencias significativas del test F ( $p < 0,05$ ), las medias se

compararon entre sí por la prueba del test de Tukey ( $p < 0,10$ ).

### **Resultados y discusión**

La productividad de materia fresca varió de  $44,1$  a  $45,6 \text{ t ha}^{-1}$  en el cultivo en la región de Uberlândia sin diferencia estadística y de  $58,2$  a  $62,0 \text{ t ha}^{-1}$  en Tupaciguara con diferencia estadística entre tratamientos (Tabla 3). Según Rosa (2016), la productividad de materia fresca de los híbridos de sorgo puede llegar hasta  $60 \text{ t ha}^{-1}$ , sin embargo, la mayoría de los valores obtenidos fueron menores.

Como se informó anteriormente, en la región de Tupaciguara el tratamiento de  $20 \text{ kg ha}^{-1}$  de N en la siembra y  $70 \text{ kg ha}^{-1}$  de N en la segunda aplicación presentó productividad mayor en los dos híbridos ( $67 \text{ t ha}^{-1}$ ). Este resultado va de acuerdo con la hipótesis de que la dosis recomendada para el cultivo del sorgo granífero también es eficiente para los cultivos del sorgo sacarino y biomasa. Este hecho está asociado al mejor aprovechamiento del N por las plantas, una vez que las pérdidas del nutriente tienden a reducirse con el fraccionamiento de su aplicación. Además, estos resultados indican que la aplicación de la mayor parte de la dosis tardía de N es favorable para el cultivo de estos híbridos, ya que en este caso las plantas hicieron un mejor uso del N aplicado en su etapa vegetativa completa, lo que proporcionó mayores resultados de masa seca.

Teixeira et al. (1999) resaltan la importancia de la fertilización nitrogenada al evaluar su aplicación en el sorgo de sacarina (BR 505), donde en ausencia de fertilización de cobertura, hubo una reducción en la producción en masa verde de plantas. Ya con la aplicación de N, hubo un aumento en la masa verde, hasta un punto máximo ( $95 \text{ kg ha}^{-1}$  de N) a partir del cual los valores disminuyen.

No hubo diferencias estadísticas en el rendimiento entre los híbridos (Tabla 3), pero se puede observar que el híbrido de biomasa presentó valores numéricos más altos de masa seca. Esto indica el comportamiento de este híbrido al acumular más biomasa en comparación con el sorgo de sacarina, que presenta un mayor comportamiento en la acumulación de azúcar. Según Lara, et al. (2018), la productividad puede reflejar positivamente en la producción de caldo. Sin embargo, el contenido de azúcar en el jugo y, en consecuencia, la conversión a etanol depende

del cultivar, los factores ambientales, el tiempo de cosecha, la eficiencia del transporte y los

procesos de conversión industrial.

**Tabla 3** - Productividad de materia fresca de híbridos de sorgo en diferentes fraccionamientos de fertilización nitrogenada.

Fraccionamiento de N	Híbrido		Media
	CB7520 (Biomasa)	CB7290 (Sacarino)	
Uberlândia - MG			
kg ha <sup>-1</sup>	----- t ha <sup>-1</sup> -----		
30 + 60	46,6	47,4	47,0 A
45 + 45	43,7	44,9	44,3 A
90 + 0	42,0	44,5	43,3 A
Media	44,1 a	45,6 a	
DMS <sub>Híbrido</sub> : 4,6; DMS <sub>Dosis</sub> : 7,1; CV (%): 14,3.			
Tupaciguara - MG			
kg ha <sup>-1</sup>	----- t ha <sup>-1</sup> -----		
20 + 70	69,3	64,7	67,0 A
45 + 45	55,7	54,1	54,9 B
90 + 0	61,2	55,9	58,5 AB
Media	62,0 a	58,2 a	
DMS <sub>Híbrido</sub> : 6,9; DMS <sub>Dosis</sub> : 10,8; CV (%): 16,1.			

Medias seguidas por letras distintas, minúsculas en la línea y mayúsculas en la columna, son diferentes entre sí por la prueba de Tukey a 0,10 de significancia. DMS: diferencia mínima significativa; CV: coeficiente de variación.

