

doi 10.46943/VII.CONAPESC.2022.01.049

ESTUDO DA FERMENTAÇÃO SEMISSÓLIDA DO SORGO (*Sorghum bicolor* L. Moench) ASSOCIADO À PALMA FORRAGEIRA (*Opuntia ficus indica* Mill)

ANTONIO DANIEL BURITI DE MACEDO

Doutorando de Engenharia de Processos da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, daniel_buritt@hotmail.com;

GRACIMÁRIO BEZERRA DA SILVA

Doutorando de Engenharia Química da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, eng.gracimario@hotmail.com

AYANNE BASILIO MALAQUIAS

Graduanda de Engenharia Química da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, ayanne_bm@gmail.com

ANA REGINA NASCIMENTO CAMPOS

Professora orientadora: Doutora, Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, arncampos@ufcg.edu.br

RESUMO

No Brasil, a produção de forragem é instável ao longo do ano por sofrer influência de fatores climáticos que variam de região para região. Na tentativa de amenizar esses problemas os criadores de animais têm buscado formas alternativas de aproveitar de maneira mais eficiente às forragens que dispõem em sua propriedade, porém, alguns desses alimentos apresentam deficiências nutricionais, principalmente em teor de proteína. Neste contexto, objetivou-se estudar o processo de enriquecimento proteico da forragem de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) associado à palma forrageira (*Opuntia ficus indica* Mill), visando à produção de um suplemento proteico para ração animal. No processo de enriquecimento proteico foi utilizado como matéria-prima

a forragem de sorgo, sendo utilizado colmo e folhas, e raquetes de palma forrageira. A fermentação ocorreu durante 72 h, sendo realizadas análises físico-químicas antes, durante e após o processo. A fermentação semissólida a 35 °C do substrato com 30% de forragem de sorgo e 70% de palma forrageira, com inoculação de 9% da levedura (*Saccharomyces cerevisiae*) foi a que proporcionou maior aumento proteico, 345,4%, após 72 h de fermentação. As duas variáveis estudadas, concentração de forragem de sorgo e concentração de levedura, apresentaram influência significativa no processo fermentativo dos substratos. A utilização da levedura na fermentação semissólida da forragem de sorgo associada à palma forrageira possibilita a obtenção de um concentrado enriquecido nutricionalmente.

Palavras-chave: Forragem de sorgo, palma forrageira, enriquecimento proteico.

INTRODUÇÃO

No Brasil, a produção de forragem é instável ao longo do ano por apresentar períodos onde há grande oferta de alimentos para os rebanhos e em outros momentos a total escassez, este fenômeno ocorre por influência de fatores climáticos que variam de região pra região. Na região nordeste, os períodos prolongados de seca acarretam a carência de forragens, trazendo prejuízos aos rebanhos com perda de peso, infertilidade, baixa produção de leite e carne e aumento da mortalidade (PERAZZO NETO; FRANÇA; BARBOSA, 1999 e CRUZ; CAVALCANTE; SANTOS, 2013).

Para suprir as necessidades nutricionais dos rebanhos os criadores recorrem ao uso de concentrados comerciais, o que aumenta substancialmente os custos de produção. Na tentativa de amenizar esses custos, os criadores têm buscado formas e alternativas de aproveitar de maneira mais eficiente às forragens que dispõem em sua propriedade, porém, alguns desses alimentos apresentam deficiências nutricionais, principalmente em teor de proteína.

O sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) é um importante cereal para a alimentação básica, especialmente em partes da África e da Ásia, onde é amplamente cultivado. É um dos cinco cereais mais produzidos no mundo, e merece mais atenção, do ponto de vista nutricional, do que lhe é conferido (EGGUM et al., 1983). Geralmente, mais de 60% da produção são destinadas a alimentação animal e o restante é usado para o consumo humano (QUEIROZ et al., 2009). A cultura do sorgo vem se destacando no âmbito da agropecuária brasileira, por ser uma gramínea que apresenta características que viabiliza sua utilização como forragem, pois é uma espécie bastante energética, com alta digestibilidade, produtividade e adaptação a regiões secas e quentes, nos quais é inviável o cultivo de outras espécies. A planta é utilizada para silagem ou corte verde, para pastejo, e os grãos, em ração animal e para o consumo humano (BUSO et al., 2011).

A palma forrageira (*Opuntia ficus indica* Mill) é um recurso alimentar de muita importância para a região semiárida, pois é adaptada às condições edafoclimáticas dessa região, sendo utilizada na alimentação animal nos períodos de secas prolongadas. A composição química pode variar de acordo com a espécie, idade, época do ano e tratos culturais. É um alimento rico em carboidratos totais, no entanto, apresenta baixos teores de fibra e proteína bruta. Possui ainda alto teor de resíduo mineral, água e é rica em energia, aspectos que devem ser levados em consideração quando for utilizada na alimentação de

bovinos (FERREIRA; PESSOA; BISPO, 2011 e FROTA et al., 2015). De acordo com Frota et al. (2015) devido ao elevado teor de água e baixo teor proteico, a palma deve ser fornecida em conjunto com outros alimentos.

A aplicação de microrganismos (algas, fungos ou leveduras), considerados fonte unicelular de elevado teor proteico, rápido crescimento e possibilidade de cultivo em vários tipos de substratos, pode contribuir para a produção de forragem de boa qualidade (BUTOLO, 2001). Nessa perspectiva, a forragem de sorgo e a palma forrageira se apresentam como alternativas viáveis para os criadores como fonte de alimento para os seus rebanhos.

