



Microensilados de pasto elefante BRS Capiacu adicionados con consorcio microbiano comercial en diferentes días de rebrote



Allan Stênio da Silva Santos ^a

Daniel Louçana da Costa Araújo ^a

Ivone Rodrigues da Silva ^{a*}

Matheus Sousa Araújo ^a

Arnaud Azevêdo Alves ^a

Henrique Nunes Parente ^b

Maria Elizabete de Oliveira ^a

João Batista Lopes ^a

^aFederal University of Piauí, Teresina, Piauí, Brazil.

^bFederal University of Maranhão, Chapadinha, Maranhão, Brazil.

*Autor de correspondencia: ivonezootecnista@gmail.com

Resumen:

Este estudio tuvo como objetivo evaluar si la inoculación bacteriana mejora las características fermentativas, microbiológicas y químicas de los ensilados del pasto elefante cv. BRS Capiacu en diferentes días de rebrote. El diseño experimental fue completamente al azar y se estableció en un arreglo factorial 3x2 (tres días de rebrote, con y sin inoculante), con cuatro repeticiones. Hubo una interacción significativa entre los días de rebrote y el inoculante sobre el pH, el nitrógeno amoniacal (N-NH₃) y las pérdidas por efluentes (PE) de los ensilados. La inoculación disminuyó la PE con el avance de los días de rebrote y aumentó la tasa de recuperación de materia seca en comparación con los ensilados sin inoculante. La población de mohos y levaduras disminuyó cuando se adoptó la inoculación al forraje cosechado después de 85 d. Hubo una interacción significativa entre la materia seca (MS), la proteína cruda (PC) y la fibra

detergente neutro corregida por los contenidos de cenizas y proteína (FDNcp) de los ensilados. La inoculación en el pasto cosechado después de 85 días aumentó el contenido de MS del ensilado. Los mayores contenidos de PC se observaron en los ensilados después de 85 días. Los contenidos de FDNcp de los pastos cosechados después de 110 y 135 días fueron mayores que el del pasto cosechado después de 85 días. El contenido de FDNcp de los ensilados sin inoculante aumentó con la edad de cosecha. El ensilado de forraje de BRS Capiaçú cosechado a los 110 días demostró un desempeño favorable para la producción de ensilado. Sin embargo, la influencia del uso de inoculantes fue baja para las características evaluadas.

Palabras clave: Insumos biológicos, *Pennisetum purpureum*, Calidad.

Recibido: 05/01/2023

Aceptado: 18/09/2023

Introducción

El pasto elefante (*Pennisetum purpureum* Schum) destaca entre las gramíneas tropicales utilizadas para ensilado por su alta capacidad de producción, valor nutritivo, adaptabilidad a las condiciones edafoclimáticas locales, número de variedades, fácil cultivo y alta aceptabilidad por parte de los animales⁽¹⁾.

Los bajos contenidos de sólidos solubles y materia seca asociados al alto poder amortiguador de este pasto influyen negativamente en el proceso de fermentación durante el ensilaje y provocan pérdidas que comprometen la calidad del ensilado⁽²⁾. Desde esta perspectiva, se han desarrollado nuevos cultivares para mejorar las características del pasto elefante, por ejemplo, el cultivar BRS Capiaçú.

Lanzado en 2016 por Embrapa Gado de Leite, el cultivar BRS Capiaçú se ha destacado por su alto rendimiento de materia seca ($72 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$), produciendo alrededor de un 30 % más de masa forrajera ($300 \text{ t MV ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$), mostrando mayores contenidos de carbohidratos solubles y de proteína cruda con relación a otros cultivares de pasto elefante, y siendo una alternativa menos costosa que el maíz como cultivo perenne que no requiere compra anual de semilla^(3,4,5).

Los insumos biológicos son ampliamente utilizados como inoculantes bacterianos en el ensilaje de pasto elefante para mejorar la población de bacterias ácido lácticas, las cuales disminuyen el pH e intensifican la fermentación, reduciendo así las pérdidas causadas por microorganismos indeseables y aumentando la calidad de nutrientes de los ensilados^(6,7,8).

Además, la edad de cosecha del pasto elefante durante el ensilaje influye en el desarrollo de las poblaciones microbianas, ya que el bajo contenido de humedad y la alta

concentración de carbohidratos solubles son necesarios para el desarrollo de bacterias ácido-lácticas^(9,10). Por lo tanto, equilibrar la producción y la calidad del forraje es esencial para producir ensilados de pasto BRS Capiaçú.

Al tratarse de un forraje recientemente lanzado al mercado, aún se requieren estudios sobre el cultivar BRS Capiaçú, especialmente para su uso como ensilado, para proporcionar las condiciones adecuadas para la fermentación. En este escenario, este estudio tuvo como objetivo identificar si la inoculación bacteriana mejora las características fermentativas, microbiológicas y químicas del ensilado del pasto elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) cultivar BRS Capiaçú en diferentes días de rebrote.

