



Composição química, fracionamento de carboidratos e compostos nitrogenados, cinética da degradação ruminal e produção de gás *in vitro* de genótipos de palma forrageira

Chemical composition, fractionation of carbohydrates and nitrogen compounds, ruminal degradation kinetics, and *in vitro* gas production of cactus pear genotypes

André Luiz Rodrigues Magalhães¹ , Ana Lúcia Teodoro² , Leandro Pereira de Oliveira³ , Glayciane Costa Gois^{4*} , Fleming Sena Campos¹ , Alberício Pereira de Andrade¹ , Airon Aparecido Silva de Melo¹ , Daniel Bezerra do Nascimento¹ , Wanderson Alves da Silva⁵

¹Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Garanhuns, PE, Brasil

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí (IFPI), Corrente, PI, Brasil

³Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Areia, PB, Brasil

⁴Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), Petrolina, PE, Brasil

⁵Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Arapiraca, AL, Brasil

*Correspondente: glayciane_gois@yahoo.com.br

Resumo

Objetivou-se avaliar a composição química, fracionamento de carboidratos e compostos nitrogenados, parâmetros de degradação e fermentação ruminal *in vitro* de genótipos de palma forrageira. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com 4 genótipos de palma forrageira e 4 repetições. Os genótipos de palma forrageira avaliadas foram: Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck), IPA Sertânia (*Nopalea cochenillifera*), Gigante (*Opuntia ficus indica* Mill), e Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* Haw), todas *in natura*. As amostras foram coletadas aleatoriamente em pontos distintos na área experimental. Plantas inteiras foram coletadas 24 meses após o estabelecimento da cultura de campo. *N. cochenillifera* Salm Dyck apresentou os maiores teores de matéria seca, proteína insolúvel em detergente ácido, carboidratos não fibrosos, nutrientes digestíveis totais, energia digestível, carboidratos totais e fração A + B1 e menores teores de fibra em detergente neutro corrigida para cinza e proteína, fibra em detergente ácido e celulose ($P < 0,05$). A digestibilidade da fibra em detergente neutro verdadeira *in vitro* foi elevada para os genótipos *N. cochenillifera* Salm Dyck e *N. cochenillifera* Dyck, que também apresentaram altos valores de produção de gás *in vitro* ($P < 0,05$). Os genótipos de palma forrageira apresentam características químicas adequadas para compor dietas oferecidas aos ruminantes, no entanto, é necessário uma suplementação para aumentar os teores de matéria seca e fibra. *Nopalea cochenillifera* Salm Dyck apresenta as maiores proporções de nutrientes digestíveis totais, carboidratos não fibrosos,

Recebido

16 de junho de 2021.

Aceito

16 de agosto de 2021.

Publicado

20 de setembro de 2021.

www.revistas.ufg.br/vet

Como citar - disponível no site,
na página do artigo.

nitrogênio não protéico e alta produção de gases em relação aos demais genótipos analisados aos 24 meses após o estabelecimento do palmar.

Palavras-chave: Degradabilidade; Digestibilidade; Fermentação *in vitro*; *Nopalea*; *Opuntia*

Abstract

The aim of this study was to evaluate the chemical composition, fractionation of carbohydrates and nitrogen compounds, degradation parameters, and *in vitro* ruminal fermentation of cactus pear genotypes. The experiment was conducted in a completely randomized design with 4 cactus pear genotypes and 4 replicates. The evaluated cactus pear genotypes were: Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck), IPA Sertânia (*Nopalea cochenillifera*), Gigante (*Opuntia ficus indica* Mill), and Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* Haw), all *in natura*. Samples were randomly collected at different points in the experimental area. Whole plants were collected 24 months after field crop establishment. *N. cochenillifera* Salm Dyck presented the highest dry matter, acid detergent insoluble protein, non-fibrous carbohydrate, total digestible nutrients, digestible energy, total carbohydrates, and fractions A + B1 ($P < 0.05$), while presenting lower neutral detergent fiber corrected for ash and protein, acid detergent fiber, and cellulose in relation to the other genotypes studied ($P < 0.05$). The *in vitro* true digestibility of neutral detergent fiber was high for the genotypes *N. cochenillifera* Salm Dyck and *N. cochenillifera* Dyck, which also presented high *in vitro* total gas production ($P < 0.05$). The cactus pear genotypes show adequate chemical characteristics to be composed part of diets offered to ruminants. However, supplementation is necessary to increase the dry matter and fiber contents. The *Nopalea cochenillifera* Salm Dyck genotype presented the highest proportions of total digestible nutrients, non-fibrous carbohydrates, non-protein nitrogen, unavailable nitrogen fraction total, and high gas production in relation to the other analyzed genotypes 24 months after field crop establishment.

Keywords: Degradability; Digestibility; *in vitro* fermentation; *Nopalea*; *Opuntia*.

Introdução

O Semiárido brasileiro abrange uma área de aproximadamente 969.589,4 km², o que corresponde a 11,39% do território nacional⁽¹⁾. O Nordeste brasileiro possui 70% de sua área inserida no semiárido, caracterizado pela baixa pluviosidade, o que dificulta o estabelecimento de atividades agrícolas⁽²⁾. Nessas condições, a vegetação local tende a

diminuir ou cessar sua produção de biomassa, ao mesmo tempo em que reduz o valor nutricional, na maioria dos casos. Com isso, há uma irregularidade na oferta de recursos, tornando a produção de alimentos para a pecuária o principal desafio nesta região⁽³⁾. Assim, torna-se necessário otimizar recursos para garantir o abastecimento de alimentos, principalmente em tempos de escassez.

A palma forrageira tem sido uma alternativa amplamente utilizada pelos agricultores por ser rica em energia, apresentar adaptabilidade e alto potencial para produção de biomassa no semiárido⁽⁴⁾. Genótipos de palma forrageira pertencentes aos gêneros *Opuntia* e *Nopalea* possuem características e propriedades anatômicas e fisiológicas que permitem seu crescimento e desenvolvimento em regiões de terras secas e solos pobres⁽⁵⁾. Alves et al.⁽⁶⁾ estimam que no território nacional, cerca de 147.439 ha são cultivados com *Opuntia ficus-indica* (cv. Gigante, Redonda e Clone IPA-20), *Opuntia stricta* Haw (cv. Orelha de Elefante Mexicana), *Nopalea cochenillifera* Dyck (cv. IPA-Sertânia) e *Nopalea cochenillifera* Salm Dyck (Miúda). Esses genótipos são usados para a produção de frutas e vegetais, consumo humano, ração animal, conservação do solo, biomassa para produção de energia, cochonilha para produção de carmim e como ingrediente na composição de bebidas, medicamentos e cosméticos⁽¹⁾.

Um dos principais atributos da palma forrageira é o alto teor de água (89%⁽⁷⁾). Assim, esse alimento representa uma reserva estratégica para a conservação da água oferecida aos ruminantes da região semiárida, que sofre constantemente com irregularidades na disponibilidade de água potável para esses animais⁽¹⁾. Além disso, possui baixos teores de fibra em detergente neutro (304 g/kg de matéria seca) e fibra de detergente ácido (159,7 g/kg de matéria seca)⁽⁷⁾ e alto teor de carboidratos não fibrosos (471,5 g/kg de matéria seca⁽⁸⁾). Embora seja um alimento rotineiramente utilizado para alimentação de ruminantes no Semiárido Brasileiro, até onde sabemos, estudos comparativos sobre fracionamento de carboidratos, compostos nitrogenados e parâmetros cinéticos da degradação ruminal *in vitro* de diferentes genótipos de palma forrageira são escassos^(9,10).

A determinação das frações de carboidratos e proteínas e dos parâmetros cinéticos de degradação ruminal é de extrema importância para o nutricionista animal⁽¹¹⁾. Essas informações podem ser utilizadas em formulações de ração para ruminantes de forma a maximizar a sincronização entre a degradação de carboidratos e compostos nitrogenados, minimizando as perdas de energia e nitrogênio relacionadas a fermentação ruminal e promovendo uma maior eficiência da síntese microbiana⁽¹²⁾.