Com o enriquecimento proteico da forragem de sorgo associado à palma forrageira pelo processo de fermentação semissólida o produtor poderá obter um produto rico em proteínas, diminuindo os custos com a suplementação proteica dos animais, uma vez que não haveria despesas com aquisição, transporte e estocagem de concentrados proteicos comerciais. Outra vantagem que merece destaque é a possibilidade do uso do enriquecido nos períodos de estiagem, uma vez que este suplemento poderia ser seco e armazenado sob condições adequadas.

Diante da necessidade dos produtores em fornecer uma ração mais completa aos animais inclusive nos períodos de escassez de forragens, a associação da forragem de sorgo à palma forrageira e o enriquecimento desses substratos torna-se uma alternativa viável aos produtores, tendo em vista que terão uma ração rica em fibras e proteínas. Neste contexto, este trabalho teve como objetivo estudar o processo de enriquecimento proteico da forragem de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) associado à palma forrageira (*Opuntia ficus indica* Mill) por fermentação semissólida, visando à produção de um suplemento proteico para ração animal.

METODOLOGIA

Os experimentos foram executados no Laboratório de Bioquímica e Biotecnologia de Alimentos da Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Educação e Saúde (UFCG/CES).

O sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) foi plantado na estufa agrícola do Horto Florestal Olho D'Água da Bica (UFCG/CES) em canteiros com dimensão de 1,0 x 3,0 m (Figura 1). Previamente, os canteiros foram limpos e aerados a fim de descompactar o solo e em seguida realizou-se o plantio utilizando sementes de sorgo selecionadas adquiridas de lotes comercializados no município de

Campina Grande-PB. As sementes apresentavam, de acordo com o fabricante, 98% de pureza e germinação mínima de 80%.

O espaçamento utilizado no plantio foi de 80 cm entre as fileiras, com 13 a 15 sementes por metro linear. Esse espaçamento é recomendado para o plantio de sorgo destinado a silagem (EMATER-MG, 2012). Durante todo o processo, desde o plantio até o ponto de colheita, o sorgo foi irrigado de acordo com as necessidades apresentadas. A colheita foi realizada aos 104 dias após o plantio, quando as plantas apresentaram grãos pastosos a farináceos, sendo as plantas cortadas à aproximadamente 10 cm acima do solo.

Figura 1. Plantio de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) em diferentes estágios de crescimento.



Fonte: Dados da pesquisa.

A coleta das raquetes da palma forrageira foi realizada em uma plantação situada no sítio Bom Sucesso, no município de Sossego, localizado a 226 km de João Pessoa-PB. As raquetes de palma da variedade gigante (Figura 2) foram coletadas de acordo com a colheita feita tradicionalmente, ou seja, aquelas que apresentavam bom estado fitossanitário, dando preferência às raquetes da parte intermediária da planta, a partir das terciárias.

Figura 2 Palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill).



Fonte: Dados da pesquisa.

No processo de enriquecimento proteico foi utilizado como matéria-prima a forragem de sorgo (colmo e as folhas) e a palma forrageira. O sorgo e a palma foram levados ao laboratório onde foram triturados individualmente, utilizando um liquidificador industrial, resultando em uma forragem uniforme, constituindo-se o substrato. As concentrações de cada matéria-prima que foi utilizada no processo fermentativo seguiram um planejamento experimental previamente estabelecido.

Análises físicas e químicas foram realizadas em amostras *in natura* de sorgo e da palma forrageira, assim como, antes e durante a fermentação para a determinação do teor de água, atividade de água, pH, sólidos solúveis totais, resíduo mineral fixo, determinação e quantificação de minerais e proteína bruta com o seu respectivo aumento proteico.

O teor de água (TA), sólidos solúveis totais (SST), pH, e resíduo mineral fixo (RMF) foi determinado de acordo com metodologia descrita em IAL (2008). A atividade de água (aw) foi determinada por meio de leitura direta em higrômetro a 25 °C.

Os minerais contidos no RMF foram identificados e quantificados por Espectrômetro de Fluorescência de Raios-X por Energia Dispersiva, o equipamento utilizado foi o da Shimadzu EDX-7000. A determinação da proteína bruta (PB) das amostras foi realizada utilizando o método de Kjeldahl (TEDESCO et al., 1995).

Após a coleta, trituração e preparo da matéria-prima, resultando no substrato, o mesmo foi acondicionado em biorreatores retangulares de plástico, do tipo bandeja, com dimensões de 11 x 28 x 9 cm. Este tipo de biorreator foi selecionado levando-se em consideração que o objetivo do processo foi o enriquecimento proteico, ou seja, o desenvolvimento de microrganismos, pois o mesmo oferece condições necessárias para este fim.

A fermentação empregada foi do tipo semissólida em sistema de batelada por ser o mais indicado para esse tipo de substrato. Para o processo de enriquecimento proteico foi utilizado como microrganismo a levedura *Saccharomyces cerevisiae*, prensada, fermento biológico comercial da marca Fleischmann, por apresentar bom rendimento e ser de fácil aquisição, qualidades necessárias levando em consideração que este trabalho visa a produção de um suplemento de boa qualidade nutricional e de baixo custo.

A fermentação foi realizada em estufa de circulação de ar a 35 °C, durante 72 h. Antes, durante e após as fermentações foram realizadas análises físicas e químicas para a determinação TA, aw, pH, SST, RMF e PB com o seu respectivo aumento proteico (AP).

