

# **BRIQUETES DE BAGAÇO-DE-CANA (*Saccharum spp*): AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO EM ESCALA DE BANCADA**

**João Vitor da Silveira Nunes** (UFC) - jvitornune@gmail.com

**Kevyn Matheus Vieira Nogueira** (UFC) - kevnynogueira@gmail.com

**Raoni Alves de Lima** (UFC) - raonialvesdelima@gmail.com

**Victor Soares Gualberto** (UFC) - victorgualberto1@gmail.com

**Rosali Barbosa Marques** (NUTEC) - rosalimarquess@gmail.com

**Jackson Queiroz Malveira** (Instituição - a informar) - jackson.malveira@nutec.ce.gov.br

**Andre Valente Bueno** (UFC) - bueno@ufc.br

**Maria Aleksandra de Sousa Rios** (UFC) - alexsandrarios@ufc.br

## **Resumo:**

*O bagaço de cana-de-açúcar é uma das maiores fontes de matéria orgânica no Brasil, com isso um dos modos de aproveitar esse potencial seria pela produção de briquetes. Este trabalho buscou analisar o bagaço-de-cana in natura e briquetado, verificando os fatores que afetam a qualidade do briquete. De acordo com os resultados, o bagaço de cana apresentou um teor de voláteis de  $67,14\% \pm 3,46$ , teor de cinzas de  $18,64\% \pm 1,49$  de cinzas e teor de carbono fixo de  $14,22\% \pm 2,18$ . O Poder Calorífico Superior da amostra “seca ao sol por 8 h” foi de  $13,26 \pm 0,28$  kJ/kg, enquanto que para a amostra “seca em estufa” foi de  $14,85 \pm 0,51$  kJ/kg. Após compactação, o briquete formado apresentou um Poder Calorífico Superior (PCS) médio de 15,7568 MJ/kg (12,49MPa), 15,9084 MJ/kg (24,98MPa) e 15,9618 MJ/kg (37,47MPa). De acordo com o teste de t independente, não houve melhora significativa do PCS e da densidade do briquete a partir da faixa de pressão de compactação de 24,98 MPa. O briquete produzido apresentou estabilização de volume após 140 horas.*

**Palavras-chave:** *Bagaço de cana, Potencial Energético, Briquete*

**Área temática:** *Outras fontes renováveis de energia*

**Subárea temática:** *Caracterização, análise, equipamentos e sistemas de conversão energética da biomassa*

# BRIQUETES DE BAGAÇO-DE-CANA (*Saccharum spp*): AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO EM ESCALA DE BANCADA

**João Vitor Da Silveira Nunes** – jvitornune@gmail.com  
**Keryn Matheus Vieira Nogueira**– kevnynogueira@gmail.com  
Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Mecânica  
**Raoni Alves de Lima** – raonialvesdelima@gmail.com  
**Victor Soares Gualberto** – victorgualberto1@gmail.com  
Universidade Federal do Ceará, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica  
**Rosali Barbosa Marques** – rosalimarquess@gmail.com  
**Jackson Queiroz Malveira** – jackson.malveira@nutec.ce.gov.br  
Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará – Larbio/NUTEC  
**Prof.<sup>a</sup> Dr. André Valente Bueno** – bueno@ufc.br  
Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Mecânica  
**Prof.<sup>a</sup> Dra. Maria Alessandra de Sousa Rios** – alexsandrarios@ufc.br  
Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Mecânica, GRINTEQUI

**Resumo.** O bagaço de cana-de-açúcar é uma das maiores fontes de matéria orgânica no Brasil, com isso um dos modos de aproveitar esse potencial seria pela produção de briquetes. Este trabalho buscou analisar o bagaço-de-cana in natura e briquetado, verificando os fatores que afetam a qualidade do briquete. De acordo com os resultados, o bagaço de cana apresentou um teor de voláteis de  $67,14\% \pm 3,46$ , teor de cinzas de  $18,64\% \pm 1,49$  de cinzas e teor de carbono fixo de  $14,22\% \pm 2,18$ . O Poder Calorífico Superior da amostra “seca ao sol por 8 h” foi de  $13,26 \pm 0,28$  kJ/kg, enquanto que para a amostra “seca em estufa” foi de  $14,85 \pm 0,51$  kJ/kg. Após compactação, o briquete formado apresentou um Poder Calorífico Superior (PCS) médio de 15,7568 MJ/kg (12,49MPa), 15,9084 MJ/kg (24,98MPa) e 15,9618 MJ/kg (37,47MPa). De acordo com o teste de t independente, não houve melhora significativa do PCS e da densidade do briquete a partir da faixa de pressão de compactação de 24,98 MPa. O briquete produzido apresentou estabilização de volume após 140 horas.