Material y métodos

Tratamientos y manejo del ensilaje

El experimento se llevó a cabo en Teresina, Piauí, Brasil (latitud: 5° 2'28.41 S, longitud: 42° 47'0.08 O, a una altitud de 67 msnm) de marzo de 2019 a marzo de 2021. El pasto elefante (*Pennisetum purpureum* Schum) utilizado en el experimento se sometió a uniformización manual a una altura media de 10 cm del suelo, seguida de fertilización con 50 kg de N ha⁻¹, 60 kg de K₂O ha⁻¹ y 60 kg de P₂O₅ suministrados como urea, cloruro de potasio y superfosfato simple, respectivamente. A excepción de la fertilización fosfatada, todos los demás nutrientes se administraron nuevamente después de 47 días de acuerdo con el análisis de suelo y las recomendaciones de Embrapa (2008). El pasto se regó diariamente mediante un sistema de microaspersión de marzo a junio de 2019.

Se estableció un diseño completamente al azar en un arreglo factorial 2x3. Los tratamientos correspondieron a las combinaciones de inoculante bacteriano y los días de rebrote del pasto, identificados de la siguiente manera: Factor 1) inoculación bacteriana al ensilar: presencia y ausencia de inoculante; Factor 2) días de rebrote del pasto: 85, 110 y 135 días. Con base en este arreglo, se generaron seis tratamientos, y cada uno se evaluó con cuatro repeticiones, haciendo un total de veinticuatro unidades experimentales.

El forraje se cosechó después de 85, 110 y 135 días de rebrote de un área de 60 m² ya establecida, delimitando 20 m² por cada edad evaluada. Las plantas se cortaron manualmente, con un cuchillo, a una altura de 10 cm del suelo y se picaron en fragmentos de 1 a 2 cm, en una trituradora estacionaria. Después de este proceso, el forraje picado se homogeneizó manualmente con el aditivo del ensilado de acuerdo con cada tratamiento y se colocó en bandejas de plástico.

El inoculante bacteriano liofilizado SILOTRATO[®] se aplicó durante el ensilaje del pasto BRS Capiaçú siguiendo las recomendaciones del fabricante (dos gramos por tonelada de masa verde), como garantizar la calidad del producto hasta la fecha de vencimiento, uso exclusivo para alimentación animal y no toxicidad. El inoculante bacteriano estuvo

compuesto por varias bacterias ácido-lácticas homofermentativas, bacterias homofermentativas facultativas y bacterias heterofermentativas facultativas, y 5 % de un complejo enzimático con un límite de conteo de 10^{10} UFC.g⁻¹, de acuerdo con cada edad de cosecha y tratamiento control (sin aplicación de inoculante).

En los ensayos se utilizaron silos experimentales cilíndricos de cloruro de polivinilo (PVC), cada uno de 50 cm de largo y 10 cm de ancho. Cada silo recibió 1.3 kg de arena seca, la cual se separó del forraje mediante una malla de sombreo para permitir la cuantificación del efluente producido.

Después de la completa homogeneización, el pasto se depositó en los silos y se compactó con la ayuda de un pistón de madera adoptando una densidad de 600 kg m^{-3} de materia natural por silo. Después de ser llenados, los silos se cerraron con tapas de grifo que contenían válvulas Bunsen, se sellaron con cinta adhesiva y se pesaron. Luego, los silos se almacenaron a temperatura ambiente y se abrieron 83 días después del ensilaje.

Pérdidas fermentativas y tasa de recuperación de materia seca

Las pérdidas de materia seca por gas y efluentes y la tasa de recuperación de materia seca (TRMS) se cuantificaron mediante la diferencia de peso de acuerdo con las ecuaciones descritas por Schmidt *et al*⁽¹¹⁾. Las pérdidas por gas se obtuvieron de acuerdo con la ecuación 1:

$$PG = [(PsLlc - PsLla)/(MVFE \times MSFE)] \times 100 \quad (1)$$

Donde: PG= pérdidas por gas, PsLlc= peso del silo lleno al inicio del ensilaje (kg), PsLla= peso del silo lleno al final del ensilaje (kg), MVFE= materia verde de forraje ensilado (kg), MSFE= materia seca de forraje ensilado (%) descontando el peso de la arena añadida al silo.

Las pérdidas por efluentes se obtuvieron mediante la ecuación 2:

$$PE \text{ (kg/t of MV)} [(PVf - Ts) - (PVi - Ts)]/MFi \times 100 \quad (2)$$

Donde: PE= pérdidas por efluentes, PVf= peso del silo vacío + peso de la arena al final del ensilaje (kg), Ts= tara del silo, PVi= peso del silo vacío + peso de la arena al inicio del ensilaje (kg), MFi= masa de forraje al inicio del ensilaje (kg).