Resultados semejantes fueron obtenidos por Ramos (2014), que observó mayor productividad de tallos y de rendimiento de etanol, con la aplicación de 20 kg ha<sup>-1</sup> de N en la siembra y 100 kg ha<sup>-1</sup> en estadio V4 - V5 en híbridos de sorgo sacarino. Kravtsov (2004) encontró que con la aplicación fraccionada de N (60 kg ha<sup>-1</sup> en la siembra y 20 o 40 kg ha<sup>-1</sup> en el aporque) se obtiene mayor productividad comparado con la aplicación total de N en la siembra. Lara, et al. (2018) observado incrementos en la masa seca del sorgo sacarino (BRS 511) y el rendimiento de etanol con la aplicación de N hasta 120 kg ha<sup>-1</sup>.

Debido a las condiciones climáticas desfavorables en la región de Uberlândia, por la ocurrencia de un periodo de sequía durante la conducción de experimento, no se observó efecto del fraccionamiento del N en la productividad del

sorgo. Silva, et al. (2003) evaluaron el efecto del fraccionamiento del N en el cultivo de sorgo granífero, no encontrando diferencias entre las dosis de N aplicadas independientemente del fraccionamiento y de la época de aplicación. Gabriel et al. (2016) al evaluar la aplicación de las tasas de N (0, 45, 90, 135 y 180 kg ha<sup>-1</sup>) en el cultivo de sorgo sacarino (SF-15) en zona con o sin crotalaria, no se observó influencia estadística de las dosis para la producción en masa seca que varió de 15,9 a 21,3 t ha<sup>-1</sup> en el sur de Roraima. Pero en el área sin abono verde (crotalaria), el rendimiento fue mayor, posiblemente porque la aplicación de N a través de la urea fue más eficiente en lugares sin cobertura vegetal.

En relación a los contenidos de N foliar y N de la parte aérea de sorgo en ambos experimentos, no se observó influencia del

fraccionamiento del N (Tabla 4). Los contenidos de N foliar encontrados para la región de Tupaciguara variaron entre 31,3 y 34,3 g kg<sup>-1</sup> y entre 23,5 y 26,3 g kg<sup>-1</sup> para el experimento de

Uberlândia, concordando con Cantarella et al. (1996) donde estimaron que el rango adecuado de N foliar es de 25-35 g kg<sup>-1</sup> para el sorgo granífero.

**Tabla 4** - Nitrógeno foliar y de la parte aérea en dos híbridos de sorgo en diferentes fraccionamientos de fertilización nitrogenada.

Dosis de N	Hibrido					
	CB752	CB7290	Media	CB7520	CB7290	Media
	0			N parte aérea		
	N foliar					
Uberlândia- MG						
kg ha <sup>-1</sup>	-----g kg <sup>-1</sup> -----					
30 + 60	24	26	25 A	4,6	6,2	5,4 A
45 + 45	26	26	26 A	5,4	5,6	5,5 A
90 + 0	23	25	24 A	5,3	5,6	5,4 A
Media	24,4 a	25,7 a		5,2 a	5,7 a	
N foliar - DMS <sub>Hibrido</sub> : 1,5; DMS <sub>Dose</sub> : 2,4; CV: 8,7%. N parte aérea - DMS <sub>Hibrido</sub> : 1,2; DMS <sub>Dose</sub> : 1,9; CV: 30,9%						
Tupaciguara - MG						
kg ha <sup>-1</sup>	-----g kg <sup>-1</sup> -----					
20 + 70	32	34	32 A	8,7 a	7,8 a	8,3 A
45 + 45	33	34	33 A	7,0 b	8,7 a	7,9 A
90 + 0	31	33	34 A	9,5 a	7,8 b	8,6 A
Media	32,0 b	33,8 a		8,4	8,1	
N foliar - DMS <sub>Hibrido</sub> : 1,2; DMS <sub>Dose</sub> : 1,8; CV (%): 5,1 N parte aérea - DMS <sub>Hibrido</sub> : 0,9; DMS <sub>Dose</sub> : 1,3; CV (%): 14,5						

Medias seguidas por las mismas letras, minúsculas en la línea y mayúsculas en la columna, no difieren entre sí por la prueba de Tukey a 0,10 de significancia. DMS: diferencia mínima significativa; CV: coeficiente de variación.