**Palavras-chave:** Bagaço de cana, Potencial Energético, Briquete

## 1. INTRODUÇÃO

Na atualidade, os problemas com a questão energética têm sido alvo de preocupação em todo mundo, pois a maior parte da matriz energética mundial utiliza combustíveis fósseis para geração de energia. Entre as alternativas para contornar essa problemática, tem-se a biomassa, fonte de energia limpa e renovável. Para obtenção deste energético, tem-se o setor agroindustrial, produzindo anualmente milhões de toneladas de resíduos. Um exemplo é o bagaço de cana, subproduto da cana-de-açúcar, na qual o Brasil é o maior produtor mundial. A cana é considerada uma matéria-prima de grande potencial para o setor de biocombustíveis, devido à produção de etanol e seus subprodutos (Conab, 2019).

Segundo pesquisas da área de bioenergia (ANEEL, 2008), a energia presente na biomassa pode ser transformada em combustíveis líquidos, sólidos e gasosos. No entanto, é necessária a realização de alguns procedimentos operacionais, como a caracterização físico-química da matéria-prima a ser utilizada, para que assim suas potencialidades energéticas sejam avaliadas.

Para melhorar as características energéticas e econômicas já existentes, geralmente a biomassa passa por um beneficiamento. Uma das possibilidades é a compactação, resultando no briquete, comumente utilizado na geração de energia térmica ou elétrica (EMBRAPA, 2012).

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

As amostras de cana-de-açúcar foram coletadas em Redenção, Ceará. Em seguida, foi feita a caracterização físico-química da amostra in natura, sendo composta pelas seguintes etapas: secagem ao sol; secagem em estufa; determinação do teor de umidade; Poder Calorífico Superior (PCS); análise imediata (voláteis, cinzas e carbono fixo) e distribuição granulométrica.

Inicialmente, a amostra foi acondicionada em um recipiente e levada ao sol por cerca de 8 h, para redução da umidade e melhora na conservação. Os experimentos foram realizados de acordo com as normas que estão

especificadas na Tab. 1 e seguindo o procedimento apresentado na Fig. 1. O PCS foi verificado após duas condições operacionais diferentes, (1) após exposição ao sol e (2) após secagem em estufa (105 °C).

Tabela 1 – Normas e especificações dos procedimentos experimentais e equipamentos.

ANÁLISES	NORMAS	MASSA DA AMOSTRA (g)	TEMPERATURA (°C)	EQUIPAMENTOS
Umidade	ABNT NBR 14929	5,00	105	Estufa/ Balança analítica
Poder Calorífico Superior	ABNT NBR 8633	1,00	-	Bomba Calorimétrica
Teor de Voláteis	ABNT NBR 8112	1,00	900	Mufla
Teor de Cinzas	ABNT NBR 8112	5,00	525	Mufla
Carbono Fixo	ABNT NBR 8112	-	-	-
Granulometria	ABNT NBR 7402	115	-	Peneiras Mesh /Balança analítica