La tasa de recuperación de materia seca se estimó utilizando la ecuación 3:

$$TRMS \text{ (%) } (Mf \times Msf)/(Mfi \times Msi) \times 100 \quad (3)$$

Donde: TRMS= tasa de recuperación de materia seca (%), MFf= materia de forraje al final del ensilaje (kg), MSf= materia seca al final del ensilaje (%MS), MFi= materia de forraje al inicio del ensilaje (kg), MSi= contenido de materia seca de forraje al inicio del ensilaje (%MS).

pH y nitrógeno amoniacal

Antes del ensilaje, se analizó la composición química del pasto BRS Capiacu en cada edad de cosecha (Cuadro 1).

Cuadro 1: Composición química del pasto BRS Capiacu en diferentes edades de cosecha

Ítem	Edades de rebrote (días)		
	85	110	135
MS	16.8	21.9	26.0
MO	91.0	92.1	91.9
Cenizas	9.0	7.9	8.1
PC	6.1	5.4	3.9
EE	1.3	1.3	1.6
FDNcp	72.9	71.8	71.0
FDA	52.8	56.5	51.6
CNF	10.7	14.6	15.4
HEM	20.1	15.3	19.4

MS= materia seca, MO= materia orgánica, PC= proteína cruda, EE= extracto etéreo, FDNcp= fibra detergente neutro corregida por cenizas y proteínas, FDA= fibra detergente ácida, CNF= carbohidratos no fibra, HEM= hemicelulosa.

Cuando se abrieron los silos, las muestras se separaron y dividieron en tres alícuotas, la primera de las cuales se utilizó fresca poco después de la homogeneización para determinar el pH de acuerdo con Silva y Queiroz⁽¹²⁾. El nitrógeno amoniacal (N-NH₃) se determinó de acuerdo con Ferreira *et al*⁽¹³⁾ con base en el extracto del ensilado.

Composición química

Después de descongelarla, la segunda alícuota se secó previamente en un horno de aire forzado a 55 °C y se molió para pasarse a través de un tamiz de 1 mm en un molino de cuchillas Wiley. Las submuestras se analizaron para determinar materia seca (MS; método 934.01), cenizas (método 942.05), proteína cruda (PC; método 978.04) y extracto etéreo (EE; método 920.39) de acuerdo con la AOAC⁽¹⁴⁾. La fibra detergente neutro corregida por cenizas y proteínas (FDNcp), la fibra detergente ácida (FDA) y la hemicelulosa se determinaron por el método secuencial de acuerdo con los

procedimientos descritos por Van Soest *et al*⁽¹⁵⁾ adaptados para autoclave (0.5 atm/1 h) utilizando bolsas de TNT con una porosidad de 100 μm ⁽¹⁶⁾.

Perfil microbiológico

La tercera alícuota se utilizó para evaluar el perfil microbiológico de los ensilados mediante la cuantificación de las poblaciones microbianas de *Lactobacillus* sp., *Clostridium* sp., hongos filamentosos y levaduras. Todo el análisis de microorganismos se realizó en una cabina de flujo laminar.

Las poblaciones microbianas en el ensilado se cuantificaron mediante la preparación de una suspensión acuosa con una muestra de ensilado fresco (25 g) en 225 ml de agua de peptona, la cual se homogeneizó manualmente durante tres minutos. Después de la homogeneización, se prepararon diluciones decimales en tubos estériles que contenían 9 mL de la solución y luego se sembraron por duplicado en placas de Petri estériles en diluciones de 10^{-1} , 10^{-2} y 10^{-3} . El recuento de *Lactobacillus* se realizó mediante la adición de 20 ml de agar MRS a las placas (agar MRS *Lactobacillus*). Después de la homogeneización y solidificación del medio de cultivo, se agregaron 10 ml del mismo agar para formar la capa superior. A continuación, las placas se incubaron a 35 ± 2 °C durante 72 h en una incubadora bacteriológica.

El recuento bacteriano del género *Clostridium* se realizó mediante la adición de 20 ml de agar *Clostridium perfringens* y una emulsión de yema de huevo/salina al 0.85 % en una proporción de 1:1 en las placas de Petri. Luego, se realizó la inoculación con 0.1 ml de las diluciones correspondientes. Posteriormente, se añadieron 10 ml del mismo agar para formar la capa superior. Finalmente, las placas se incubaron a 35 ± 2 °C en anaerobiosis durante 48 h en una incubadora bacteriológica. Los hongos filamentosos y levaduras se contaron añadiendo 20 ml de Agar Papa Dextrosa (PDA) con ácido tartárico al 10 % en las placas de Petri. Una vez solidificado el medio de cultivo, se añadieron 0.1 ml de las diluciones correspondientes a las placas, las cuales luego se incubaron a 37 ± 2 °C durante 120 h en una incubadora bacteriológica. Los microorganismos se contaron después de la incubación y los resultados se expresaron como log UFC g^{-1} ⁽¹⁷⁾.