A determinação do aumento proteico (AP) nas amostras teve como base o valor proteico contido nos substratos *in natura* e calculado conforme Equação 1.

$$AP(\%) = \frac{(\%) \text{ Proteína Bruta}_{(\text{enriquecido})} - (\%) \text{ Proteína Bruta}_{(\text{in natura})}}{(\%) \text{ Proteína Bruta}_{(\text{in natura})}} \times 100 \quad (1)$$

Com a finalidade de avaliar quantitativamente a influência das variáveis independentes, concentração de levedura e concentração de sorgo, no processo fermentativo sobre o AP, bem como suas possíveis interações com a realização mínima de experimentos, foi realizado um planejamento fatorial $3^2 \pm 1$ experimento no ponto central, com repetição da matriz, totalizando 20 experimentos. Os experimentos foram realizados em ordem aleatória, para evitar o erro sistemático, variando-se simultaneamente as variáveis independentes do processo fermentativo. O software Statistica 8.0 foi utilizado para geração e avaliação do planejamento experimental fatorial e análise da regressão dos dados experimentais.

A matriz do planejamento fatorial $3^2 \pm 1$ encontra-se na Tabela 1 e a Tabela 2 demonstrando as variáveis utilizadas nesse planejamento, suas codificações e os níveis reais para cada variável. Cada variável independente foi investigada para um nível alto (+1), um intermediário (0) e um baixo (-1).

Tabela 1. Matriz do planejamento fatorial $3^2 + 1$.

Experimentos	Concentração de levedura (%)	Concentração de sorgo (%)
1	-1	-1
2	-1	0
3	-1	+1
4	0	-1
5	0	0
6	0	+1
7	+1	-1
8	+1	0
9	+1	+1
10	0	0

Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela 2. Valores reais e codificados das variáveis do planejamento fatorial $3^2 \pm 1$.

Variável	-1	0	+1
Concentração de levedura (%)	3	6	9
Concentração de sorgo (%)	30	50	100

Fonte: Dados da pesquisa.

As concentrações de levedura selecionadas foram 3, 6 e 9% em relação à massa inicial de substrato. Esses valores foram baseados em estudos que verificaram a influência desta variável no processo de enriquecimento proteico (CAMPOS, 2008; MACEDO et al. 2015; SILVA, 2015).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 3 é apresentada a caracterização física e química da forragem de sorgo e da palma forrageira *in natura*, assim como a mistura dos dois formando o substrato utilizado no estudo do enriquecimento proteico.

Tabela 3. Caracterização química da forragem de sorgo *in natura*, palma forrageira *in natura* e dos substratos empregados no processo fermentativo.

Parâmetros	Sorgo <i>In natura</i>	Palma <i>In natura</i>	Sorgo 30%	Sorgo 50%
Teor de água (%)	81,06 ± 0,95	92,81 ± 0,32	89,59 ± 0,47	87,09 ± 0,25
Atividade de água	0,993 ± 0,00	0,994 ± 0,01	0,993 ± 0,00	0,988 ± 0,00

Parâmetros	Sorgo <i>In natura</i>	Palma <i>In natura</i>	Sorgo 30%	Sorgo 50%
pH	5,36 ± 0,04	4,20 ± 0,01	4,30 ± 0,01	4,45 ± 0,02
Sólidos Solúveis Totais (°Brix)	5,20 ± 0,35	3,10 ± 0,17	4,70 ± 0,17	4,70 ± 0,11
Resíduo Mineral Fixo (%)	2,03 ± 0,02	1,05 ± 0,04	1,40 ± 0,07	1,55 ± 0,09
Proteína Bruta (b.u) (%)	1,25 ± 0,18	0,59 ± 0,04	0,85 ± 0,06	0,99 ± 0,01

Fonte: Dados da pesquisa.

O sorgo *in natura* apresentou teor de água de 81,06% com matéria seca (MS) de 18,94%. O resultado para a MS está abaixo do encontrado por Oliveira et al. (2010), que estudaram a composição bromatológica de diferentes forrageiras de sorgo (28,8%), e próximo ao encontrado por Podkówka; Podkówka, (2011) em silagem de sorgo (20,88%). O TA assim como a MS depende do ponto de maturação na hora da colheita, o que pode ser indicado pelos aspectos apresentado pelos grãos, quanto mais seco ou farináceo menor o TA e conseqüentemente maior a MS apresentará a forragem.

A palma forrageira *in natura* apresentou TA de 92,81%, esse resultado está próximo do encontrado por Campos (2008), no estudo de enriquecimento proteico desta cactácea (92,41%) e ainda, por Cavalcante e Cândido (2003), Araújo (2004) e Nascimento; Teshima; Silva, (2005) que encontraram valores de TA para a palma forrageira superiores a 90%, sendo: 93,39, 90,70, e 91,59%, respectivamente. Porém, Macedo et al. (2015) em análises da composição química desta forrageira observaram um valor de 75,78%, diferença justificada pela época de coleta da palma, pois correspondeu ao um período seco, o que levou a diminuição do teor de água da cactácea. O TA presente nos substratos dependeu da concentração de sorgo, quanto maior a concentração de sorgo menor o TA.

Quanto à atividade de água, o sorgo apresentou o valor de 0,993, resultado praticamente semelhante ao da palma forrageira 0,994. Os valores de aw apresentados pelos substratos com concentração de sorgo de 30 e 50 % foram 0,993 e 0,988, respectivamente. Segundo Schmidell et al.(2001) a aw tem influência direta no desenvolvimento microbiano e os processos bioquímicos. No entanto, cada microrganismo tem um nível de aw mínimo para que possa efetuar suas atividades metabólicas, que para as leveduras esse valor é de aproximadamente 0,8. Portanto, os substratos estudos apresentam aw ideal para o desenvolvimento da *S.cerevisiae*.

Os valores de pH encontrados nas amostras de sorgo foi 5,36, sendo superior ao encontrado por França et al. (2011) ao avaliarem as características

qualitativas das silagens de híbridos de sorgo. Na palma o pH encontrado foi 4,20, valor pouco abaixo do encontrado por Campos (2008) e por Macedo, (2016) ao encontrarem valores de 4,66 e 4,50, respectivamente.