Objetivou-se avaliar a composição química, fracionamento de carboidratos e compostos nitrogenados, parâmetros de degradação e fermentação ruminal *in vitro* de genótipos de palma forrageira disponíveis para ruminantes no Semiárido Brasileiro.

Material e métodos

Análises laboratoriais

As análises laboratoriais foram conduzidas na Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Garanhuns (UFRPE – UAG), em Garanhuns, Pernambuco - Brasil, localizada no Agreste Meridional de Pernambuco (8° 53' 25"

latitude sul e 36° 29' 34" longitude oeste, com 896 metros acima do nível do mar). O clima da região é classificado como tropical do tipo Aw', segundo a classificação climática de Köppen e Geiger⁽¹³⁾, com temperatura média anual de 21,2 °C e precipitação média anual de 897 mm, sendo os meses Maio, Junho, Julho e Agosto os mais chuvosos. A região é caracterizada por verões quentes e secos e invernos amenos e úmidos, com umidade relativa variando de 75 a 83%. O solo da região é classificado como um Neossolo Regolítico eutrófico típico⁽¹⁴⁾.

Amostras e delineamento experimental

O experimento foi conduzido em delineamento experimental inteiramente casualizado, com 4 genótipos de palma forrageira (tratamentos) e 4 repetições por genótipo. Os genótipos de palma forrageira avaliados foram: *Nopalea cochenillifera* Salm Dyck, *Nopalea cochenillifera* Dyck, *Opuntia ficus indica* Mill e *Opuntia stricta* Haw, todas *in natura*. As amostras foram coletadas na Estação Experimental de São Bento do Una, Pernambuco - Brasil, pertencente ao Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), localizado na mesorregião do Vale do Ipojuca (8° 31' 16" latitude sul e 36° 33' 0" longitude oeste, com 614 metros acima do nível do mar). O clima é classificado, segundo Köppen e Geiger⁽¹³⁾, como BSwH' (Tropical Semiárido, quente e seco), com chuvas concentradas no verão, sendo que as maiores precipitações ocorrem entre Janeiro e Março. A estação seca se inicia em Maio e se prolonga até Dezembro e as menores precipitações são verificadas nos meses de Setembro e Outubro. O solo da região é classificado como um Neossolo Regolítico⁽¹⁴⁾. A precipitação média no ano das coletas foi de 700,8 mm.

As amostras foram coletadas aleatoriamente de quatro pontos distintos nos campos de cultivo (aproximadamente 0,5 ha) de cada genótipo de palma forrageira, perfazendo quatro repetições por amostra de cada genótipo. As plantas de borda (2 linhas externas) de cada parcela de cultivo e as plantas estabelecidas nas extremidades das linhas intermediárias foram desconsideradas durante a coleta. Plantas inteiras foram coletadas (cerca de 5 cm do nível do solo), 24 meses após o estabelecimento da cultura no campo.

Preparação das amostras para análise

Os genótipos de palma forrageira foram picados com o auxílio de uma faca, homogeneizados manualmente e material picado foi distribuído em bandejas plásticas. As amostras foram pré-secas em estufa de ventilação forçada a 55 °C por 72-h e moídas em partículas de 1 mm e 2 mm (moinho Wiley, Marconi, MA - 580, Piracicaba, Brasil) para determinação da composição química, fracionamento dos carboidratos e compostos nitrogenados e para os ensaios de produção de gás, degradabilidade e digestibilidade *in vitro*.

Análises químicas

Todas as análises químicas foram realizadas utilizando os procedimentos descritos pela AOAC⁽¹⁵⁾ para matéria seca (MS, método 967.03), matéria orgânica (MO), matéria mineral (MM, método 942.05), extrato etéreo (EE, método 920.29) e proteína bruta (PB, método 981.10). A fibra em detergente neutro (FDN) e a fibra em detergente ácido (FDA) foram determinadas de acordo com a metodologia proposta por Van Soest et al.⁽¹⁶⁾. A fibra em detergente neutro corrigida para cinzas e proteína (FDNcp) foi analisada usando alfa-amilase termoestável, sem sulfito de sódio^(17,18) e a lignina foi

determinada pelo tratamento do resíduo da fibra em detergente ácido com ácido sulfúrico 72%⁽¹⁹⁾. A pectina foi quantificada de acordo com Canteri-Shemin et al.⁽²⁰⁾ com alterações de Zanella e Taranto⁽²¹⁾. As frações de celulose (CEL) e hemicelulose (HEM) foram estimadas pelas equações: CEL = FDA - LIG e HEM = FDN - FDA.

Fracionamento dos carboidratos

Os carboidratos totais (CT) foram estimados por meio da equação proposta por Sniffen et al.⁽²²⁾, a saber: CT (% MS) = 100 - (PB + EE + MM). Os carboidratos não fibrosos (CNF), correspondente às frações A + B1, foram determinados pela equação CNF = 100 - (PB + FDN_{cp} + EE + MM). A fração B2 (fibra digestível) foi obtida pela diferença entre o carboidrato total FDN_{cp} e a fração C (fibra indigestível). A fração C foi obtida pelo FDN indigestível após 288 horas de incubação *in situ*, conforme descrito por Huhtanen et al.⁽²³⁾.

Compostos nitrogenados

Os níveis de nitrogênio não protéico (NNP), nitrogênio insolúvel em detergente neutro (NIDN) e ácido (NIDA) foram determinados de acordo com Licitra et al.⁽¹⁷⁾. O fracionamento da proteína foi calculado pelo sistema CNCPS⁽²²⁾. A proteína foi analisada e calculada em cinco frações, A, B1, B2, B3 e C. A fração A (NNP), foi determinada pela diferença entre o N total e o nitrogênio insolúvel em ácido tricloroacético (TCA), com a fórmula: A (%Nt) = Nt - N1/Nt x 100, onde Nt = nitrogênio total da amostra e N1 = teor de nitrogênio insolúvel em ácido tricloroacético.

A fração B1 refere-se à proteína solúvel rapidamente degradada no rúmen, obtida pela diferença entre o nitrogênio insolúvel do tampão borato-fosfato (TBF) menos o NNP, pela fórmula: B1 (%Nt) = N1 - N2 / Nt x 100, onde: N2 = nitrogênio insolúvel em tampão borato-fosfato. As frações B2 e B3 consistem em proteína insolúvel com taxa de degradação intermediária-lenta no rúmen, determinada pela diferença entre o nitrogênio insolúvel do tampão borato-fosfato e o NIDN, o NIDN menos o NIDA, respectivamente. O valor da fração B2 foi determinado pela equação: B2 (% Nt) = N2 - NIDN/Nt x 100, e a fração B3: B3 (%Nt) = NIDN - NIDA/Nt x 100. A fração C é formada pela proteína insolúvel indigestível no rúmen e no intestino e foi determinada pelo teor de nitrogênio residual da amostra após tratamento com detergente ácido e expresso em porcentagem de Nt da amostra.

Os nutrientes digestíveis totais (NDT) foram estimados de acordo com o NRC⁽²⁴⁾ pela equação: %NDT = CNFd + PBd + (AGd x 2,25) + FDNd - 7, onde 7 é o NDT fecal metabólico; CNFd são carboidratos não fibrosos digestíveis; PBd é a proteína bruta digestível; AGd são ácidos graxos digestíveis; FDNd corresponde a FDN corrigida para nitrogênio digestível. Para o cálculo de CNFd utilizou-se a equação: CNFd = 0,98 x [100 - (%PB + %EE + %FDNn + %MM)] x PAF, onde PAF é um fator de ajuste igual a 1 para todos os genótipos de acordo com NRC⁽²⁴⁾. Para o cálculo de PBd e AGd foram utilizadas as equações: PBd = PB - exp^[-1,2 x (PIDA/PB)] e AGd = EE - 1, levando em consideração que para alimentos com teores de EE < 1, AGd = 0. A FDNd foi obtida em ensaio de degradabilidade *in vitro* por 48 horas conforme NRC⁽²⁴⁾. A energia digestível (DE) foi estimada pela equação⁽²⁴⁾: ED = (CNFd/100) x 4,2 + (FDNd/100) x 4,2 + (PBd/100) x 5,6 + (AGd/100) x 9,4 - 0,3.