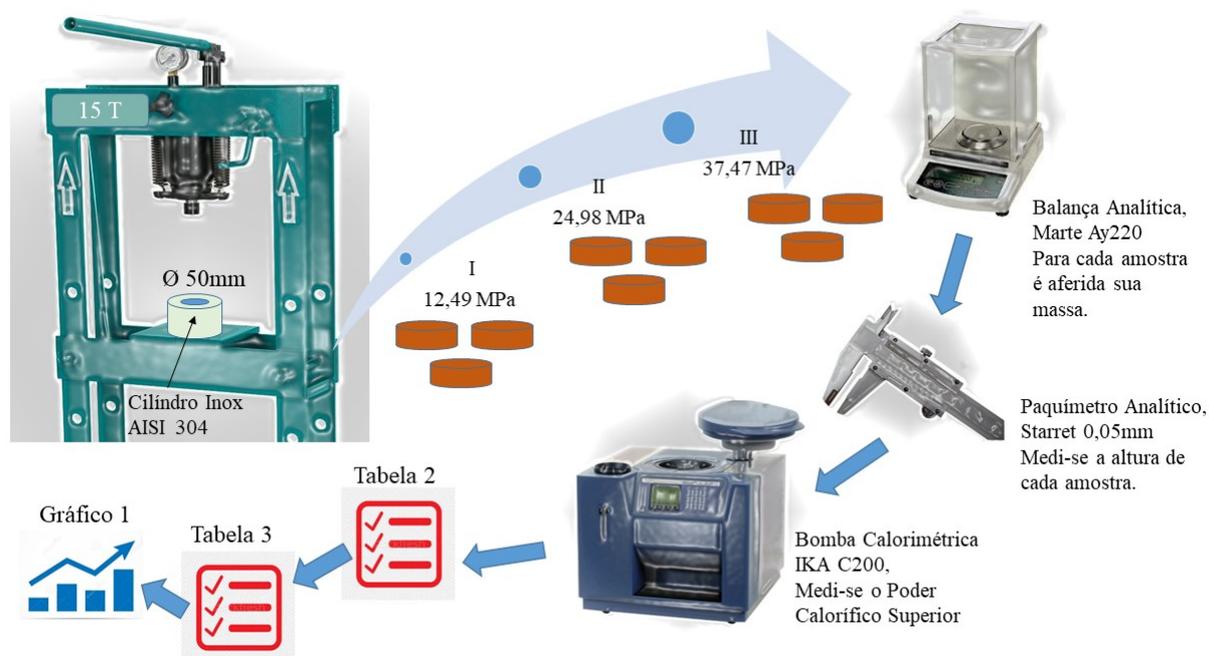


Figura 1 – Sequência do procedimento para obtenção dos briquetes e experimentos realizados.

Para os briquetes, avaliou-se o PCS, densidade aparente e expansão do volume. A matéria orgânica *in natura* foi peneirada, com adaptação à norma NBR 7217, com peneiras da marca GRANUTEST, com abertura de malha de 16,0 a 0,150 mm. Em seguida, a matéria retida na peneira de 1 mm foi seca em estufa (105 °C) até umidade, em base seca, de aproximadamente  $10 \pm 1\%$ .

O material foi compactado em um molde cilíndrico de aço AISI 304, com diâmetro interno de 50,0 mm e com uma prensa hidráulica Marconi de 15 ton. A matéria orgânica foi acondicionada no molde e compactada até cada pressão de interesse e, foi aplicado um tempo de espera de 5 min para a prensagem e para o descanso (após retirado o material compactado da prensa), de modo a ter uma melhor consistência para o briquete (PAULA, 2010). Para cada uma das três pressões, 12,49, 24,98 e 37,47 MPa, foram produzidas amostras de 30 g, em triplicata, para a densidade aparente e, de 5 g, em quintuplicata, para o PCS (depois fracionadas em corpos de prova de 1 g).

A massa dos briquetes foi obtida utilizando uma balança analítica, marca Marte, modelo AY220. Para o volume, foram aferidas as alturas e diâmetros de cada briquete com paquímetro analógico Starret de precisão de 0,05 mm. A densidade a granel foi aferida utilizando o material *in natura*, conforme norma ABNT NBR ISO 3852. Para obtenção do Poder Calorífico Superior utilizou-se a bomba calorimétrica da marca IKA, modelo C200, conforme a norma NBR 8633. Posteriormente, foi realizada uma análise estatística do PCS e densidade aparente dos briquetes.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A umidade inicial do bagaço de cana foi de  $20,93 \pm 0,92\%$  e a umidade final foi de  $8,98 \pm 0,79\%$ , em base úmida e,  $9,65 \pm 0,87\%$  em base seca. O PCS da amostra “seca ao sol por 8 h” foi de  $13,26 \pm 0,28$  kJ/kg, enquanto a amostra “seca em estufa” foi de  $14,85 \pm 0,51$  kJ/kg. Os resultados da análise imediata estão apresentados na Tab. 2.

