

AVALIAÇÃO DA RUGOSIDADE DE ROLOS LISOS APLICADOS NA MOAGEM DE TRIGO PARA VERIFICAÇÃO DE DESGASTE

Maria Karolina Meneses Damasceno

Universidade Federal do Piauí – Campus Universitário Ministro Petrônio Portella – CEP: 64.049-550 – Bairro Ininga, Teresina – PI.

karolinadamasceno@ufpi.edu.br

Eudes Belfort Prata Filho

Grande Moinho Cearense – Filial Teresina – Via Coletora Secundária, 9755, Bairro Pedra Miúda – CEP: 64038-200

ebelfort@moinhocearense.com.br

Raphael Lima de Paiva

Universidade Federal do Piauí – Campus Universitário Ministro Petrônio Portella – CEP: 64.049-550 – Bairro Ininga, Teresina – PI.

raphaellimap@ufpi.edu.br

Resumo: Com a elevação dos padrões de produção, o investimento no processo produtivo tornou-se cada vez mais necessário no sentido de melhor conhecer o processo para minimizar perdas e maximizar resultados. No seguimento da indústria moageira de trigo, a principal ferramenta de moagem são os rolos acoplados aos bancos de cilindros. À medida que esses rolos trabalham, seu desgaste é inerente, de maneira que essa variável determinará a vida útil dos mesmos. Partindo desse ponto, para melhor controle do processo produtivo, o monitoramento deste desgaste é normalmente realizado com base na avaliação do parâmetro de rugosidade R_a , de modo que divergências entre as medidas coletadas e as padronizadas pela empresa implica em manutenção preventiva dos rolos. Neste sentido, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a rugosidade de rolos lisos aplicados à moagem de trigo em função do tempo de uso, para verificar como esse acabamento superficial se comporta com o tempo. Para isso, dois rolos de moagem foram selecionados e os parâmetros de rugosidade R_a , R_z , R_{sk} e R_{ku} foram medidos em diferentes períodos. Medições de rugosidade em rolos novos também foram realizadas para efeitos de comparação. Os resultados mostraram que não foi possível constatar nenhuma correlação clara dos entre os parâmetros de rugosidade R_a e R_z com o desgaste dos rolos, considerando o intervalo de tempo analisado neste trabalho. Todavia, para o parâmetro R_{sk} foi observado que os rolos desgastados apresentam, diferentemente dos rolos novos, skewness bem negativo, o que indica que este parâmetro é mais adequado para realizar o acompanhamento do desgaste superficial dos rolos em comparação com R_a e R_z .

Palavras-chave: Rolos de moagem; Rolos lisos; Desgaste; Rugosidade.

1. INTRODUÇÃO

O trigo é um dos cereais de mais antigo cultivo e, dada sua grande versatilidade, é/foi de grande importância para a base alimentar de inúmeras civilizações no mundo (Carvalho *et al.*, 1988). Naturalmente, a busca por otimizar processos produtivos é inerente ao ser humano e, consequentemente, a história da moagem de trigo para fabricação da farinha é repleta de desenvolvimentos incrementais e inovadores com o intuito de melhorar tecnologias para quebra dos grãos e ainda separar suas partes de forma eficiente (Campbell, 2007). Este tipo de desenvolvimento não só estimula a concorrência entre produtores do mesmo setor, mas também a ampliação da capacidade produtiva desses, bem como a elevação dos padrões de qualidade do produto (Nogueira *et al.*, 2012).

A inclusão de novas tecnologias é acompanhada da inserção de equipamentos mecanizados nas áreas industriais (Nogueira *et al.*, 2012), com a necessidade de mantê-los funcionando a maior parte do tempo e a custos mais baixos. Neste sentido, o tipo de manutenção executada é crucial no êxito do processo produtivo (Santos, 2010), e, no que se refere à moagem de trigo, os bancos de cilindro são os principais equipamentos do processo, cuja manutenção não pode ser negligenciada, visto que isso implicaria em perdas de produção por paradas não programadas (Paschoal, 2009).

Os bancos de cilindros são mecanismos compostos por pares de rolos que, ao rotacionarem, moem os grãos de trigo e derivam, ao fim da linha de produção, a farinha de trigo. São esses rolos responsáveis por quebrar os grãos e moê-los, sendo assim determinantes para a capacidade de extração (porcentagem de farinha de trigo extraída do grão) e qualidade do produto. Dessa maneira, a ausência de estratégias de manutenção voltadas para os rolos de moagem poderá gerar problemas como desgaste precoce dos rolos, sobreaquecimento, queda nos níveis de extração, flotação e aumento do amido danificado.