Análisis estadístico

Los datos referentes a pérdidas fermentativas, composición química y perfil microbiológico se analizaron por el método de mínimos cuadrados, mediante el procedimiento GLM, y mediante la realización del análisis de varianza y la prueba de comparación de medias SNK mediante el procedimiento PROC NLIN del software SAS (Sistema de Análisis Estadístico, versión 9.0) a un nivel de significancia de 0.05.

El modelo estadístico utilizado fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha * \beta_{ij}) + e_{ijk} \quad (4)$$

Donde:

Y_{ijk} = variable dependiente,

μ = media general,

α_i = efecto de la inoculación (efecto fijo; i = presencia y ausencia al ensilar), β_j = efecto de los días de rebrote del pasto (efecto fijo; j = 85, 110 y 135 días),

$\alpha * \beta_{ij}$ = efecto de la interacción entre el inoculante bacteriano y los días de rebrote del pasto,

e_{ijk} = error aleatorio asociado a cada observación.

Resultados

Hubo una interacción significativa ($P < 0.05$) entre los días de rebrote y la inoculación sobre las características fermentativas de pH, nitrógeno amoniacal (N-NH₃) y pérdidas por efluentes (PE) del ensilado de pasto BRS Capiacu (Cuadro 2). El ensilado cosechado después de 85 días mostró el pH más bajo ($P < 0.05$) (3.5), el cual aumentó a 3.79 cuando se aplicó el inoculante, efecto observado solo para el ensilado del forraje cosechado a la menor edad (85 días). El ensilado cosechado después de 135 d mostró el menor contenido de N-NH₃ ($P < 0.05$) (1.50 %) con relación a los forrajes cosechados después de 85 y 135 días.

No se observaron diferencias en los valores de N-NH₃ de los ensilados con respecto a la inoculación ($P > 0.05$), con una media de 1.95 % de N-NH₃. En cuanto a las pérdidas de masa ensilada, las pérdidas por efluentes (PE) de los ensilados de pasto BRS Capiacu fueron, en promedio, de 145.53 kg t⁻¹. Sin embargo, cuando el inoculante se aplicó al forraje cosechado a los 135 días, las pérdidas por efluente disminuyeron.

Cuadro 2: Características fermentativas de los ensilados de pasto BRS Capiaçú en diferentes edades de cosecha e inoculación bacteriana

Ítem	Inoculante	Edades de cosecha (días)			Media	EEM	Valor P		
		85	110	135			Inoculante	Edad de cosecha	Inoculante x edad de cosecha
pH	Con	3.79 ^{Ab}	4.23 ^{Aa}	4.26 ^{Aa}	4.10	0.07	0.4002	<0.0001	0.0095
	Sin	3.50 ^{Bc}	4.49 ^{Aa}	4.13 ^{Ab}	4.04				
	Media	3.65	4.20	4.36					
NH ₃ -N, % NT	Con	1.97 ^{Aa}	2.17 ^{Aa}	1.72 ^{Aa}	1.95	0.08	0.5128	0.0005	0.0327
	Sin	2.50 ^{Aa}	2.10 ^{Aa}	1.50 ^{Ab}	2.03				
	Media	2.23	2.13	1.61					
Pérdidas por efluentes, kg t ⁻¹	Con	165.14 ^{Aa}	154.46 ^{Ab}	93.58 ^{Bc}	137.73	5.42	0.1753	<0.0001	0.0014
	Sin	150.95 ^{Aa}	150.44 ^{Aa}	135.19 ^{Aa}	145.53				
	Media	158.04	152.45	114.39					
Pérdidas por gas, % de MS	Con	2.48	0.41	0.44	1.11A	0.18	0.8266	0.0025	0.5000
	Sin	1.83	0.85	0.40	1.03A				
	Media	2.16a	0.63 ^b	0.42b					
Recuperación de materia seca, % de MS	Con	73.99	89.12	87.29	83.47A	2.18	0.5732	<0.0001	0.1143
	Sin	75.14	83.60	89.09	82.61A				
	Media	74.57 ^b	86.36 ^a	88.19 ^a					

EEM= error estándar de la media.

Las medias seguidas de la misma letra minúscula en fila y letra mayúscula en columna no difieren según la prueba SNK a un nivel de significancia del 5 %.

Las pérdidas por gas (PG) fueron mayores ($P<0.05$) en el ensilado de pasto BRS Capiacu cosechado después de 85 días (2.16 %), mientras que la inoculación no redujo ($P>0.05$) este parámetro. La mayor TRMS ($P>0.05$) se obtuvo en los ensilados de los forrajes cosechados después de 110 y 135 días, 15.08 % mayor que la TRMS del forraje cosechado después de 85 días (Cuadro 2).

La población de bacterias ácido-lácticas (BAL) fue mayor ($P<0.05$) en el ensilado del forraje de pasto BRS Capiacu cosechado después de 85 y 110 días ($5.9 \log_{10}$ UFC g^{-1}). Sin embargo, la inoculación no disminuyó (>0.05) la población de BAL (Cuadro 3).