En relación a los híbridos, para el experimento en Tupaciguara, los contenidos de N fueron mayores en el sorgo sacarino (33,8 g kg<sup>-1</sup>) (Tabla 4). Los fraccionamientos de 45 + 45 kg ha<sup>-1</sup> y de 20 + 70 kg ha<sup>-1</sup> de N, proporcionaron mayor contenido de N en la parte aérea del híbrido sacarino. En el sorgo para biomasa, el mayor contenido de N fue observado con la aplicación de la totalidad del N en la siembra y con el fraccionamiento 20 + 70 kg ha<sup>-1</sup> de N. Ramos (2014) observó en cultivares de sorgo sacarino, que la aplicación de 120 kg ha<sup>-1</sup> de N en el momento de la siembra proporcionó mayores

valores de N foliar que el aplicado en V4 -V5. Los mismos autores también observaron que los cultivares de sorgo presentaron comportamientos diferentes para las concentraciones de N, el acumulo del nutriente en la materia seca de los tallos, hojas y panículas varían en función de la estrategia de aplicación del N. Gabriel et al. (2016) observó una mayor acumulación de N en la masa seca de sorgo sacarino (SF-15) a la tasa de N más alta aplicada (180 kg ha<sup>-1</sup>).

Los valores de Azúcar Total Recuperado (ATR) obtenidos en ambos experimentos pueden ser observados en la Tabla 5. La variación en la

distribución del N en los dos municipios no afectó el valor de ATR de los híbridos, siendo la variación de ATR en el ensayo de Uberlândia de 24,3 a 28,6 y 49,8 a 55,4 kg t<sup>-1</sup> en la región de Tupaciguara (Tabla 5). Este resultado diverge de lo encontrado por Ramos (2014), donde indicó que las estrategias de fraccionamiento de N

proporcionaron mejores valores de ATR para cultivares de sorgo sacarino. Lara, et al. (2018) también se encontró un mejor contenido de Brix, contenido de sacarosa y ATR con la aplicación en cubierta de N hasta 120 kg ha<sup>-1</sup> en sorgo sacarino (BRS 511).

**Tabla 5** - Azúcar Total Recuperado (ATR) en dos híbridos de sorgo en diferentes fraccionamientos de fertilización nitrogenada.

Fraccionamiento de N	Híbrido		Media
	CB7520 (Biomasa)	CB7290 (Sacarino)	
Uberlândia – MG			
kg ha <sup>-1</sup>	kg t <sup>-1</sup>		
30 + 60	47,5	52,0	49,8 A
45 + 45	49,9	51,8	50,9 A
90 + 0	51,3	59,5	55,4 A
Media	49,6 a	54,4 a	
DMS <sub>Híbrido</sub> : 5,6; DMS <sub>Dosis</sub> : 8,7; CV (%): 15,0.			
Tupaciguara - MG			
kg ha <sup>-1</sup>	kg t <sup>-1</sup>		
20 + 70	32,2	22,5	27,3 A
45 + 45	30,2	26,9	28,9 A
90 + 0	25,8	22,9	24,3 A
Media	29,4 a	24,1 b	
DMS <sub>Híbrido</sub> : 4,6; DMS <sub>Dosis</sub> : 7,2; CV (%): 24,1.			

Medias seguidas por las mismas letras, minúsculas en la línea y mayúsculas en la columna, no difieren entre sí por la prueba de Tukey a 0,10 de significancia. DMS: diferencia mínima significativa; CV: coeficiente de variación.

Al comparar los híbridos sacarino y biomasa, se evidenció mayor valor de ATR (29,4 kg t<sup>-1</sup>) en el híbrido biomasa que en el híbrido sacarino en la región de Tupaciguara. Silveira y Crocomo (1990), constataron la disminución en el contenido de sacarosa en plantas que se presentan alta concentración de N foliar. La reducción de ATR en el sorgo sacarino en comparación con el sorgo biomasa puede justificarse porque la fertilización nitrogenada está asociada a un mayor crecimiento vegetativo en las plantas, presentando mayor contenido de

agua en los tallos y reduciendo la sacarosa de los mismos (Rhein et al., 2016). Según Vitti et al. (2007), con la aplicación de fertilizantes nitrogenados hay disminución de los contenidos de sacarosa en la savia y perjuicio en la pureza del producto final de la caña de azúcar. En este sentido, el uso de fertilizantes nitrogenados promueve menor almacenamiento de azúcar, ya que induce a la planta a vegetar más porque los esqueletos de carbono son consumidos rápidamente (Malavolta, 2006).