Tabela 2 - Análise imediata do bagaço de cana.

Teor de Voláteis (%)	Teor de Cinzas (%)	Teor de Carbono Fixo (%)
$67,14 \pm 3,46$	$18,64 \pm 1,49$	$14,22 \pm 2,18$

Os resultados da análise imediata funcionam como parâmetro de qualidade da biomassa. Segundo Garcia 2010, o teor de voláteis indica o comportamento na decomposição térmica, o teor de cinzas, resíduo restante da queima, o qual pode interferir na eficiência e teor de carbono fixo, o qual indica a taxa de queima. Comparando os resultados do bagaço de cana-de-açúcar com o carvão mineral (CAR), nas pesquisas de Fallavena e colaboradores 2013, foram encontrados para o CAR valores de 41,19 % para as cinzas, 19,17% para os voláteis e 39,64% para o carbono fixo, ou seja, o bagaço de cana apresentou um teor de voláteis 3,5 vezes maior que o CAR, assim como um teor de cinzas 2,2 vezes inferior ao CAR. Desta forma, pode-se inferir que o bagaço de cana é mais reativo e mais eficiente para a queima do que o CAR investigado no trabalho de Fallavela *et al.* 2013. Na Tab. 3 está apresentada a análise granulométrica para o bagaço de cana-de-açúcar.

Tabela 3 - Análise granulométrica para o bagaço de cana-de-açúcar

Abertura da malha (mm)	Massa da fração (kg)	Porcentagem do retido (%)	Massa acumulada (kg)	Porcentagem acumulada do retido (%)
16,0	11,55	10,04	11,55	10,04
9,5	28,09	24,43	39,64	34,47
4,0	29,84	25,95	69,48	60,42
2,0	15,92	13,84	85,40	74,26
1,0	11,79	10,25	97,19	84,51
0,150	15,84	13,77	113,03	98,29
Recipiente base	1,97	1,71	115,00	100,00

Na Fig. 2 estão apresentados os dados de redução da densidade energética *versus* expansão volumétrica dos briquetes. A estabilização ocorreu por volta de 140 h. É possível perceber a semelhança nas taxas de expansão dos grupos de amostras, como também um limite de compactação, devido à proximidade entre os valores entre o grupo submetido a maior pressão e a intermediária.