Cinética da produção de gases e degradabilidade ruminal "in vitro"

A degradabilidade foi determinada de acordo com Tilley e Terry⁽²⁵⁾ através da incubação

in vitro de 600 mg de amostra seca ao ar com 60 mL de solução tampão (combinação das soluções A + B com pH 6,8) e 15 mL de inóculo coletado de dois caprinos fistulados no rúmen, filtrado em quatro camadas de gaze, injetando constantemente gás carbônico para manter o ambiente anaeróbico. As incubações ocorreram nos tempos 0, 3, 6, 9, 12, 18, 24, 36 e 48 horas. As amostras no tempo 0 passaram apenas por uma lavagem com água destilada a 39 °C. Os demais tempos foram incubados em estufa com temperatura constante de 39 °C.

Para digestibilidade verdadeira *in vitro* da matéria seca (DVIVMS), adotou-se a metodologia dos dois estágios descrita por Tilley e Terry⁽²⁵⁾ considerando as modificações propostas por Holden⁽²⁶⁾ através de incubações *in vitro* de 1 g de amostra seca ao ar, com 80 mL de solução tampão e 20 mL de fluido ruminal, filtrados em quatro camadas de gaze, injetando constantemente dióxido de carbono para manter o ambiente anaeróbico. Após 48 horas de incubação, 6 mL de ácido clorídrico (HCl) a 20% e 2 mL de pepsina (1:1000) foram adicionados a cada frasco e, após o período de incubação de 24 horas, foram realizados os procedimentos (filtragem a vácuo, secagem e pesagem dos resíduos) para cálculo do DVIVMS.

Os parâmetros de degradação *in vitro* (a, b e c) e a degradabilidade potencial da matéria seca foram estimados usando o modelo proposto por Ørskov e McDonald⁽²⁷⁾: $DP = a + b(1 - e^{-ct})$ usando o procedimento PROC NLIN do programa estatístico SAS, onde "PD" é a porcentagem real do nutriente degradado após t horas de incubação, "a" é a fração rapidamente solúvel, "b" é a fração que pode ser degradada se houver tempo, "c" é a velocidade ou taxa de degradação da fração "b" e "t" é o tempo de incubação. Para estimar a degradabilidade efetiva (DE), a seguinte equação foi usada: $DE = a + (b * c)/(c + k)$, onde k é a taxa de passagem do alimento. As taxas de passagem de partículas do rúmen são estimadas em 0,02, 0,05 e 0,08 h⁻¹, conforme sugerido pelo AFRC⁽²⁸⁾.

Para produção de gases *in vitro*, foi adicionado 1,0 g de amostra em frascos de vidros (160 mL), nos quais foram adicionados 90 mL de meio de cultura conforme Theodorou et al.⁽²⁹⁾. Na sequência, 10 mL de fluido ruminal (oriundo de três caprinos fistulados no rúmen) foram adicionados em cada frasco, que foram mantidos sob aspersão de CO₂. Em seguida os frascos foram vedados com rolhas de borracha e lacres de alumínio. A pressão causada pela fermentação foi aferida usando um transdutor de pressão (Datalogger Universal Logger AG100). As leituras foram feitas em maior frequência durante o período inicial e reduzidas posteriormente (2, 4, 6, 8, 10, 12, 15, 18, 21, 24, 30, 36, 42 e 48 horas de incubação). Os dados de pressão (P) em psi (pressão por polegada quadrada) foram convertidos em volume de gás (V) através da equação $V = 5,1612P - 0,3017$, R² = 0,9873, gerada no gerado no Laboratório de Produção de Gases (LPG) da Unidade Acadêmica de Garanhuns - UFRPE, a partir de 937 observações, 1 psi = 4,859 mL de gás. De cada leitura de pressão, foi subtraído o total produzido pelos frascos sem substrato (branco), referentes a cada amostra.

A produção cumulativa de gases foram analisados usando o modelo bicompartimental de Gompertz, citado por Schofield et al.⁽³⁰⁾ usando o procedimento NLMIXED do SAS (versão 9.3, SAS Institute Inc., Cary, North Carolina, USA)⁽³¹⁾: $V(t) = Vf1/[1 + e^{(2 - 4Kd1(L - T))}] + Vf2/[1 + e^{(2 - 4Kd2(L - T))}]$, onde: V(t) = volume máximo total de gases produzidos; Vf1 = volume máximo de gás para a fração de rápida degradação (carboidratos não fibrosos; CNF); Vf2 = volume máximo de gás para a fração de lenta degradação (carboidratos fibrosos; CF); Kd1 = taxa de degradação específica para a fração de rápida degradação;

Kd2 = taxa de degradação específica para a fração de lenta degradação; L = duração dos eventos iniciais de digestão (tempo de latência), comum a ambas as fases, e; T = tempo de fermentação (horas).

O modelo bicompartimental de Gompertz foi escolhido assumindo que a taxa de produção de gases é proporcional à atividade microbiana, mas a proporcionalidade diminui com o tempo de incubação, o que pode ser atribuído à perda de eficiência na taxa de fermentação com o tempo⁽³⁰⁾.

Análise estatística

Os dados foram submetidos aos testes de Shapiro-Wilk e Levene para verificar a normalidade dos resíduos e homogeneidade das variâncias, respectivamente. Uma vez atendidas as premissas, foram testados por análise de variância utilizando o procedimento *General Linear Model* (PROC GLM). Os dados da cinética da fermentação *in vitro* foram analisados usando o procedimento *Non-Linear Mixed* (PROC NL MIXED), e foram estimados através do método dos mínimos quadrados usando o processo iterativo de Gauss Newton. Os parâmetros de fermentação foram gerados a partir de dados observados em diferentes tempos de incubação *in vitro*. Todos os dados foram comparados pelo teste de Tukey com nível de significância de 5% usando o software Statistical Analysis System⁽³¹⁾.

Resultados

A palma forrageira do genótipo *N. cochenillifera* Salm Dyck apresentou maiores conteúdos de MS (P<0,001), PIDA (P<0,001), CNF (P<0,001), NDT (P= 0,008) e ED (P= 0,003) e menores conteúdos de FDNcp, FDA e CEL (Tabela 1). As for ADF, there were variations from 102.9 g/kg DM for *N. cochenillifera* Salm Dyck to 188.4 g/kg DM for *O. ficus indica* Mill (Table 1). MO e pectina foram maiores para os genótipos *N. cochenillifera* Salm Dyck e *O. ficus indica* Mill (P<0,05). Os teores de FDNcp foram maiores (P<0,05) para o genótipo *O. ficus indica* Mill e menores (P<0,05) para o genótipo *N. cochenillifera* Salm Dyck. A FDA variou de 102,9 g/kg de MS para *N. cochenillifera* Salm Dyck a 188,4 g/kg de MS para *O. ficus indica* Mill (Tabela 1). Just as ADL was higher (P<0,05) for the genotype *O. ficus indica* Mill, although it was low for all genotypes (Table 1). O maior teor de LDA foi observado para o genótipo *O. ficus indica* Mill (P<0,05; Tabela 1). Para MM, valores mais elevados foram encontrados para os genótipos *O. stricta* Haw e *N. cochenillifera* Dyck (P<0,05; Tabela 1). Não foram encontradas diferenças para os conteúdos de EE (P= 0,890; Tabela 1).