Se constató que fraccionamiento de la fertilización nitrogenada afectó la productividad de los híbridos de sorgo, sin interferir en las otras variables. Sin embargo, se debe destacar que la disponibilidad de N para las plantas de clima tropical es afectado por bajos niveles de materia orgánica del suelo, periodos de sequía y suelos de baja fertilidad (Mateus et al., 2017). Por lo tanto, la variación de la disponibilidad del nutriente puede afectar el desarrollo y la productividad de las plantas (Uhart, Andrade, 1995 & Dartora et al., 2016), como se observó en el experimento conducido en Tupaciguara-MG.

Como el sorgo es una fuente de energía de origen vegetal tal como la caña de azúcar, se consideran necesarios nuevos estudios del manejo favorable, épocas de aplicación, tipos y dosis de fertilizantes nitrogenados utilizados.

### Conclusión

La aplicación de N según la recomendación de 1/3 (20 kg ha<sup>-1</sup> de N) en la siembra y 2/3 (70 kg ha<sup>-1</sup> de N) es la más eficiente en incrementar la productividad de los híbridos de sorgo biomasa y sacarino.

El sorgo sacarino presentó menos ATR pero fue más eficiente en la absorción de N en la región de Tupaciguara.

El fraccionamiento de la dosis de N no interfiere en el ATR ni en el N foliar en los híbridos de sorgo en las dos regiones productoras de caña de azúcar.

### Agradecimientos

El presente trabajo realizado fue posible gracias a la colaboración de técnicos y profesionales del Instituto de Ciencias Agrarias de la Universidad Federal de Uberlândia [UFU], particularmente del Laboratorio de Tecnología de Fertilizantes [LAFER] y el Grupo de Investigación "Silicio en Agricultura" [GPSi] de apoyo de las instituciones Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico [CNPq], Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior [CAPES] y Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Minas Gerais [FAPEMIG].

### Referencias

Cantarella, H., et al. (1996). Cereais. In: Raji, B. V., et al. *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo* (IAC. Boletim Técnico, n.100, 2. ed., pp.45-47). Campinas: Instituto Agronômico de Campinas.

Chakwizira, E., et al. (2015). Effects of nitrogen rate on nitrate–nitrogen accumulation in forage kale and rape crops. *Grass Forage Science*, 70 (2), 268-282. DOI: <https://doi.org/10.1111/gfs.12109>.

Dartora, J., et al. (2016). Co-inoculação de *Azospirillum brasilense* e *Herbaspirillum seropediceae* na cultura do milho. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 20 (6), 545-550. DOI: [doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n6p545-550](https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n6p545-550)

Dayakar Rao, B., C. V. et al. (2004). Sweet sorghum cane for biofuel production: A SWOT analysis in Indian context. *NRCS Technical report*, India, 21. Recuperado el 6 agosto, 2019, de <https://www.researchgate.net/publication/>

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (1997). *Manual de métodos de análise de solo*. (2. Ed.). Rio de Janeiro, Brasil: Embrapa solos.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (2008). *Sorgo: Cultura Agrícola em Expansão*. (2. ed.). Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo.

Ferreira, D. F. (2014). Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. *Ciência e Agrotecnologia*, 38 (109-112). DOI: [doi.org/10.1590/S1413-70542014000200001](https://doi.org/10.1590/S1413-70542014000200001)

Gabriel Filho, H. G., et al. (2016). Cultivo do sorgo, em sucessão à crotalaria e aplicação de doses de nitrogênio em Roraima. *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, 5 (4), 538-550. DOI: [doi.org/10.5380/rber.v5i4.47035](https://doi.org/10.5380/rber.v5i4.47035)

Horvathy Neto, A., et al. (2014). Sorghum and Brachiaria intercropping in off-season cultivation for grain forage production. *Revista Caatinga*, 27 (3), 132-141.