Hubo interacción significativa ($P<0.05$) de los días de rebrote y la inoculación sobre la población de mohos y levaduras del ensilado de pasto BRS Capiacu. La población de mohos y levaduras fue, en promedio, de $4.0 \log_{10}$ UFC g^{-1} . Sin embargo, cuando el inoculante se aplicó al forraje, la concentración de mohos y levaduras se observó entre las edades de 85 y 135 días, mientras que en los tratamientos sin aplicación de inoculantes no se observaron diferencias significativas ($P>0.05$) entre las edades evaluadas. No se detectaron poblaciones de *Clostridium* spp (Cuadro 3).

Hubo interacción significativa ($P<0.05$) de los días de rebrote y la inoculación sobre la materia seca (MS), cenizas, proteína cruda (PC) y fibra detergente neutro corregida por cenizas y proteína (FDNcp) de los ensilados de pasto BRS Capiacu. El contenido de MS de los ensilados aumentó ($P<0.05$) con la edad de cosecha, variando de 29.36 % en el ensilado del forraje cosechado después de 85 días a 34.15 % en el forraje cosechado después de 135 días. La inoculación incrementó ($P<0.05$) el contenido de MS del forraje cosechado después de 85 d de 27.33 % a 29.36 % (Cuadro 4).

Cuadro 3: Perfil microbiológico de ensilados de pasto BRS Capiacu en diferentes edades de cosecha e inoculación bacteriana

Ítem (\log_{10} UFC g^{-1})	Inoculante	Edades de cosecha (días)			Media	EEM	Valor <i>P</i>		
		85	110	135			Inoculante	Edad de cosecha	Inoculante x edad de cosecha
Bacterias ácido-lácticas	Con	6.0	5.4	3.8	5.1 ^A	0.25	0.2575	0.0005	0.8815
	Sin	6.2	5.9	4.8	5.5 ^A				
Media		6.1 ^a	5.7 ^a	4.0 ^b					
Mohos y levaduras	Con	3.4 ^{Ab}	3.8 ^{A^{ab}}	4.6 ^{Aa}	3.9	0.21	0.8008	0.5663	0.0137
	Sin	5.0 ^{Aa}	3.7 ^{Aa}	3.3 ^{Aa}	4.0				
Media		4.2	3.7	4.0					

EEM= error estándar de la media.

Las medias seguidas de la misma letra minúscula en fila y letra mayúscula en columna no difieren según la prueba SNK a un nivel de significancia del 5 %.

Cuadro 4: Composición química de los ensilados de pasto BRS Capiacu en diferentes edades de cosecha e inoculación bacteriana

Ítem (%)	Inoculante	Edades de cosecha (días)			Media	EEM	Valor P		
		85	110	135			Inoculante	Edad de cosecha	Inoculante x edad de cosecha
MS	Con	29.36 ^{Ac}	30.55 ^{Ab}	34.15 ^{Aa}	31.35	0.38	0.5097	<0.0001	0.0223
	Sin	27.33 ^{Bc}	31.67 ^{Ab}	34.21 ^{Aa}	31.07				
	Media	28.35	31.11	34.21					
Cenizas	Con	8.66 ^{Aa}	6.97 ^{Bb}	7.56 ^{Ab}	7.73	0.12	0.0088	<0.0001	0.0053
	Sin	8.97 ^{Aa}	8.29 ^{Ab}	7.39 ^{Ac}	8.21				
	Media	8.81	7.63	7.47					
PC	Con	5.21 ^{Aa}	3.54 ^{Bb}	3.32 ^{Ab}	4.02	0.14	0.0297	<0.0001	<0.0001
	Sin	5.37 ^{Aa}	4.61 ^{Ab}	2.91 ^{Bc}	4.28				
	Media	5.26	4.08	3.12					
EE	Con	1.32	0.89	0.79	1.00 ^B	0.04	0.0497	<0.0001	0.1510
	Sin	1.29	1.01	1.02	1.11 ^A				

Media		1.30 ^a	0.95 ^b	0.90 ^b					
FDNcp	Con	68.59 ^{Ab}	72.08 ^{Aa}	71.91A ^a	70.86				
	Sin	68.83 ^{Ac}	70.70 ^{Ab}	71.96 ^{Aa}	70.49	0.42	0.1345	<0.0001	0.0214
Media		68.71	71.39	71.93					
FDA	Con	47.67	49.20	49.94	48.94 ^A				
	Sin	46.64	48.62	49.25	48.17 ^B	0.20	0.0406	<0.0001	0.8647
Media		47.15 ^b	48.91 ^a	49.60 ^a					

MS= materia seca, PC= proteína cruda, EE= extracto etéreo, FDNcp= fibra detergente neutro corregida por cenizas y proteínas, FDA= fibra detergente ácido, EEM= error estándar de la media.