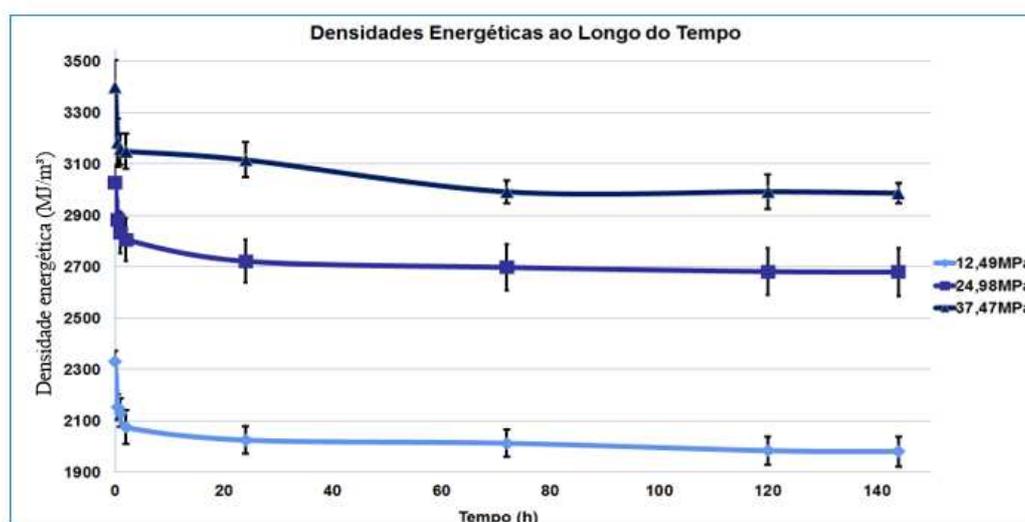


Figura 2 – Redução da Densidade Energética ao Longo do Tempo

Na Fig. 3 estão apresentados os resultados de densidade energética *versus* pressão de compactação. Para essa avaliação, investigou-se a densidade energética no momento da retirada dos briquetes do molde e após 144 h, em comparação a densidade energética à granel. Também foram inseridas as razões de compactação de cada grupo, ou seja, o quanto o material possui de energia por unidade de volume quando comparado ao *in natura*. Os melhores resultados foram para a pressão de 37,47 MPa, com valor médio de  $3400,72 \pm 104,01$  MJ/m<sup>3</sup> e razão de compactação de 3,35.

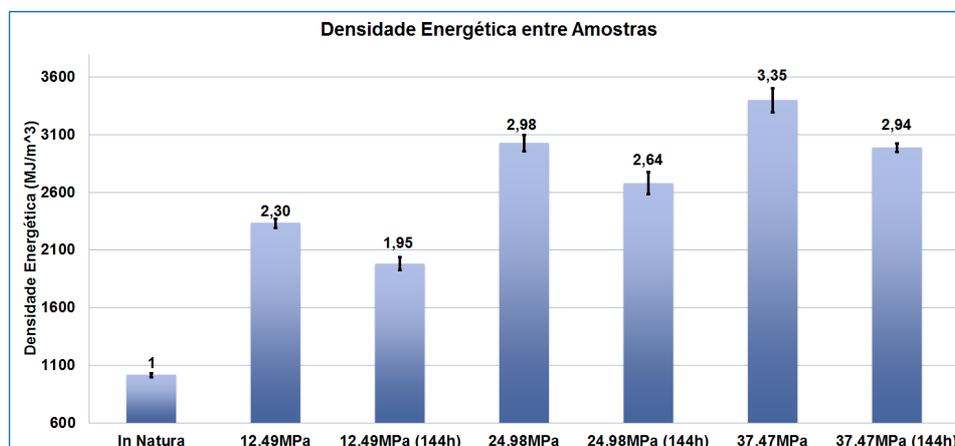


Figura 3 - Densidade energética *versus* pressão de compactação para os briquetes de bagaço de cana.

Na Tab. 4 estão os resultados dos efeitos das pressões de compactação na densidade e no PCS do briquete produzido (foi tomado o valor da primeira medição de volume).

Tabela 4 - Efeitos das pressões de compactação na densidade e no PCS do briquete.

Pressão (Mpa)	Média da Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	Desvio Padrão	Média PCS (MJ/kg)	Desvio Padrão
12,49	148,0004	3,1630	15,7568	0,0557
24,98	190,2810	5,4128	15,9084	0,1182
37,47	213,0537	6,5160	15,9618	0,1266

Para verificar as diferenças entre as médias de cada grupo de amostras, foi aplicado o teste de t independente para cada combinação de duas pressões, ver Tab. 5.

Tabela 5 – Resultados do teste de t independente para a densidade e o PCS.

Intervalos de Pressão (Mpa)	Teste de t para a densidade.	Significância	Teste de t para o PCS	Significância
12,49 - 24,98	-11,184	0,008	-2,890	0,045
12,49 - 37,47	-32,448	0,001	-3,099	0,036
24,98 - 37,47	-4,093	0,055	-0,499	0,644

Um valor de significância maior que 0,05 indica que a diferença entre os grupos não é significativa. Tanto para o PCS como para a densidade, o único par em que não houve uma melhora significativa foi o de 24,98 para 37,47 Mpa, indicando que a partir de 24,98 MPa, para esse sistema, a densidade e o PCS não apresentam acréscimo com o aumento da pressão.