Tabela 1. Composição química dos genótipos de palma forrageira

Variáveis	Genótipos de palma forrageira				EPM	Valor P
	<i>Nopalea cochenillifera</i> Salm Dyck	<i>Opuntia ficus indica</i> Mill	<i>Opuntia stricta</i> Haw	<i>Nopalea cochenillifera</i> Dyck		
MS (g/kg MN)	138,1a	95,6b	52,5d	70,1c	8,57	<0,001
MM (g/kg MS)	110,2b	122,4b	159,9a	167,3a	7,27	0,008
MO (g/kg MS)	889,8a	877,6a	840,1b	832,7b	7,27	0,008
EE (g/kg MS)	9,2	10,2	8,8	8,6	0,72	0,89
PIDN (g/kg PB)	567,6b	756,0a	374,7c	311,2c	46,9	<0,001
PIDA (g/kg PB)	353,8a	183,3b	200,7b	187,6b	19,19	<0,001
CNF (g/kg MS)	728,0a	587,8b	602,2b	617,8b	15,86	<0,001
PEC (g/kg MS)	382,5a	312,6a	155,6b	223,5b	23,6	<0,001
FDNcp (g/kg MS)	114,5c	204,7a	154,8b	150,5b	8,59	<0,001
FDA (g/kg MS)	102,9c	188,4a	139,9b	140,1b	8,13	<0,001
CEL (g/kg MS)	94,9c	165,9a	128,6b	133,8b	6,42	<0,001
LDA (g/kg MS)	8,0c	22,5a	11,3b	6,3c	1,65	<0,001
NDT (g/kg MS)	709,4a	659,9b	650,9b	654,1b	0,62	0,008
ED (Mcal/kg MS)	3,0a	2,9b	2,8b	2,8b	0,03	0,003

Genótipos de palma forrageira: Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck), IPA Sertânia (*Nopalea cochenillifera* Dyck), Gigante (*Opuntia ficus indica* Mill) e Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* Haw); EPM - Erro padrão da média; MN - Matéria natural; MS - Matéria seca; MM - Matéria mineral; MO - Matéria orgânica; EE - Extrato etéreo; PB - Proteína bruta; PIDN - Proteína insolúvel em detergente neutro; PIDA - Proteína insolúvel em detergente ácido; CNF - Carboidratos não fibrosos; PEC - Pectina; FDNcp - Fibra em detergente neutro corrigido para cinzas (c) e proteínas (p); FDA - Fibra em detergente ácido; CEL - Celulose; LDA - Lignina em detergente ácido; NDT - Nutrientes digestíveis totais; ED - Energia digestível; Médias seguidas por letras distintas diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (P<0,05).

A palma forrageira do genótipo *N. cochenillifera* Salm Dyck apresentou a maior proporção de carboidratos totais (P= 0,0011) e da fração A + B1 (P<0,001) (Table 2). O genótipo *O. ficus indica* Mill apresentou a maior concentração da fração B2 (fibra

potencialmente digestível) ($P < 0,001$). Quanto à fração C, os maiores valores foram observados para o genótipo *O. stricta* Haw ($P < 0,001$; Tabela 2).

O maior conteúdo de proteína bruta foi observado para os genótipos *O. ficus indica* Mill e *O. stricta* Haw em relação a *N. cochenillifera* Salm Dyck, não diferindo da *N. cochenillifera* Dyck ($P = 0,003$). Para o fracionamento dos compostos nitrogenados, o genótipo *N. cochenillifera* Salm Dyck apresentou as maiores concentrações das frações A ($P = 0,001$) e C ($P < 0,001$) (Tabela 2). Maiores concentrações da fração B1 + B2, correspondente às frações alta e média de degradação ruminal, foram observadas para os genótipos *O. stricta* Haw e *N. cochenillifera* Dyck ($P < 0,001$; Tabela 2). O genótipo *O. ficus indica* Mill apresentou maior concentração de fração B3 ($P < 0,001$; Tabela 2).

Tabela 2. Fracionamento dos carboidratos e compostos nitrogenados de genótipos de palma forrageira

Variáveis	Genótipos de palma forrageira				EPM	Valor P
	<i>Nopalea cochenillifera</i> Salm Dyck	<i>Opuntia ficus indica</i> Mill	<i>Opuntia stricta</i> Haw	<i>Nopalea cochenillifera</i> Dyck		
<i>Fracionamento dos carboidratos</i>						
CT (g/kg MS)	842,6a	792,5b	757,0b	768,3b	10	0,011
A+B1 (g/kg CT)	866,9a	741,7c	795,4b	803,3b	12,1	<0,001
B2 (g/kg CT)	101,0c	221,0a	137,9b	159,0b	11,8	<0,001
C (g/kg CT)	34,9b	37,3b	66,7a	37,7b	19,2	<0,001
<i>Compostos nitrogenados</i>						
PB (g/kg MS)	38,1b	74,9a	74,3a	55,8ab	4,8	0,003
A (g/kg PB)	213,4a	102,9b	90,9b	136,4b	13,7	0,001
B1+B2 (g/kg PB)	219,0b	141,1b	534,4a	552,4a	49,8	<0,001
B3 (g/kg PB)	213,8b	572,7a	173,99b	123,6b	47	<0,001
C (g/kg PB)	353,8a	183,3b	200,7b	187,6b	19,2	<0,001

Genótipos de palma forrageira: Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck), IPA Sertânia (*Nopalea cochenillifera* Dyck), Gigante (*Opuntia ficus indica* Mill) e Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* Haw); EPM - Erro padrão da média; *Fracionamento dos carboidratos*: CT - Carboidratos totais, A+B1 - fração solúvel, B2 - fibra potencialmente degradável, C - fibra indigestível. *Compostos nitrogenados*: PB - Proteína bruta, A - Nitrogênio não proteico, B1+B2 - fração nitrogenada de alta e média degradação ruminal, B3 - fração nitrogenada de lenta degradação, C - fração nitrogenada indisponível; Médias seguidas por letras distintas diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Os maiores valores para fração solúvel de MS *in vitro* foram observados para o genótipo *O. stricta* Haw (456,4 g/kg) em relação aos demais genótipos ($P < 0,001$; Tabela 3). A fração lentamente degradável da MS *in vitro* variou de 423.2 a 640.4 g/kg de MS, com menor valor médio para *O. stricta* Haw ($P < 0,001$; Tabela 3). O genótipo *O. stricta* Haw

apresentou maior degradabilidade efetiva em função do tempo de incubação de acordo com as taxas lenta, média e rápida ($P < 0,05$; Tabela 3). Não foram observadas diferenças entre os genótipos de palma forrageira para taxa de degradação (c , %/h) ($P = 0,070$), degradação potencial ($P = 0,220$) e digestibilidade verdadeira da matéria seca *in vitro* ($P = 0,344$) (Tabela 3).

Tabela 3. Parâmetros de degradação e digestibilidade *in vitro* de genótipos de palma forrageira

Variáveis	Genótipos de palma forrageira				EPM	Valor P
	Nopalea cochenillifera Salm Dyck	Opuntia ficus indica Mill	Opuntia stricta Haw	Nopalea cochenillifera Dyck		
a (g/kg MS)	262,0b	264,1b	456,4a	324,0b	21,8	<0,001
b (g/kg MS)	604,9ab	640,4a	423,2c	565,8b	21,8	<0,001
c (%/h)	1,1	0,7	0,8	0,7	0,06	0,07
DE (0,02/h)	766,1b	766,0b	797,2a	754,0b	5	0,003
DE (0,05/h)	666,6b	643,0b	721,5a	641,4b	8,8	<0,001
DE (0,08/h)	600,5b	568,5c	673,8a	576,0bc	1,2	<0,001
DP (g/kg MS)	866,9	904,5	879,6	889,8	6,6	0,22
DVIVFDN (g/kg FDN)	778,1a	521,4c	678,7b	814,9a	30,5	<0,001
DVIVMS (g/kg MS)	826	798,7	820,8	827,2	6,1	0,344

Genótipos de palma forrageira: Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck), IPA Sertânia (*Nopalea cochenillifera* Dyck), Gigante (*Opuntia ficus indica* Mill) e Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* Haw); EPM - Erro padrão da média; *a*, *b* e *c* referem-se aos parâmetros de Orskov & McDonald (1979); DE - degradabilidade efetiva para taxa de passagem igual a 0.02, 0.05 e 0.08 h⁻¹; DP - degradabilidade potencial representada pelo somatório de *a* e *b*; DVIVFDN - Digestibilidade verdadeira *in vitro* da fibra em detergente neutro; DVIVMS - Digestibilidade verdadeira *in vitro* da matéria seca; Médias seguidas por letras distintas diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

As curvas de degradabilidade em função dos tempos de incubação foram semelhantes para todos os genótipos de palma forrageira (Figura 1).