Las medias seguidas de la misma letra minúscula en fila y letra mayúscula en columna no difieren según la prueba SNK a un nivel de significancia del 5 %.

Los mayores contenidos de cenizas, PC y EE ($P<0.05$) se observaron en el ensilado del pasto BRS Capiaçú cosechado después de 85 d. En contraste, la inoculación del forraje cosechado después de 110 días resultó en el menor contenido de cenizas ($P<0.05$) (6.97 % vs 8.29 %). La inoculación resultó en el menor contenido de EE ($P<0.05$) en el ensilado (1.0 %) en relación con el ensilado sin inoculación (1.11 %). La inoculación resultó en equivalencia ($P>0.05$) en el contenido de PC de los ensilados de los forrajes cosechados después de 110 y 135 días (3.43 %), aunque menor ($P<0.05$) que el ensilado del forraje cosechado después de 85 días (5.21 %). El contenido de PC del forraje sin inoculación disminuyó ($P<0.05$) con el avance de los días de rebrote (Cuadro 4).

Los contenidos de FDNcp del ensilado de forraje del pasto BRS Capiaçú cosechado a los 110 y 135 días (88.45 % y 72 %) fueron mayores ($P<0.05$) que los del ensilado de forraje cosechado a los 85 días (84.81 % y 68.59 %). Los contenidos de FDNcp de los ensilados no inoculados aumentaron ($P<0.05$) con la edad de cosecha (Cuadro 4).

Los contenidos de FDA fueron menores ($P<0.05$) en el ensilado del forraje cosechado después de 85 días. La aplicación de inoculante resultó en el mayor contenido de FDA ($P<0.05$) en el ensilado (48.94 %) en relación con la ausencia de inoculante (48.17 %) (Cuadro 4).

Discusión

La conservación del forraje en el proceso de ensilaje se basa en el principio de conservación en un ambiente anaeróbico, donde la ausencia de oxígeno en el silo predispone al aumento de bacterias ácido-lácticas (BAL), las cuales emiten pH e impiden el desarrollo de microorganismos indeseables que dañan la calidad del ensilado⁽¹⁸⁾.

La aplicación o no de inoculante no influyó en la población de mohos y levaduras en el ensilado del forraje. Los ensilados de los forrajes cosechados a edades más tempranas (85 y 110 días) mostraron una mayor población de BAL, favoreciendo la fermentación del forraje cosechado después de 85 días debido a su pH más bajo. De acuerdo con Kung *et al*⁽¹⁹⁾, las posibles explicaciones de las fallas en el uso de inoculantes a base de BAL incluyen la intensa competencia de la flora epífita y los carbohidratos solubles, el exceso de oxígeno y los problemas durante la inoculación.

En este estudio, el bajo pH de los ensilados (<4.5) favoreció la ausencia de *Clostridium* spp. Según Pahlow *et al*⁽²⁰⁾, estas bacterias demandan altos valores de pH para su desarrollo. La presencia de microorganismos indeseables se asocia principalmente a fallas durante la fermentación.

La ausencia de *Clostridium* spp. en los ensilados del presente estudio, responsable de la proteólisis durante el ensilaje, contribuyó a las bajas concentraciones de N-NH₃ obtenidas en los ensilados. Además, el hecho de que los valores de pH de los ensilados fueran

inferiores a 4.5 aumenta la eficiencia de la fermentación y reduce la hidrólisis de las proteínas en los compuestos nitrogenados no proteicos⁽²¹⁾. Se obtuvieron resultados similares para el ensilado del pasto elefante cv. Roxo con inoculación bacteriana⁽²²⁾.

Los bajos valores de PG pueden atribuirse a la ausencia de bacterias *Clostridium* spp. en los ensilados del presente estudio, las principales responsables de la producción de CO₂ y otros ácidos. La inoculación fue desfavorable en la reducción del pH debido a las menores pérdidas observadas en este estudio. En todos los ensilados, el contenido de materia seca (MS) aumentó a medida que aumentaban los días de edad de rebrote. De acuerdo con Van Soest⁽²³⁾, el aumento de MS se debe principalmente a las altas pérdidas por efluentes resultantes de los bajos contenidos de MS antes del ensilaje, lo que se observó en el presente estudio. Con respecto a la aplicación de inoculantes, se observó un aumento en el contenido de MS solo a los 85 días de edad de corte, tratamiento con el menor contenido de MS.

La inoculación microbiana redujo la actividad proteolítica de los ensilados, lo que resultó en una rápida reducción del pH, ya que las bacterias proteolíticas se desarrollan mejor en ensilados con valores de pH más altos. Por lo tanto, el alto valor de pH en los forrajes cosechados después de 110 y 135 días (4.20 y 4.36) favoreció la reducción de PC en comparación con los ensilados cosechados después de 85 días, los cuales mostraron la mayor PC y el menor pH (3.65). Los ensilados de pasto BRS Capiaçú presentaron contenidos de PC inferiores al mínimo de 7 % propuesto por Church⁽²⁴⁾ como necesario para mantener la actividad microbiana en el rumen, lo que indica la necesidad de suplementación proteica para atender los requerimientos de nutrientes de los rumiantes.