Em relação aos substratos, quanto maior a concentração de sorgo maior o pH encontrado nas amostras. Os substratos com concentração de 30 e 50% apresentaram pH de 4,20 e 4,30, respectivamente. Esse pH mostrou-se pouco a baixo da faixa ideal para o desenvolvimento da levedura *S. cerevisiae*, pois segundo Chieppe Júnior (2012) pH entre 4,5 e 5,0 é ótimo para o crescimento de leveduras.

Quanto aos valores de sólidos solúveis totais, no sorgo *in natura* foi encontrado o valor médio de 5,20 °Brix e na palma *in natura* 3,10 °Brix. Nos Substratos com concentração de 30, 50% foram verificados os valores de 4,70 e 4,70 °Brix, respectivamente. Os SST são compostos por várias substâncias, principalmente açúcares, que se encontram presente nos substratos. Deste modo, de acordo com Lima (2006), a medida desse parâmetro é importante para verificar a viabilidade do processo fermentativo.

O valor de Resíduo Mineral Fixo encontrado nas amostras de sorgo *in natura* foi 2,03%. Esse valor foi superior aos encontrados por Neumann et al. (2002) que encontraram o valor médio de 1,26% nas plantas e 1,81% na silagem de diferentes híbridos de sorgo. A palma apresentou o valor de RMF de 1,05%, valor próximo ao encontrado por Dessimoni et al. (2014) ao determinarem a composição mineral da palma forrageira, 1,30%.

O resíduo mineral fixo é o produto inorgânico que sobra após a incineração da matéria orgânica presente nas amostras. Sua determinação fornece uma indicação do quanto determinado material é rico em minerais (ANDRADE, 2014). Portanto, a partir dos resultados podemos determinar que quanto maior a concentração de sorgo da amostra, maior percentagem de RMF e consequentemente mais rico em minerais.

Com relação ao teor de proteína bruta, a forragem de sorgo apresentou o valor de 1,25% e a palma forrageira *in natura* 0,59%. Os substratos nas concentrações de 30 e 50% de sorgo apresentaram valores de 0,85 e 0,99%. Quanto maior a concentração de sorgo no substrato maior o valor de PB encontrado. Esse comportamento ocorre uma vez que forragem de sorgo apresenta maior quantidade de PB.

O valor de PB da palma forrageira encontrado nesse estudo está próximo do encontrado por Perazzo Neto (1999) e abaixo do valor encontrado por Dessimoni et al. (2014) sendo, respectivamente, 0,45 e 0,86%. Os resultados de

PB dos substratos demonstram a necessidade de um estudo que tenha como objetivo a tentativa de incrementar o seu valor proteico, tendo em vista que os mesmos apresentaram baixo valor de PB.

Na Tabela 4 são apresentados os constituintes minerais da forragem de sorgo *in natura* e da palma forrageira *in natura*.

Tabela 4. Constituintes minerais da forragem de sorgo *in natura* e da palma forrageira *in natura* utilizados no processo fermentativo.

	Minerais (mg.100g ⁻¹)							
	Mg	P	K	Ca	Mn	Fe	Cu	Zn
Sorgo <i>in natura</i>	620,7	116,9	641,1	193,1	1,13	2,9	0,21	0,4
Palma <i>in natura</i>	315,2	27,36	371,9	259,7	1,51	0,58	0,1	0,24

Fonte: Dados da pesquisa (2017).

A partir da Tabela 4 é possível verificar que a forragem de sorgo *in natura* possui elevado teor de K e Mg, assim como, teores significativos de Ca e P, apresentando 641,1, 620,7, 193,1 e 116,9 mg.100g⁻¹, respectivamente. A presença desses minerais é essencial na dieta dos animais, pois sua deficiência provoca diversas doenças, como predisposição à hipomagnesemia (potássio), hipomagnesemia (magnésio), hipocalcemia (cálcio), raquitismo e osteomalácia (cálcio e fósforo) (McDowell, 2001). Ainda foi identificada a presença de teores de Fe, Mn, Cu e Zn na forragem de sorgo.

A palma forrageira *in natura* mostrou-se rica em K, Mg e Ca, apresentando valores de 371,9, 315,2, 259,7 mg.100g⁻¹, respectivamente. Apresentou ainda teores em menores proporções de P (27,36), Mn (1,51), Fe (0,58), Cu (0,10) e Zn (0,24), todos expressos em mg.100g⁻¹. Dessimoni et al. (2014) ao estudarem a composição mineral da palma forrageira em base seca observou elevados teores de Ca (2.838 mg.100g⁻¹), Mg (1.024,6 mg.100g⁻¹) e P (1.135 mg.100g⁻¹), encontrou ainda em menores quantidade teores de Zn, Fe Cu e Mn.

Na Tabela 5 são mostrados os valores de proteína bruta nos diferentes tempos de fermentação, referentes aos experimentos realizados.

Nos experimentos 1, 2 e 3 constituídos de 30, 50 e 100% de forragem de sorgo associada à palma forrageira com inoculação de 3% de levedura os maiores teores de PB foram alcançados com 48 h de fermentação. Já os demais experimentos, que também variou a concentração de sorgo e levedura, os maiores teores de PB foram obtidos com 72 h.

Foi verificado que os experimentos 3, 6 e 9 formados por 100% de forragem de sorgo, não contendo palma em sua composição, apresentaram maiores teores de PB com 72 horas de fermentação (3,59, 4,17 e 3,86%, respectivamente), sendo o experimento 6 o que apresentou maior PB entre todos os experimentos estudados. Esse comportamento pode ser justificado pelo fato desse substrato, quando *in natura*, apresentar maior teor de proteína bruta em relação aos outros substratos constituídos de sorgo e palma.