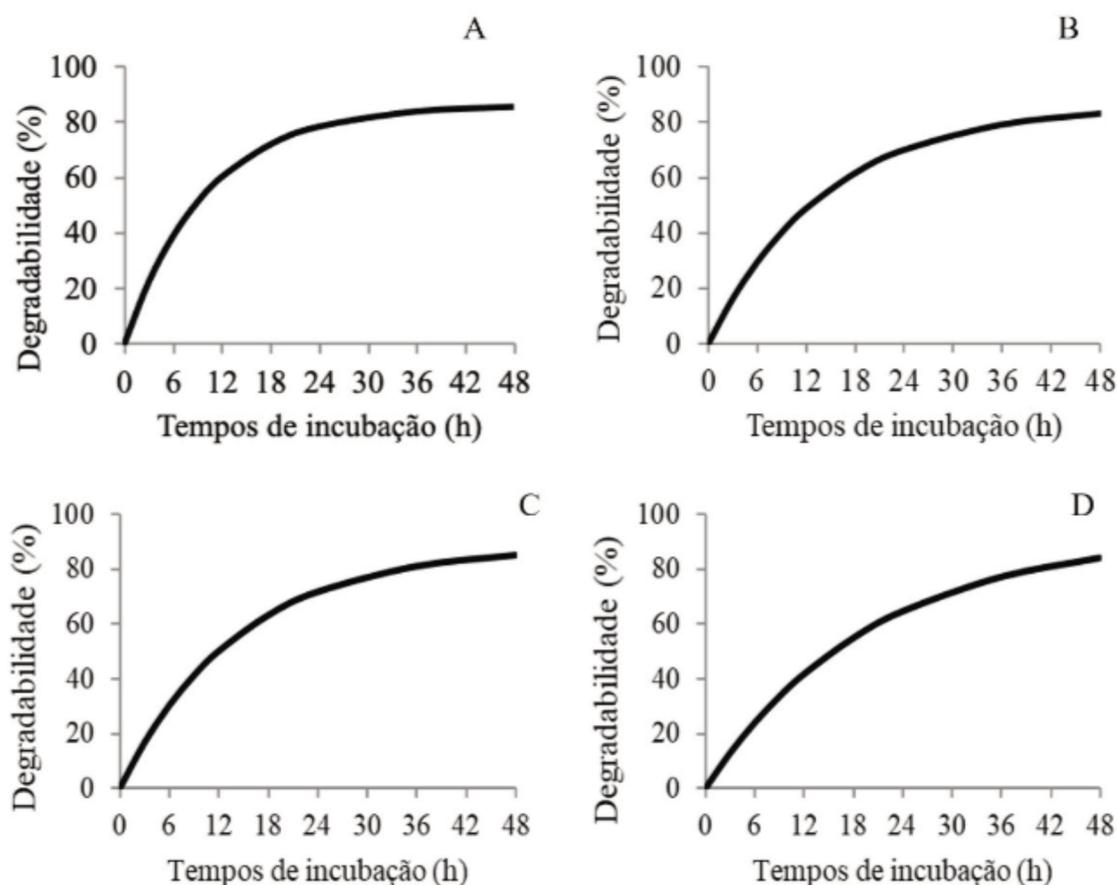


Figura 1. Curvas de degradabilidade da matéria seca de genótipos de palma forrageira em função dos tempos de incubação *in vitro* (A - *Nopalea cochenillifera* Salm Dyck; B - *Opuntia ficus indica* Mill; C - *Opuntia stricta* Haw; D - *Nopalea cochenillifera* Dyck).

Tabela 4. Cinética da produção de gases *in vitro* de genótipos de palma forrageira

Variáveis	Genótipos de palma forrageira				EPM	Valor P
	<i>Nopalea cochenillifera</i> Salm Dyck	<i>Opuntia ficus indica</i> Mill	<i>Opuntia stricta</i> Haw	<i>Nopalea cochenillifera</i> Dyck		
Vf1 (mL/g MS)	220,6a	174,6b	193,2b	177,9b	60	0,008
Kd1 (mL/g MS/h)	0,05	0,04	0,04	0,04	0,01	0,07
L (h)	3,6a	3,4a	2,4b	3,4a	1,3	0,001
Vf2 (mL/g MS)	115,4a	99,0b	99,4b	121,7a	30,3	0,001
Kd2 (mL/g MS/h)	0,14b	0,13b	0,16a	0,12b	0,04	0,005
V(t) (mL/g MS)	341,1a	277,9b	297,7b	303,4ab	72,1	0,003
V(t)2 (mL/g MS)	336,0a	273,7b	292,6b	299,6ab	71,2	0,003

Genótipos de palma forrageira: Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck), IPA Sertânia (*Nopalea cochenillifera* Dyck), Gigante (*Opuntia ficus indica* Mill) e Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* Haw); EPM - Erro padrão da média; Vf1 - volume máximo de gás para a fração de rápida degradação (carboidratos não fibrosos; CNF), Kd1 - taxa de degradação específica para a fração de rápida degradação, L - duração dos eventos iniciais de digestão (tempo de latência), comum a ambas as fases, Vf2 - volume máximo de gás para a fração de lenta degradação (carboidratos fibrosos; CF), Kd2 - taxa de degradação específica para a fração de lenta degradação, V(t) - volume máximo total de gases produzidos, V(t)2 - Produção total de gases ajustada pelo modelo bicompartimental ($V(t)2 = Vf1 + Vf2$); Médias seguidas por letras distintas diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Maiores volumes de gases para a fração de lenta degradação foram observados para os genótipos *N. cochenillifera* Salm Dyck (115,4 mL/g MS) e *N. cochenillifera* Dyck (121,7 mL/g MS) ($P = 0.001$; Tabela 4). O genótipo *N. cochenillifera* Salm Dyck apresentou a maior produção total de gás ($V(t) - 341,1$ mL e $V(t)2 - 336,0$ mL) (Tabela 4). As taxas de degradação $Kd1$ foram semelhantes para todos os genótipos ($P = 0,007$; Tabela 4).

As curvas da produção cumulativa de gases dos genótipos de palma forrageira apresentaram forma sigmóide (Figura 2), a qual normalmente é encontrada para as curvas de produção cumulativa de gases em estudos de degradação *in vitro*. As curvas foram semelhantes entre todos os genótipos estudados. Pode-se observar que, entre 12 e 30 horas de fermentação, as curvas de produção cumulativa de gases apresentaram um decréscimo na produção de gás, evidenciando uma tendência de estabilização após às 30 horas de fermentação.