La inoculación en el forraje de pasto BRS Capiaçú resultó en el menor contenido de EE con relación al ensilado sin el inoculante. Sin embargo, estos ensilados mostraron menos del 8 % de EE, lo que es recomendado por McGuffey y Schingoethe⁽²⁵⁾ para evitar reducciones en el consumo de alimentos y un rendimiento limitado de los rumiantes. Sin embargo, la baja proporción de EE impacta en el valor energético de los ensilados, considerando el valor calorífico de los lípidos en comparación con otros compuestos orgánicos.

De acuerdo con Wilson⁽²⁶⁾, las gramíneas tropicales requieren estructuras de soporte representadas por la pared celular. Por lo tanto, cuanto mayor sea la edad de la planta, mayor será la proporción de componentes de la pared celular y menor será el contenido celular. Estas afirmaciones justifican los resultados de los ensilados de BRS Capiaçú cosechado después de 85 días, los cuales mostraron los menores contenidos de constituyentes fibrosos (FDNcp y FDA) y los mayores contenidos de constituyentes no fibrosos (PC y EE) en comparación con los días de rebrote de 110 y 135 días.

La inoculación en el forraje de pasto BRS Capiaçú resultó en el mayor contenido de FDA con relación a la muestra no inoculada. Un comportamiento similar fue observado por otros^(7,27), quienes mencionan el aumento del contenido de FDA (48.35 % y 46.86 %) en

los ensilados de los cultivares de pasto elefante Napier y Cameron con inoculante bacteriano. La inoculación en los ensilados del pasto BRS Capiaçú puede haber aumentado el contenido de celulosa a través de la ausencia de actividad en el complejo enzimático del inoculante, solubilizando los constituyentes de la pared celular⁽²⁸⁾ y aumentando el contenido de FDA.

Conclusiones e implicaciones

El ensilado de forraje de BRS Capiaçú cosechado a los 110 días demostró un desempeño favorable para la producción de ensilado. Sin embargo, la influencia del uso de inoculantes fue baja para las características evaluadas. Estos resultados indican que el cultivar BRS Capiaçú naturalmente puede tener buena capacidad de ensilado y el uso de inoculantes puede ser ineficaz, ya que depende de varios factores, como el manejo del forraje, la concentración de bacterias epífitas y el inoculante, además de las condiciones ambientales. Por lo tanto, para evaluar de manera más exhaustiva el potencial del uso de inoculantes, es necesario utilizar inoculantes específicos en el cultivar BRS Capiaçú. Estas investigaciones pueden proporcionar información valiosa sobre la efectividad y la viabilidad económica del uso de inoculantes para optimizar la fermentación y la calidad del ensilado de BRS Capiaçú cosechado a diferentes edades.

Agradecimientos

Gracias al Programa de Posgrado en Zootecnia Tropical de la Universidad Federal de Teresina, Piauí, Brasil, al Consejo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico (CNPq, Brasilia, DF, Brasil) y al Instituto Federal de Maranhão (Caxias, Maranhão, Brasil).

Conflictos de intereses

Los autores no tienen conflictos de intereses que declarar.

Literatura citada:

1. Cardoso AM, Araujo SAC, Rocha NS, Domingues FN, Azevedo JC, Pantoja LA. Elephant grass silage with the addition of crambe bran conjugated to different specific mass. *Acta Scientiarum. Anim Sci* 2016;38:375-382.
2. Retore M, Alves JP, Junior MAPO, Mendes SS. Qualidade da silagem do capim-elefante BRS Capiaçú. Dourados, MS: Embrapa Agropecuária Oeste; 2020.
3. Pereira AV, Léo FJS, Machado JC. BRS Kurum. Capiaçú – New elephant grass cultivars for grazing and cut-and-carry system. *Crop Breed Applied Biotech* 2017; 17:59-62.