Com relação aos demais experimentos que apresentam forragem de sorgo e palma forrageira em sua composição, o experimento 7 foi o que proporcionou maior teor de PB, 3,80%, com 72 h de fermentação.

Tabela 5. Variação de proteína bruta expressos em base úmida dos substratos durante o processo de fermentação semissólida.

EXP	Proteína Bruta b. u (%)			
	0 h	24 h	48 h	72 h
1	1,61 ± 0,09	1,78 ± 0,17	3,02 ± 0,39	2,54 ± 0,20
2	1,33 ± 0,09	1,68 ± 0,14	2,83 ± 0,05	2,58 ± 0,34
3	2,31 ± 0,12	2,45 ± 0,27	3,49 ± 0,01	3,42 ± 0,04
4	1,98 ± 0,05	2,12 ± 0,08	2,40 ± 0,22	3,14 ± 0,01
5	1,83 ± 0,84	2,16 ± 0,16	2,85 ± 0,06	2,99 ± 0,02
6	2,51 ± 0,03	2,34 ± 0,04	2,75 ± 0,17	4,17 ± 0,47
7	2,30 ± 0,05	2,71 ± 0,09	3,14 ± 0,09	3,80 ± 0,07
8	2,26 ± 0,16	2,70 ± 0,11	3,10 ± 0,28	3,27 ± 0,08
9	2,61 ± 0,59	3,05 ± 0,19	3,46 ± 0,21	3,86 ± 0,30
10	1,87 ± 0,08	2,11 ± 0,29	2,93 ± 0,28	2,95 ± 0,03

Fonte: Dados da pesquisa.

Os valores médios, com os respectivos desvios padrão, de aumento proteico referentes aos dez experimentos realizados durante 72 h de fermentação, encontram-se na Tabela 6.

Tabela 6. Percentual do aumento proteico dos substratos durante o processo de enriquecimento proteico.

EXP	Aumento Protéico (%)			
	0 h	24 h	48 h	72 h
1	88,9 ± 10,0	116,6 ± 10,7	211,7 ± 15,1	197,6 ± 23,5
2	34,9 ± 9,2	64,1 ± 8,9	186,8 ± 4,9	161,4 ± 34,7
3	85,0 ± 9,5	95,8 ± 22,1	187,2 ± 23,3	179,1 ± 3,2
4	132,8 ± 6,5	148,3 ± 9,4	180,9 ± 25,6	267,2 ± 1,1
5	85,30 ± 3,7	118,3 ± 16,4	188,7 ± 5,6	203,2 ± 2,4
6	100,7 ± 1,9	87,2 ± 3,5	120,2 ± 14,1	255,2 ± 7,4
7	177,1 ± 7,2	217,8 ± 11,0	267,3 ± 10,9	345,4 ± 7,8
8	129,1 ± 16,7	183,2 ± 27,5	213,6 ± 28,0	225,4 ± 17,6
9	110,3 ± 33,5	143,7 ± 15,2	177,1 ± 17,1	209,1 ± 24,3
10	89,7 ± 8,3	114,0 ± 29,2	196,7 ± 28,3	198,7 ± 3,0

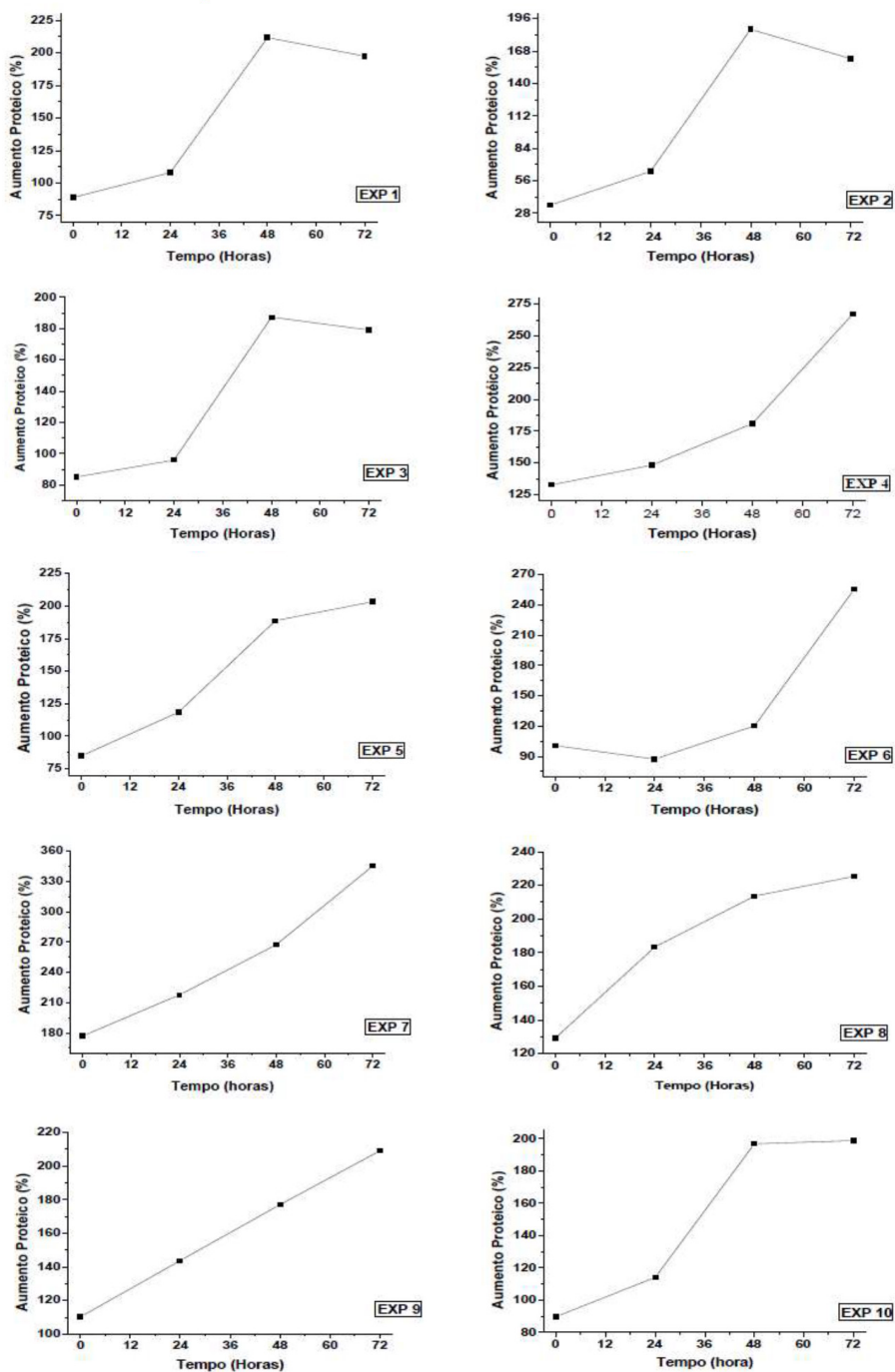
Fonte: Dados da pesquisa.