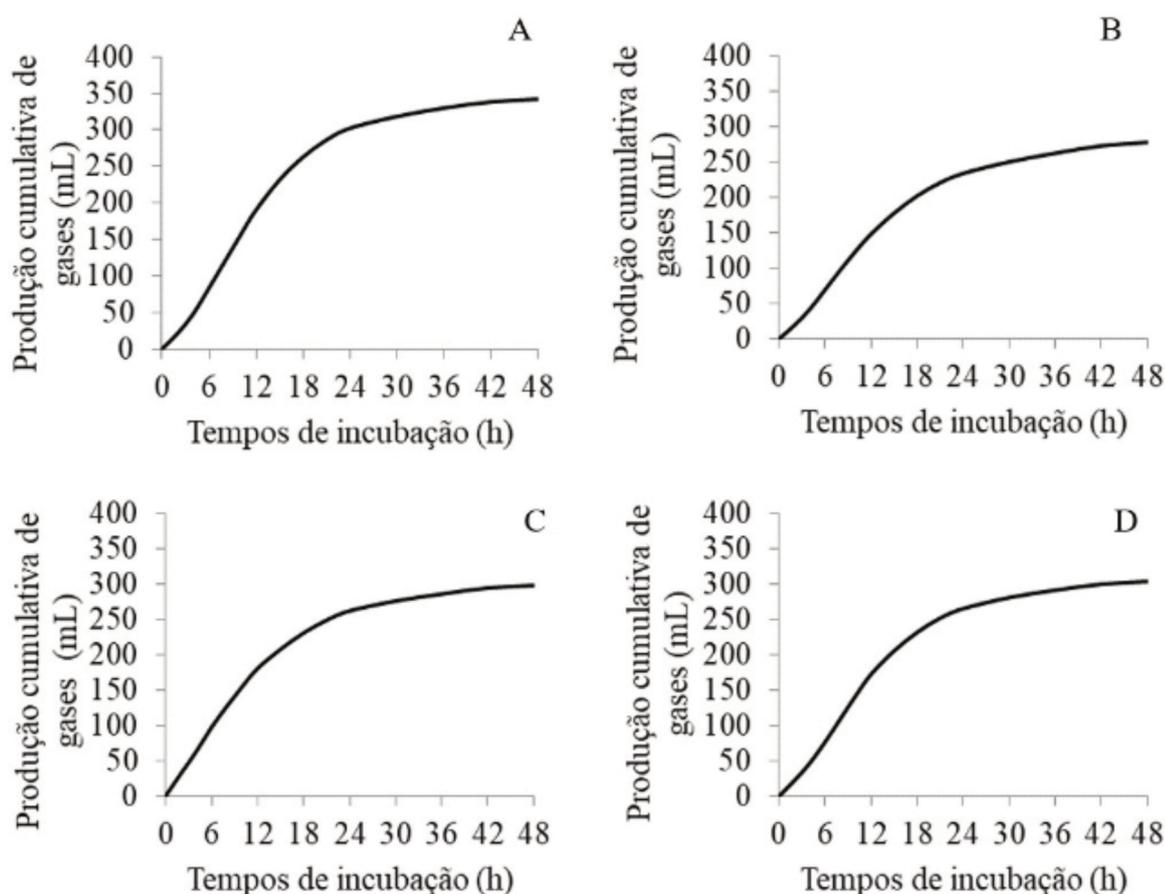


Figura 2. Produção cumulativa de gases *in vitro* de genótipos de palma forrageira em função dos tempos de incubação (A - *Nopalea cochenillifera* Salm Dyck; B - *Opuntia ficus indica* Mill; C - *Opuntia stricta* Haw; D - *Nopalea cochenillifera* Dyck).

Discussão

A palma forrageira apresenta em sua composição baixos teores de matéria seca e proteína e elevados níveis de carboidratos⁽³²⁾. Devido às baixas concentrações de MS na palma forrageira, quando há grande oferta desse alimento aos animais, as necessidades de MS podem ser comprometidas. Por outro lado, esta característica representa uma grande contribuição de água para os animais, devido ao alto teor de água que possuem. Isso é benéfico para o Semiárido, que tem a água como fator limitante para a produção animal⁽³³⁾.

A palma forrageira apresenta um alto teor de matéria mineral em sua composição devido a alta concentração de macrominerais, com destaque ao teor de Ca e cristais de oxalato de cálcio⁽³⁴⁾. Os dados obtidos para MM neste estudo são superiores aos obtidos por Silva et al.⁽³⁵⁾ que encontraram uma concentração média de MM de 11,9 g/kg MS para o gênero *Opuntia* e 11,7 g/kg MS para o gênero *Nopalea* e afirmam que, independente do gênero, a palma forrageira apresenta quantidades consideráveis de MM, porém esses valores variam de acordo com a espécie, idade dos cladódios, área geográfica e época do ano.

Nos genótipos *N. cochenillifera* Salm Dyck e *O. ficus indica* Mill mais de 300 g/kg MS é composta por pectina, que representa mais de 50% dos carboidratos não fibrosos, enquanto no genótipo *O. stricta* Haw esse valor é 25,8 %, ou seja, neste genótipo foi observada apenas metade da pectina presente em *N. cochenillifera* Salm Dyck e em *O. ficus indica* Mill. A pectina é um carboidrato estrutural que está presente na parede celular, mas é um carboidrato solúvel em detergente neutro, que faz parte dos carboidratos não fibrosos, portanto de maior potencial de degradabilidade pelos microrganismos ruminais. A alta presença de pectina em genótipos de palma forrageira foi relatada por Morales-Martínez et al.⁽³⁶⁾.

Os compostos fibrosos da palma forrageira, em geral, são considerados baixos por apresentarem concentração de FDN abaixo de 250 g/kg de MS, característica comum entre os cactos, requerindo a sua associação a uma fonte de fibra de alta efetividade. As diferenças entre os teores de FDA na palma forrageira são explicadas pela quantidade dos carboidratos presentes nessas plantas, que são uma importante fonte de energia para ruminantes que, segundo Van Soest⁽³⁷⁾, os utilizam para o desenvolvimento dos microrganismos que colonizam o rúmen, principalmente carboidratos não fibrosos (açúcar, amido, ácidos orgânicos e frutose), o que a caracteriza como alimento energético, não esquecendo sua adaptação às condições edafoclimáticas da região e alta produção de matéria seca por unidade de área.

Para todos os genótipos testados o conteúdo de NDT foi superior a 650 g/kg MS, confirmando a contribuição energética da palma forrageira para a nutrição animal. Os altos teores de ED e NDT nos diferentes genótipos podem ser explicados pelos altos níveis de carboidratos não fibrosos, que são carboidratos de fácil digestão, como o amido e a pectina.

Os carboidratos totais constituíram mais de 75% da MS. Acima de 90% dos CT apresentaram-se nas frações A e B, indicando que a maioria dos carboidratos está disponível para utilização pelos microrganismos ruminais, confirmando que todos os genótipos estudados podem ser caracterizados como alimentos energéticos. Neste

estudo, os genótipos apresentaram baixa concentração da fração C, o que pode resultar em alta digestibilidade dos carboidratos fibrosos⁽³⁸⁾. Assim, a importância do fracionamento dos carboidratos ingeridos por ruminantes baseia-se na classificação das bactérias ruminais quanto ao uso dos carboidratos que constituem a parede celular vegetal e daqueles carboidratos localizados no conteúdo celular sem funções estruturais⁽³⁹⁻⁴⁰⁾.

O baixo teor de proteína bruta é uma característica comum em cactáceas. No caso da palma forrageira, isso não é um problema, pois o teor de PB pode ser corrigido associando-o a ingredientes que são fontes de proteína e de nitrogênio não protéico (NNP). Da proteína total, as frações A e B representaram aproximadamente 80,0% nos genótipos *O. ficus indica* Mill, *O. stricta* Haw e *N. cochenillifera* Dyck (Tabela 2). Pode-se afirmar que, embora a palma forrageira se caracterize por apresentar baixa concentração protéica, grande parte dela está disponível para degradação microbiana. A fração C é composta por proteínas relacionadas à lignina, taninos e produtos da reação de Maillard altamente resistentes à degradação microbiana e enzimática, sendo considerada inaproveitável tanto no rúmen quanto no intestino.

Todos os genótipos apresentaram elevados teores de compostos solúveis devido à elevada quantidade de carboidratos de rápida degradação ruminal, em especial os açúcares solúveis e a pectina que essas plantas possuem em sua composição. Para a degradabilidade efetiva estimada de acordo com as taxas de passagem lenta, média e alta, os valores mais altos foram estimados para o genótipo *O. stricta* Haw. Mesmo com uma taxa de passagem considerada alta, observou-se uma degradabilidade efetiva acima de 55%, o que é satisfatório. Essa degradação potencial é considerada alta porque é uma estimativa da degradabilidade para todos os compostos que podem ser degradados durante o tempo de incubação. A alta digestibilidade verdadeira *in vitro* da MS de todos os genótipos estudados é um reflexo dos altos teores de carboidratos não fibrosos e baixos teores de lignina, o que pode explicar a elevada taxa de degradação da fração lentamente degradável da MS⁽⁴¹⁾.