- Kravtsov, V. A. (2004) Effect of mineral fertilization on green matter yield and quality of sweet sorghum. *Kukuruzai i Sorgo* 5, 21-22. Recuperado de <https://eurekamag.com/research/004/124/004124129.php>
- Lanaudie, V., et al. (2016). Energy evaluation of fuel bioethanol production from sweet sorghum using very high gravity (VHG) conditions. *Renew Energy*, 88 (280-287). DOI: [doi.org/10.1016/j.renene.2015.11.041](https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.11.041)
- Lara, P. J., et al. (2018). Desempenho agroindustrial do sorgo sacarino submetido a diferentes doses de nitrogênio e potássio em cobertura. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 17 (3), 474-489.
- Malavolta, E., Vitti, G. C., & Oliveira, S. A. (1997) *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. (2. ed.). Piracicaba: Associação Brasileira de Potassa e do Fósforo.
- Malavolta, E. (2006) *Manual de nutrição de plantas*. São Paulo: Editora Agronômica Ceres.
- Masson, I. S., et al. (2015). Produção de bioetanol a partir da fermentação de caldo de sorgo sacarino e cana-de-açúcar. *Revista Ciência Rural*, 45 (9), 1695-1700. DOI: [doi.org/10.1590/0103-8478cr20130549](https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20130549)
- Mateus, G. P., et al. (2017). Decomposição e teor de macronutrientes da palhada em função do manejo do solo e rotação de culturas em áreas de reforma de canavial. *Nucleus* (nesp.), 93-102.
- Ramos, B., S. (2014). *Dose, Parcelamento e Modo de Aplicação de Nitrogênio em Atributos Nutricionais, Agronômicos e Tecnológicos de Cultivares de Sorgo Sacarino* (153f). Tese de Doutorado, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, Brasil. Recuperado de <http://hdl.handle.net/11449/108490>
- Rhein, A. F. L., et al. (2016). Technological quality and yield of sugarcane grown under nitrogen doses via subsurface drip fertigation. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 20 (3), 209-214. DOI: [doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n3p209-214](https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n3p209-214)
- Rochette, P., et al. (2013). NH<sub>3</sub> volatilization, soil NH<sub>4</sub><sup>+</sup> concentration and soil pH following subsurface banding of urea at increasing rates. *Canadian Journal of Soil Science*, 93 (3), 261-268. DOI: [doi.org/10.4141/cjss2012-095](https://doi.org/10.4141/cjss2012-095)
- Rosa, W. R. (2016). *Cultura do sorgo* (6p). Minas Gerais: Departamento Técnico da Emater.
- Santos, F. C., et al. (2015). Adubação nitrogenada e potássica na nutrição e na extração de macronutrientes pelo sorgo biomassa. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 14 (1), 10-22. DOI: [doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v14n1p10-22](https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v14n1p10-22)
- Silva, P. C. S., et al. (2003). Efeito de parcelamento e época de aplicação de N em sorgo granífero em sistema de plantio convencional. *Anais da Reunião Técnica Anual do Milho, Reunião Técnica Anual do Sorgo* (CD-Rom). Porto Alegre: EMATER/RS, FEPAGRO, 48, 31.
- Silveira, J. A. G., & Crocomo, O. J. (1990). Assimilação de nitrogênio em cana-de-açúcar cultivada em presença de elevado nível de N e de vinhaça no solo. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, 2 (2), 7-15.
- Tanimoto, T. (1964). The press method of cane analysis. *Hawaiian Planter's Record*, 57, 133-150.
- Teixeira, C. G., et al. (1999). Influência da época de corte sobre o teor de açúcares de colmos de sorgo sacarino. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 34 (9), 1601-1606. DOI: [doi.org/10.1590/S0100-204X1999000900010](https://doi.org/10.1590/S0100-204X1999000900010)
- Thawaro, N., et al. (2017). Sweet Sorghum and Upland Rice: Alternative Preceding Crops to Ameliorate Ethanol Production and Soil Sustainability Within the Sugarcane Cropping System. *Sugar Tech*, 19, 64-71. DOI: [doi.org/10.1007/s12355-016-0437-y](https://doi.org/10.1007/s12355-016-0437-y)
- Torres, F. E., et al. (2014). Influência da cobertura do solo e doses de nitrogênio na cultura do milho safrinha. *Agrária*, 9 (1), 36-41. DOI: [10.5039/agraria.v9i1a3406](https://doi.org/10.5039/agraria.v9i1a3406)
- Uhart S., A., & Andrade, F. H. (1995). Nitrogen deficiency in maize: I. Effects on crop growth, development dry matter partitioning, and kernel set. *Crop Science*, 35 (5), 1376-1383. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci1995.0011183X003500050020x>

Vitti, A. C., et al. (2007). Produtividade da cana-de-açúcar relacionada ao nitrogênio residual da adubação e do sistema radicular. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 42 (2), 249-256. DOI: doi.org/10.1590/S0100-204X2007000200014

Zhang, L., & Li, S. Z. (2016). Sweet sorghum ethanol: the next crowning biofuel. *Australasian Biotechnology*, 26 (3), 68-70.

Recebido em: 08/09/2019

Aceito em: 15/01/2020