Na Figura 3 está representada graficamente a cinética do AP dos substratos dos dez experimentos durante o processo de fermentação semissólida. É possível observar a partir da figura que os experimentos 1, 2 e 3, compostos de 30, 50 e 100% de forragem de sorgo, respectivamente, com inoculação de 3% de levedura, obtiveram o percentual máximo de AP com 48 h de fermentação. O aumento proteico alcançado para os referidos experimentos foram 211,7, 186,8 e 187,2 %.

Nos demais experimentos (4 a 10), onde também variou a concentração de forragem de sorgo e levedura de acordo com o planejamento experimental, os maiores AP foram obtidos com 72 h de fermentação.

A partir da Tabela 6 foi possível verificar que o experimento 7, composto de 30% de forragem de sorgo com inoculação de 9% de levedura, apresentou o maior AP entre os estudados, alcançando um AP de 345,4%. A PB do substrato passou de 0,85%, quando *in natura*, para 3,80% após o processo fermentativo. Na Figura 3 é possível observar graficamente a cinética do AP deste experimento no gráfico Exp7.

Figura 3. Representação gráfica da cinética do aumento proteico durante a Fermentação semissólida dos experimentos.



Fonte: Dados da Pesquisa (2017).

A Tabela 7 apresenta a matriz do planejamento fatorial utilizado no processo de enriquecimento proteico da forragem de sorgo com os melhores valores de aumento proteico com o correspondente valor alcançado de proteína bruta de cada experimento durante as 72 h de fermentação, com o intuito de avaliar a influência das variáveis escolhidas sobre o teor proteico do substrato.

Tabela 7. Resultados das respostas para o aumento proteico da forragem de sorgo associada a palma forrageira.

EXP	Concentração de levedura	Concentração de sorgo	Proteína bruta	Aumento proteico
	Nível			%
1	-1	-1	3,02	211,7
2	-1	0	2,83	186,8
3	-1	+1	3,42	179,1
4	0	-1	3,14	267,2
5	0	0	2,99	203,2
6	0	+1	4,17	255,2
7	+1	-1	3,80	345,4
8	+1	0	3,27	225,4
9	+1	+1	3,86	209,1
10	0	0	2,95	198,7

Fonte: Dados da Pesquisa.

Levando em consideração que o valor de probabilidade de 99% ($P < 0,05$) de confiança é satisfatório, foi possível estabelecer um modelo de segunda ordem (Equação 2), onde CL corresponde a concentração de levedura e CS a concentração de forragem de sorgo, mostrando como resposta uma função “AP”, cujos valores dos coeficientes foram obtidos pelo programa Statistica.

$$AP = 200,95 \pm 19,3 C_L \pm 5,15 C_L^2 - 6,0 C_S \pm 60,25 C_S^2 - 27,94 C_L \cdot C_S + 19,59 C_L \cdot C_S^2 - 34,21 C_L^2 \cdot C_S - 27,99 C_L^2 \cdot C_S^2$$

O coeficiente de regressão (R^2) obtido foi igual a 0,99. Portanto, este modelo de regressão prevê uma boa explicação da relação entre as variáveis independentes (CL e CS) e a respostas (AP), Isto é, o modelo proposto consegue explicar com cerca de 99%, a variância da resposta. Segundo Barros Neto et al. (1995) os valores de R^2 devem ser próximos da unidade, sendo os resultados encontrados satisfatórios.

A avaliação estatística do modelo foi determinada pelo teste de Fisher para análise de variância que são mostrados na Tabela 7. Os resultados da ANOVA listados demonstram que o modelo estatístico é significativo e preditivo para a variável de interação CL e CS (L), considerando $p < 0,05$.

Tabela 8. Resultados da ANOVA para o Aumento Proteico (AP).