4. Monção FP, Costa MAMS, Rigueira JPS, Sales ECJ, Leal DB, Silva MFP, *et al.* Productivity and nutritional value of BRS capiaçu grass (*Pennisetum purpureum*) managed at four regrowth ages in a semiarid region. *Trop Anim Health Prod* 2020; 52:235-241.
5. Pereira AV, Oliveira JC, Ledo FJS, Diniz FH, Xavier DF, Lanes JJSN, *et al.* BRS Capiaçú e BRS Kurumi: Cultivo e uso. Brasília, DF: Embrapa, 2021.
6. Desta ST, Yuan X, Li J, Shao T. Ensiling characteristics, structural and nonstructural carbohydrate composition and enzymatic digestibility of Napier grass ensiled with additives. *Biores Technol* 2016;221:447-454.
7. Costa R, Silva RC, Souza ED, Vieira EM, Nascimento TSS, Alencar AP. Bagaço de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) na ensilagem do capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum) com ou sem inoculante bacteriano. *Rev Acta Kariri-Pesquisa e Desenvolvimento* 2017;2:29-36.
8. Shah AA, Xianjun Y, Zhihao D, Junfeng L, São T. Microbiological and chemical profiles of elephant grass inoculated with and without *Lactobacillus plantarum* and *Pediococcus acidilactici*. *Archives Microbiol* 2018;200:311-328.
9. Cândido MJD, Gomide CAM, Alexandrino E, Gomide JA, Pereira WE. Morfofisiologia do dossel de *Panicum maximum* cv. Mombaça sob lotação intermitente com três períodos de descanso. *Rev Brasileira Zoot* 2005;34:406-415.
10. Zanine AM, Santos EM, Ferreira DJ, Gomes-Pereira O. Populações microbianas e componentes nutricionais nos órgãos do capim-tanzânia antes e após a ensilagem. *Semina: Ciênc Agrár* 2007;28:143-150.
11. Schmidt P. Perdas fermentativas na ensilagem, parâmetros digestivos e desempenho de bovinos de corte alimentados com rações contendo silagens de cana-de-açúcar (tese de doutorado). Piracicaba, SP: Universidade de São Paulo; 2006.
12. Silva DJ, Queiroz AC. Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos. 3a ed. Viçosa, MG: UFV; 2002.
13. Ferreira DA, Gonçalves LC, Molina LR, Castro-Neto AC, Tomich TR. Características de fermentação da silagem de cana-de-açúcar tratada com ureia, zeólita, inoculante bacteriano e inoculante bacteriano/enzimático. *Arquivo Brasileiro Med Vet Zoot* 2007;59:423-433.
14. AOAC - Official methods of analysis. 12th ed. Washington, DC. Association of Official Analytical Chemists. 1990.
15. Van-Soest PJ, Robertson JB, Lewis BA. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J Dairy Sci* 1991;74:3583-3597.

16. Valente TNP, Detmann E, Filho SCV, Queiroz AC, Sampaio CB, Gomes DI. Avaliação dos teores de fibra em detergente neutro em forragens, concentrados e fezes bovinas moídas em diferentes tamanhos e em sacos de diferentes tecidos. *Rev Brasileira Zoot* 2011;40:1148–1154.
17. Silva N, Junqueira VCA, Silveira NFA. Manual de métodos de análise microbiológica de alimentos. Varela, SP; 1997.
18. Machado FS, Rodriguez NM, Rodrigues JAS, Ribas, MN, Teixeira AM, Ribeiro Júnior GO, *et al.* Qualidade da silagem de híbridos de sorgo em diferentes estádios de maturação. *Arquivo Brasileiro Med Vet Zoot* 2012; 64:711-720.
19. Kung Jr L, Stokes MR, Lin CJ. Silage additives. In: American Society of Agronomy, Silage Science and Technology. Madison, WI; 2003:305-360.
20. Pahlow G, Muck RE, Driehuis F, Oude-Elferink SJWH, Spoelstra SF. Microbiology of ensiling. In: American Society of Agronomy, Silage Science and Technology. Madison, WI; 2003:31-93.
21. McDonald P, Henderson AR, Heron SJE. The biochemistry of silage. 2^a ed. Marlow: Chalcomb Publications; 1991.
22. Bernardes TF, Souza NSS, Silva JSLP, Santos IAP, Faturi C, Domingues F. Uso de inoculante bacteriano e melaço na ensilagem de capim-elefante. *Rev Ciênc Agrá, Amazonian J Agr Environ Sci* 2013;56:173-178.
23. Van Soest P. Nutritional ecology of the ruminant. New York, EUA: Cornell University Press; 1994.
24. Church DC. The ruminal animal digestive physiology and nutrition. New Jersey: Prentice Hall, 1988.
25. McGuffey RK, Schingoethe DJ. Feeding value of a high oil variety of sunflowers as silage to lactating dairy cows. *J Dairy Sci* 1980;63:1109-1113.
26. Wilson JR. Cell wall characteristics in relation to forage digestion by ruminants: review. *J Agr Sci* 1994;122:173-182.
27. Rodrigues PHM, Lopes TFT, Andrade SJT, Melotti L, Lucci CS, Lima FR. *et al.* Adição de inoculantes microbianos sobre a composição química e perfil fermentativo da silagem de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.). *Acta Scientiarum. Anim Sci* 2003;25:397-402.
28. Coan RM, Vieira PF, Silveira RN, Reis RA, Malheiros EB, Pedreira, MS. Inoculante enzimático-bacteriano, composição química e parâmetros fermentativos das silagens dos capins Tanzânia e Mombaça. *Rev Brasileira Zoot* 2005;34:416-424.