#### 4. CONCLUSÃO

A análise imediata da amostra comprovou que a composição do bagaço de cana é de  $67,14\% \pm 3,46$  de voláteis, de  $18,64\% \pm 1,49$  de cinzas e  $14,22\% \pm 2,18$  de carbono fixo, apresentando indicativo de uma biomassa com característica de boa ignição para a combustão e baixo teor de geração de cinzas em sua utilização comparado ao CAR. De acordo com o teste de t independente, não houve melhora significativa do PCS e da densidade do briquete a partir da faixa de 24,98 MPa. O briquete produzido apresentou estabilização de volume após 140 horas.

## Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro do CNPq (459355/2014-7, 406697/2013-2, and 308280/2017-2), Funcap (Processo AEP-0128-00220.01.00/17), CAPES (Código de financiamento 001) e Finep.

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 8112: Carvão vegetal – Análise imediata. Rio de Janeiro: ABNT, 1986. 15 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 8633: Determinação do poder calorífico da madeira e do carvão vegetal. Rio de Janeiro: ABNT, 1986. 13 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 14929: Madeira - Determinação do teor de umidade de cavacos - Método por secagem em estufa. Rio de Janeiro: ABNT, 2003. 3 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 7402: Carvão vegetal – Determinação granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 1982. 3 p.
- BRASÍLIA. Agência Nacional de Energia Elétrica - Aneel. Ministério de Minas e Energia. Atlas de energia elétrica do Brasil. 3. ed. 2008. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br>.
- Companhia Nacional de Abastecimento, Acompanhamento da safra de cana-de-açúcar. V4, Brasília, CONAB, 2019, 62 p.
- Dias, J. M. C. D. S.; Souza, D. T. De; Braga, M.; Onoyama, M. M.; Miranda, C. H. B.; Barbosa, P. F. D.; Rocha, J. D. 2012. Produção de Briquetes e péletes a partir de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais. EMBRAPA, Brasília, p. 132.
- Fallavena, V. L. V.; Abreu, C. S. de; Inácio, T. D.; Pires, M.; Azevedo, C. M. N. 2013. Caracterização detalhada de material de referência certificado de carvão brasileiro. Química Nova, v.36, n.6, p.859-864.
- Garcia, D. P. 2010. Caracterização Química, física e térmica de pellets de madeira produzidos no Brasil. GUARATINGUETÁ: UNESP. 103f. Dissertação (Mestrado em Materiais Compósitos Lignocelulósicos)
- Hansted, A. L. S.; Nakashima, G. T.; Martins, M. P.; Yamaji, F. M. 2016. Artigo Caracterização Físico-Química da Biomassa de *Leucaena leucocephala* para Produção de Combustível Sólido. Revista Virtual de Química. p.12.
- Paula, L. E. R. 2010. Produção e avaliação de briquetes lignocelulósicos. LAVRAS: UFLA. 83p. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia da Madeira).

## SUGARCANE BAGASSE BRIQUETTES (*Saccharum spp*): EVALUATION ON LABORATORY SCALE PRODUCTION

**Abstract.** *One of the major sources of organic matter in Brazil is sugarcane bagasse and one of the ways to take advantage of this potential would be by producing briquettes. This work aimed to analyze the bagasse in natura and briquetted, verifying the factors that affect the quality of the briquette. According to the results, the sugarcane bagasse had a volatile content of  $67.14\% \pm 3.46$ , ash content of  $18.64\% \pm 1.49$  ash and a fixed carbon content of  $14.22\% \pm 2.18$ . The upper calorific power of the sample "sun-dried for 8 h" was  $13.26 \pm 0.28$  kJ / kg, whereas for the "oven-dried" sample it was  $14.85 \pm 0.51$  kJ / kg. After compaction, the briquette formed presented an average Higher Calorific Value (HCV) in average of  $15.7568$  MJ / kg ( $12,49$ MPa),  $15.9084$  MJ / kg ( $24,98$ MPa) and  $15.9618$  MJ / kg ( $37,47$ MPa). According to the independent t test, there was no significant improvement of HCV and briquette density from the compaction pressure range of  $24.98$  MPa. The briquette produced showed volume stabilization after 140 hours.*

**Key words:** Sugarcane Bagasse, Energy Potential, Briquette