Fator	Soma Quadrática	Grau de Liberdade	Média Quadrática	F	P
(1)CL (L)	6283,02	1	6283,018	620,5449	0,025542
CL (Q)	410,67	1	410,670	40,5600	0,099152
(2)CS (L)	4978,94	1	4978,944	491,7476	0,028689
CS (Q)	3891,89	1	3891,888	384,3840	0,032443
1Lby2L	3122,57	1	3122,574	308,4024	0,036212
1Lby2Q	511,69	1	511,691	50,5374	0,088968
1Qby2L	1560,43	1	1560,432	154,1168	0,051170
1Qby2Q	447,68	1	447,680	44,2153	0,095028
Error	10,12	1	10,125		
Total SS	21513,33	9			

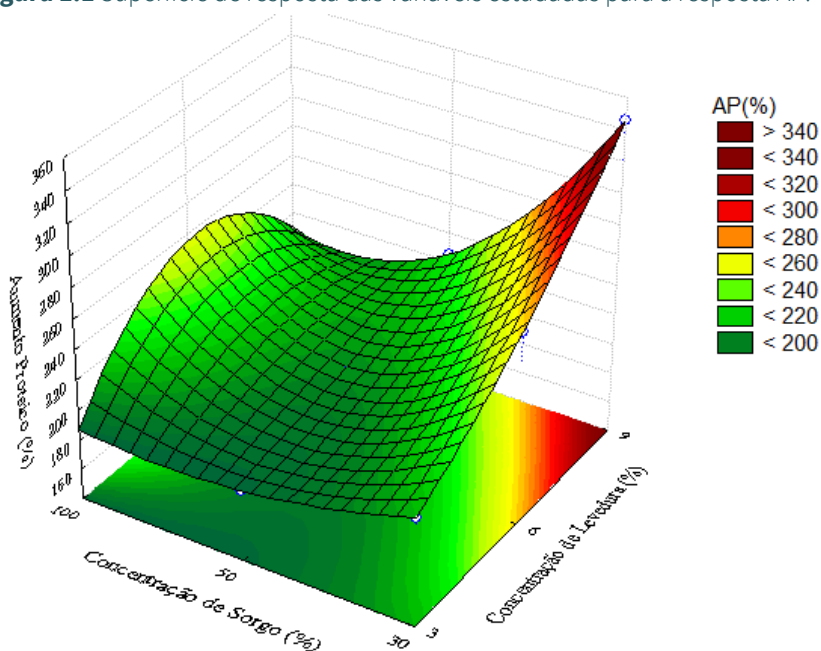
Fonte: Dados da pesquisa

A influência da concentração de levedura e concentração de forragem de sorgo, sobre a resposta do AP é representada na superfície de resposta, Figura 6, (obtida pela técnica MSR). É possível verificar, dentro da faixa de valores estudada, que quanto maior a concentração de levedura e menor concentração de forragem de sorgo maior o AP do substrato.

O maior valor de AP foi encontrado com maior valor de concentração de levedura (9%) e menor valor de concentração de forragem de sorgo (30%). A partir da Tabela 8, verifica-se que o experimento 7 obteve um AP de 345,4%, alcançando o teor máximo de PB de 3,80%, ou seja, um aumento superior a três vezes o valor de proteína bruta do substrato *in natura*.

A Figura 6 ilustra a superfície de resposta mostrando o efeito das variáveis independentes, concentração de sorgo e concentração de leveduras sobre a resposta do aumento proteico.

Figura 1.1 Superfície de resposta das variáveis estudadas para a resposta AP.



Macedo (2016) ao estudar a influência da concentração da levedura *S. cerevisiae* no processo de enriquecimento proteico da palma forrageira associada ao sisal, verificou que esta variável influenciou de forma significativa no processo, alcançando nestes estudos um AP 135,73%.

Sousa (2016) quando estudou o enriquecimento proteico dos resíduos da jaca, estudando a influência das variáveis concentrações de levedura e concentração de bagaço, obteve um aumento proteico AP de 104,65%.

Costa (2018) ao avaliar a influência do teor de água e da concentração de levedura no enriquecimento proteico dos resíduos de frutas por fermentação semissólida constatou que a concentração de levedura também apresentou influência significativa no AP, conseguindo um aumento proteico de 548,97 %.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A fermentação semissólida a 35 °C do substrato com 30% de forragem de sorgo com inoculação de 9% de levedura proporcionou o maior aumento proteico encontrado. O AP médio foi de 345,4%, tendo como base o teor de proteína do substrato antes da adição da levedura, experimento 7. O tempo de

fermentação necessário para obtenção do maior aumento proteico foi de 72 h de fermentação.

As duas variáveis estudadas, concentração de forragem de sorgo e concentração de levedura, apresentaram influência significativa no processo fermentativo dos substratos.

A utilização da levedura na fermentação semissólida da forragem de sorgo associada à palma forrageira possibilita a obtenção de um concentrado enriquecido nutricionalmente, tendo em vista que ocorreu o melhoramento não apenas de proteína, mas também de minerais, que poderá posteriormente ser utilizado como fonte alternativa de maior potencial nutricional.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, R. B.; OLIVEIRA, T. C.; MENEZES, E. Determinação do Resíduo Mineral Fixo em Leite e Derivados Lácteos Determinação do Resíduo Mineral Fixo em Leite e Derivados Lácteos. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**, p. 2-6, 2014.

Araújo, L.F. Enriquecimento protéico do mandacaru sem espinho (*Cereus jama-caru* L.) e palma forrageira (*Opuntia fícus-indica* Mill) por fermentação semi-sólida. Campina Grande: UFCG, 2004, 175p. Tese Doutorado.

BARROS NETO, B.; SCARMINIO, J. S.; BRUNS, R. E. Planejamento e otimização de experimentos. Editora da UNICAMP, Campinas, 1995.

BUTOLO, J.E. Leveduras vivas e termolizadas na alimentação animal. In: Simpósio Sobre Ingredientes Alternativos na Alimentação Animal, 2001, Campinas. *Anais...* Campinas: Colégio Brasileiro de Nutrição Animal, 2001. p.191-198.