Todos os genótipos apresentaram DVIVMS de aproximadamente 800 g/kg de MS, sendo considerada satisfatória. Os elevados valores de DVIVMS observados neste estudo estão parcialmente relacionados à quantidade e qualidade dos carboidratos presentes nesses genótipos, uma vez que mais de 75% da MS é composta por carboidratos totais e, destes, mais de 90% são considerados potencialmente digestíveis segundo o fracionamento de carboidratos (Tabela 2). Confirmando o que foi observado neste estudo, Gomez et al.⁽⁴²⁾ relataram que altas proporções de CNF, em geral, aumentam a digestibilidade da palma forrageira. Isso ocorre porque os CNF são prontamente degradados no rúmen, desaparecendo rapidamente e aumentando o suprimento de energia. Isso favorece o crescimento microbiano e, portanto, a digestão. A alta DVIVFDN dos genótipos *N. cochenillifera* Salm Dyck e *N. cochenillifera* Dyck são destacados. Possivelmente o maior resultado seja decorrente do baixo teor de lignina (<3%), que é um constituinte das células vegetais, com digestibilidade baixa ou nula. Portanto, não houve constituintes fibrosos de lenta digestão em quantidade suficiente para dificultar a DVIVMS e DVIVFDN desses genótipos.

O baixo tempo de latência da palma forrageira se deve às suas características físicas e químicas, visto que a fração solúvel é um substrato energético para microrganismos com fermentação rápida, o que facilita os processos de adesão e colonização do

substrato. Isso pode aumentar a fermentação dos carboidratos fibrosos e reduzir o tempo de latência⁽⁸⁾.

A alta produção de gases observada no genótipo *N. cochenillifera* Salm Dyck ocorreu porque este genótipo contém altas proporções de CNF e pectina. Os altos volumes de gás dos CF podem ser explicados pela alta DVIVFDN dos genótipos *N. cochenillifera* Salm Dyck e *N. cochenillifera* Dyck, uma vez que FDN mais digestível influencia a produção de gases a partir dos CF. Portanto, a fibra presente nesses dois genótipos pode ser utilizada por microrganismos ruminais e gerar altas proporções de energia para os animais.

É sabido que a produção de gases *in vitro* resulta quase que inteiramente dos carboidratos presentes no material incubado e indica degradação por microrganismos ruminais. Assim, *N. cochenillifera* Salm Dyck apresentou a maior produção total de gases (341,14 mL/g MS) sendo semelhante apenas ao genótipo *N. cochenillifera* Dyck (303,4 mL/g de MS), ambos pertencentes ao mesmo gênero (*Nopalea* sp.) (Tabela 4). A maior proporção de carboidratos totais presentes nesses genótipos, o baixo teor de lignina e as baixas frações de carboidratos indisponíveis (fração C) justificam os resultados observados. Além disso, esses mesmos genótipos apresentaram altos valores de DVINFDN, confirmando que a técnica de produção de gases *in vitro* pode ser utilizada para estimar a qualidade da digestão de carboidratos não fibrosos e fibrosos. O ajuste do modelo bicompartimental para a geração dos parâmetros de produção de gases *in vitro* foi considerado o melhor, pois separou a produção dos gases oriundos de carboidratos não fibrosos e fibrosos, gerando uma taxa de degradação para cada um desses componentes. O ajuste desse modelo pode ser observado pela semelhança dos valores reais (V(t)) com os valores estimados pelo modelo (V(t)²). Assim, o modelo bicompartimental é indicado para ajustar a cinética de produção de gases *in vitro* dos genótipos de palma forrageira estudados.

Conclusão

Os genótipos de palma forrageira apresentam características químicas adequadas para compor dietas oferecidas aos ruminantes, porém, é necessária suplementação para aumentar os teores de matéria seca e fibra. O genótipo *Nopalea cochenillifera* Salm Dyck apresenta as maiores proporções de nutrientes digestíveis totais, carboidratos não fibrosos, nitrogênio não protéico, fração total de nitrogênio não disponível e alta produção de gases, em relação aos demais genótipos analisados 24 meses após o estabelecimento da cultura no campo.

Conflitos de interesse

Os autores declaram não haver conflitos de interesse.

Agradecimentos

Agradecemos o apoio financeiro do Banco do Nordeste do Brasil (BNB) e a

Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior no Brasil (CAPES) –
Código de Financiamento 001.

Referências

1. Alves FAL, Andrade AP, Bruno RLA, Santos DC, Magalhães ALR, Silva DS. Chemical and nutritional variability of cactus pear cladodes, general *Opuntia* and *Nopalea*. Am. J. Food Techn. 2017; 12(1):25-34. Disponível em: <https://doi.org/10.3923/ajft.2017.25.34>.
2. Alvalá RCS, Cunha APMA, Brito SSB, Seluchi ME, Marengo JA, Moraes OLL, Carvalho MA. Drought monitoring in the Brazilian Semiarid region. An. Acad. Bras. Ci. 2019; 9(1):e20170209. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/0001-3765201720170209>.
3. Magalhães ALR, Sousa DR, Nascimento Júnior JRS, Gois GC, Campos FS, Santos KC, Nascimento DB, Oliveira LP. Intake, digestibility and rumen parameters in sheep fed with common bean residue and cactus pear. Biol. Rhyt. Res. 2019a; 50(1): 1-11. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/09291016.2019.1592351>.
4. Louhaichi M, Kumar S, Tiwari S, Islam M, Hassan S, Yadav OP, Dayal D, Moyo H, Dev R, Sarker A. Adoption and utilization of cactus pear in South Asia—Smallholder farmers’ perceptions. Sustain. 2018; 10(10):1-15. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su10103625>.
5. Mendoza PV, Sousa TC, Santos MVF, Mendoza OVV, Dubeux Junior JCB, Lira MA. Organic matter fertilization improves morphological variables in *Nopalea cochenillifera* Salm Dyck cv. Miúda grown as forage in Pernambuco, Brazil. Rev. Mex. Ci. Pec. 2019; 10(3):756-766. Disponível em: <https://doi.org/10.22319/rmcp.v10i3.4386>.
6. Alves FAL, Santos DC, Silva SMS, Silva MC, Mello DR. Metabolismo fotossintético de variedades de palma forrageira cultivadas no Semiárido brasileiro. Pesq. Agropec. Pernamb. 2020; 25(2):e2262252020. Disponível em: <https://doi.org/10.12661/pap.2020.009>.
7. Matias AGS, Araújo GGL, Campos FS, Moraes SA, Gois GG, Silva TS, Emerenciano Neto JV, Voltolini TV. Fermentation profile and nutritional quality of silages composed of cactus pear and maniçoba for goat feeding. J. Agr. Sci. 2020; 158(4):1-9. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S0021859620000581>
8. Pinho RMA, Santos EM, Oliveira JS, Carvalho GGP, Silva TC, Macêdo AJS, Corrêa YR, Zanine AM. Does the level of forage neutral detergent fiber affect the ruminal fermentation, digestibility and feeding behavior of goats fed cactus pear? An. Sci. J. 2018; 89(10):1-8. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/asj.13043>.
9. Cordova-Torres AV, Mendoza-Mendoza JC, Bernal-Santos G, García-Gasca T, Kawas JR, Costa RG, Jacobo CM, Andrade-Montemayor HM. Nutritional composition, *in vitro* degradability and gas production of *Opuntia ficus indica* and four other wild cacti species. Life Sci. J. 2015; 12(2s):42-54. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.7537/marslsj1202s15.07>.