BUSO, W. H. D. et al. Utilização do sorgo forrageiro na alimentação animal. **Publicações em Medicina Veterinária e Zootecnia-PUBVET.**, v. 5, n. 23, 2011.

CAMPOS, A. R. N. Enriquecimento nutricional da palma forrageira (*Opuntia fícus-indica* mill): estudo experimental de ampliação de escala. [s.l.] UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE, 2008.

CAVALCANTE, A. C. R.; CÂNDIDO, M. J. D. Alternativas para aumentar a disponibilidade de alimentos nos sistemas de produção a pasto na Região Nordeste. Sobral: Embrapa Caprinos, 2003. 31 p.

CHIEPPE JÚNIOR, J. B. **Tecnologia e Fabricação do Álcool**. Santa Maria: [s.n.].

COSTA, J. D. Aproveitamento de resíduos de frutas. **Dissertação (Mestrado em Ciências Naturais e Biotecnologia)**, 64 p., UFCG, Cuité-PB, 2018.

CRUZ, P. G.; CAVALCANTE, A. C.; SANTOS, P. M. Palma Forrageira : Alternativa para a estacionalidade de produção de forragem no semi-árido brasileiro. **RDar Técnico-Pastagens-MilkPoint**, p. 1–5, 2013.

DESSIMONI, G. V. et al. Composição bromatológica , mineral e fatores antinutricionais da palma forrageira. **Tecnol. & Ciên. Agropec.**, v. 8, n. 1, p. 51–55, 2014.

EGGUM, B. O. et al. Nutritional Quality of Sorghum and Sorghum Foods from Sudan. **Journal of Cereal Science**, v. 1, p. 127–137, 1983.

EMATER-MG. **Cultura Do Sorgo**. [s.l: s.n.].

FRANÇA, A. F. S. et al. Características fermentativas da silagem de híbridos de sorgo sob doses 24 de nitrogênio. **Ciência Animal Brasileira**, Goiânia, v.12, n.3, p. 383–391, 2011.

FERREIRA, M. A. .; PESSOA, R. A. S. .; BISPO, S. V. . **OTIMIZAÇÃO DE DIETAS A BASE DE PALMA FORRAGEIRA E OUTRAS ALTERNATIVAS DE SUPLEMENTAÇÃO PARA REGIÕES SEMI-ÁRIDAS**. VII Simpósio de Produção de Gado de Corte. **Anais...**2011

INSTITUTO ADOLFO LUTZ (IAL). **Métodos físico-químicos para análises de alimentos**. Coordenadores: Odair Zenebon; Neus Sadoco Pascuet & Pablo Tigea. Ed. 4, 1ª Edição Digital, São Paulo, 2008.

FROTA, M. N. L. et al. Palma forrageira na alimentação animal. **Documentos 233 - Embrapa**, v. 1, p. 47, 2015.

MACEDO, A. D. B. et al. Bioconversão da Palma Forrageira e do Sisal como Alternativa para Alimentação Animal. **Blucher Chemistry Proceedings**, v. 3, n. 1, p. 9, 2015.

MACEDO, A. D. B. **ENRIQUECIMENTO PROTEICO DA PALMA FORRAGEIRA E DO SISAL POR FERMENTAÇÃO SEMISSÓLIDA**. [s.l.] Universidade Federal de Campina Grande-UFPG, 2016.

McDOWELL, L.R. Recent advances in minerals and vitamins on nutrition of lactating cows. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL EM BOVINOCULTURA DE LEITE: NOVOS CONCEITOS EM NUTRIÇÃO, Lavras. Anais... Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2001. v.2, p.51-76.

NASCIMENTO, K. F.; TESHIMA, E.; SILVA, C. M. R. Caracterização físico-química de cládios de. p. 611–614, 2005.

NEUMANN, M. et al. Avaliação do Valor Nutritivo da Planta e da Silagem de Diferentes Híbridos de Sorgo (*Sorghum bicolor* , L . Moench). **Revista Brasileira de Z**, v. 31, n. 1, p. 293–301, 2002.

OLIVEIRA, L. B. et al. Revista Brasileira de Zootecnia Produtividade , composição química e características agrônômicas de diferentes forrageiras Productivity , chemical composition and agronomic characteristics of different forages. **Revista Brasileira De Zootecnia**, v. 39, n. 12, p. 2604–2610, 2010.

PERAZZO NETO, A.; FRANÇA, F. P.; BARBOSA, R. P. Enriquecimento Protéico da Algaroba (*Prosopis juliflora*) com *Aspergillus niger*. **Revista Científica de Produção Animal**, v. 2, n. 2, p. 176–182, 1999.

PODKÓWKA, Z.; PODKÓWKA, L. Chemical composition and quality of sweet sorghum and maize silages. **Journal of Central European Agriculture**, v. 12, n. 2, p. 294–303, 2011.

QUEIROZ, V. A. V. et al. O Sorgo na alimentação humana. **Comunicado Técnico 133 - Embrapa**, p. 1–19, 2009.

SCHMIDELL, W. et al. **Biotechnologia industrial. Engenharia Bioquímica**. 1º ed. São Paulo: [s.n.].

SILVA, C. R. G. Enriquecimento proteico de cactáceas por fermentação semissólida. Dissertação (Mestrado em Ciências Naturais e Biotecnologia), 93 p., UFCG, Cuité-PB, 2015.

SOUSA, A. P. M de. Utilização de resíduos de jaca no desenvolvimento de novos produtos. **Dissertação (Mestrado em Ciências Naturais e Biotecnologia)**, 163 p., UFCG, Cuité-PB, 2016.

TEDESCO, J. M. et al. Análise de solo, plantas e outros materiais, Porto Alegre, 1995.