10. Magalhães ALR, Teodoro AL, Gois G.C., Campos, F.S., Souza, J.S.R., Andrade, A.P., Lima, I.E., Oliveira Lp, Nascimento DB. Chemical and mineral composition, kinetics of degradation and *in vitro* gas production of native cactus. J. Agric. Stud. 2019b; 7(4):129–137. Disponível em: <https://doi.org/10.5296/jas.v7i4.15315>.
11. Santos CB, Costa KAP, Souza WF, Silva VC, Epifanio OS, Santos HS. Protein and carbohydrates fractionation in Paiaguas palisade grass intercropped with grain sorghum in pasture recovery. Acta Scient. An. Sci. 2019; 41(1):1-8. Disponível em: <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v41i1.42693>.
12. Harun AY, Sali K. Factors affecting rumen microbial protein synthesis: A review. Veterinary Medicine Open J. 2019; 4(1):27-35. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.17140/VMOJ-4-133>.
13. Köppen W, Geiger RG. Klimate der Erde. Gotha: Verlag Justus Perthes, Wall-map 150 cm × 200 cm. 1928.
14. Embrapa. Empresa brasileira de pesquisa agropecuária. Sistema brasileiro de classificação de solos, 5th ed. Brasília: Centro Nacional de Pesquisa de Solos; 2018. 356p. Portuguese.
15. Aoac. Association of Official Analytical Chemists. Official methods of analysis, 20th ed. Washington, D.C.: Latimer Jr., G.W.; 2016. 3172p.
16. 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(10):3583–3597. Disponível em: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2).
17. Licitra G, Hernandez TM, Van Soest PJ. Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feed. An. Feed Sci. Techn. 1996; 57(4):347-358. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(95\)00837-3](https://doi.org/10.1016/0377-8401(95)00837-3).
18. Mertens DR. Gravimetric determination of amylase-treated neutral detergent fiber in feeds with refluxing in beaker or crucibles: collaborative study. J. AOAC Int. 2002; 85(6):1217-1240. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12477183/>.
19. Silva DJ, Queiroz AC. Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos, 3th ed. Viçosa: Editora UFV; 2006. 235p.
20. Canteri-Schemin MH, Fertoni HCR, Waszczyński N, Wosiacki G. Extraction of pectin from apple pomace. Braz. Arch. Biol. Techn. 2005; 48(2):259–66. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-89132005000200013>.
21. Zanella K, Taranto OP. Influence of the drying operating conditions on the chemical characteristics of the citric acid extracted pectins from “pera” sweet orange (*Citrus sinensis* L. Osbeck) albedo and flavedo. J. Food Eng. 2015; 166(1):111–118. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.05.033>.
22. Sniffen CJ, O'Connor JD, Van Soest PJ. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. J. Anim. Sci. 1992; 70(11):3562-3577. Disponível em: <https://doi.org/10.2527/1992-7011-3562>.

[/doi.org/10.2527/1992.70113562x](https://doi.org/10.2527/1992.70113562x).

23. Huhtanen P, Seppälä A, Ots M, Ahvenjärvi S, Rinne M. *In vitro* gas production profiles to estimate extent and effective first-order rate of neutral detergent fiber digestion in rumen. J. Anim. Sci. 2008; 86(3):651–659. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.2527/jas.2007-0246>.

24. Nrc. Nutrient requirements of dairy cattle, 7th ed. Washington, D.C.: National Academy Press; 2001. 381p.

25. Tilley JMA, Terry RA. A two-stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops. J. Brit. Grass. Soc. 1963; 18(2):104–111. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2494.1963.tb00335.x>.

26. Holden LA. Comparison of methods of *in vitro* dry matter digestibility for ten feeds. J. Dairy Sci. 1999; 82(8):1791–1795. Disponível em: [https://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(99\)75409-3](https://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(99)75409-3).

27. Ørskov ER, McDonald I. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. J. Agr. Sci. 1979; 92(2):499–503. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S0021859600063048>.

28. Afrc. Agricultural and Food Research Council. Energy and protein requirements of ruminants. Wallingford: CAB International; 1993.159p.

29. Theodorou MK, Williams BA, Dhanoa MS, Mcallan AB, France J. A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant feeds. An. Feed Sci. Techn. 1994; 48(3-4):185–197. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(94\)90171-6](https://doi.org/10.1016/0377-8401(94)90171-6).

30. Schofield P, Pitt RE, Pell AN. Kinetics of fiber digestion from *in vitro* gas production. Journal of Animal Science. 1994; 72(11):2980–2991. Disponível em: <https://doi.org/10.2527/1994.72112980x>.

31. Sas. Statistical analysis system institute. SAS/STAT User's guide, version 9.3. Cary: SAS Institute; 2011.

32. Al-Arif MA, Suwanti LT, Estoepangestie ATS, Lamid M. The nutrients contents, dry matter digestibility, organic matter digestibility, total digestible nutrient, and NH₃ rumen production of three kinds of cattle feeding models. KnE Life Sci. 2017; 36(6):338–343. Disponível em: <https://doi.org/10.18502/cls.v3i6.1142>.

33. Pessoa DV, Andrade AP, Magalhães ALR, Teodoro AL, Santos DC, Araújo GGL, Medeiros AN, Nascimento DB, Valença RL, Cardoso DB. Forage cactus of the genus *Opuntia* in different with the phenological phase: Nutritional value. J. Arid Env. 2020; 181(104243):1-8. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2020.104243>.

34. Toit A, Wit M, Hugo A. Cultivar and harvest month influence the nutrient content of *Opuntia* spp. cactus pear cladode mucilage extracts. Mol. 2018; 23(4):1–12. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/molecules23040916>

35. Silva APG, Souza CCE, Ribeiro JES, Santos MCG, Pontes ALS, Madruga MS. Physical, chemical and
2021, Cienc. Anim. Bras., V22, e-69338

bromatological characteristics of the giant forage cactus (*Opuntia ficus-indica*) and small forage cactus (*Nopalea cochenillifera*) from Paraíba state (Brazil). Rev. Bras. Tec. Agroind. 2015; 9(2):1810-1820. Disponível em: <https://doi.org/10.3895/rbta.v9n2.1616>

36. Morales-Martínez Y, López-Cuellar MR, Chavarría-Hernández N, Rodríguez-Hernández AI. Rheological behaviour of acetylated pectins from cactus pear fruits (*Opuntia albicarpa* and *O. matudae*). Food Hydrocol. 2018; 85(1):110-119. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.07.009>.

37. Van Soest PJ Mertens DR. Nutritional ecology of the ruminant, 2nd ed. Cornell University Press: Ithaca. 1994; 476 p.

38. Singh BS, Bhat V, Shukla GP, Singh KK, Gehrana D. Variation in carbohydrate and protein fractions, energy, digestibility and mineral concentrations in stover of sorghum cultivars. Trop. Grass. 2018; 6(1):42-52. Disponível em: [https://doi.org/10.17138/TGFT\(6\)42-52](https://doi.org/10.17138/TGFT(6)42-52).

39. Deusch S, Camarinha-Silva A, Conrad J, Beifuss U, Rodehutschord M, Seifert J. A structural and functional elucidation of the rumen microbiome influenced by various diets and microenvironments. Front. Microb. 2017; 8(1):1-21. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.01605>.

40. Williams BA, Grant LJ, Gidley MJ, Mikkelsen D. Gut fermentation of dietary fibers: Physico-chemistry of plant cell walls and implications for health. Int. J. Mol. Sci. 2017; 18(10):1-25. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijms18102203>.

41. Doorenbos J, Martín-Tereso J, Dijkstra J, Van Laar H. Effect of different levels of rapidly degradable carbohydrates calculated by a simple rumen model on performance of lactating dairy cows. J. Dairy Sci. 2017; 100(7):5422-5433. Disponível em: <https://doi.org/10.3168/jds.2016-12278>.

42. Gómez LM, Posada SL, Oliveira M. Starch in ruminant diets: a review. Rev. Colomb. Ci. Pec. 2016; 29(2):77-90. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.17533/udea.rccp.v29n2a01>.