Por essa razão, o uso de moinho de rolos é extremamente vantajoso, já que há a possibilidade de modular os parâmetros de entrada, tais como design dos rolos, velocidade de rotação, folga entre rolos, corrente de alimentação do mecanismo, diâmetros dos rolos, a fim de obter uma moagem mais controlada e seletiva (Campbell, 2007) e evitar problemas

inesperados. Contudo, é importante salientar que, à medida que os rolos trabalham, seu desgaste é inevitável, de forma que isso determinará seu tempo útil. Dessa forma, é importante que esse processo de desgaste seja monitorado a fim de realizar a troca dos rolos em um momento adequado.

O procedimento normalmente realizado na prática para troca dos rolos se baseia na recomendação de tempo de uso do fabricante e no monitoramento dos valores de rugosidade média (parâmetro Ra) da superfície de trabalho dos rolos. A experiência dos moleiros também é levada em consideração, uma vez que os rolos mais desgastados apresentam uma superfície mais brilhosa, indicando um maior desgaste e necessidade de troca. No entanto, não existe ainda um estudo que busca compreender a relação entre o desgaste do rolo e a evolução de suas características topográficas em termos de parâmetros de rugosidade. Neste sentido, este trabalho tem como objetivo avaliar a rugosidade (parâmetros Ra, Rz, Rsk e Rku) de rolos lisos aplicados na moagem do trigo em diferentes etapas (diferentes produtos de entrada) em função do tempo de uso, a fim de verificar se existe alguma tendência entre esses parâmetros de rugosidade com a vida útil do rolo (degastr).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os rolos de moagem avaliados neste trabalho compõem diferentes bancos de cilindro do Grande Moinho Cearense, filial Teresina-PI. Os bancos selecionados para este estudo foram o C1/C2 – caracterizado por ser um banco duplo, isto é, com quatro pares de rolos, sendo dois pares na parte superior (C1) e dois na parte inferior (C2) – e o C9 que é um banco simples por conter apenas dois pares de cilindros. Os bancos de cilindro são da fabricante Buhler - Figura 1 (a) – cuja temperatura de operação é de 5°C a 50°C, desempenho de acionamentos de até 22 kW para passagem de moagem e rotação de 380 a 970 rpm para rolos com diâmetro de 250 mm.



(a)



(b)

Figura 1. Bancos de cilindros - GMC Filial PI (a) e (b) rolos de moagem.

Os rolos analisados foram do tipo liso, e identificados neste trabalho como C1AB e C9. Na Tabela 1 são apresentadas algumas especificações técnicas dos cilindros de moagem. Estes cilindros são fabricados em uma liga de ferro fundido cinzento revestida por ferro fundido branco, que lhes conferem maior resistência à abrasão do trigo e maior tolerância à aplicação de grandes cargas radiais. O fabricante estipula que a rugosidade que atende seus padrões de fabricação, tratando-se de parâmetro Ra – é de 2,5 µm a 3,5 µm, de modo que a camada de revestimento com material de maior dureza poderá ter de 10 a 15 mm de espessura, além de sugerir que a troca desses rolos seja feita a cada 1 ano e 6 meses. Contudo, a indústria Grande Moinho Cearense padroniza que, para uma amplitude inferior a 2,0 µm referente ao parâmetro Ra, os rolos devem ser trocados para evitar impactos negativos na extração de farinha de trigo dos grãos, bem como outros problemas, tais como gasto excessivo de energia, fenômeno de flotação (formação de partículas acumuladas na zona de moagem dos rolos).

Tabela 1. Dados técnicos fornecidos pelo fabricante sobre os rolos de moagem.

Modelo	Rolo	Abaulamento (mm)	Comprimento (mm)	Diâmetro (mm)	Dureza (HB)
MDDQ	C1AB	50-55	1000	250	450-490
MDDP	C9	30-35	1000	250	450-490

Um outro parâmetro de entrada do processo de moagem é o tipo de produto de suas características: tratando-se do rolo C1AB localizado na parte superior (C1) do banco duplo C1/C2 [Figura 2(a)], o produto que alimenta a zona de moagem desse cilindro superior é uma sêmola de granulometrias diversas – Figura 2(b) – mas com predominância de partículas grossas. Esse blend de sêmolos possui partículas grossas (950 a 710 µm), médias (560 a 475 µm) e finas (425 a 355 µm). Quanto ao produto de entrada do rolo C9 [Figura 2 (c)], este é o farelo visto na Figura 2(d), que é a parte mais externa do

grão descrito, também, como um componente fibroso e que compõem apenas de 13% a 17% do peso do grão (Boukid, 2021).

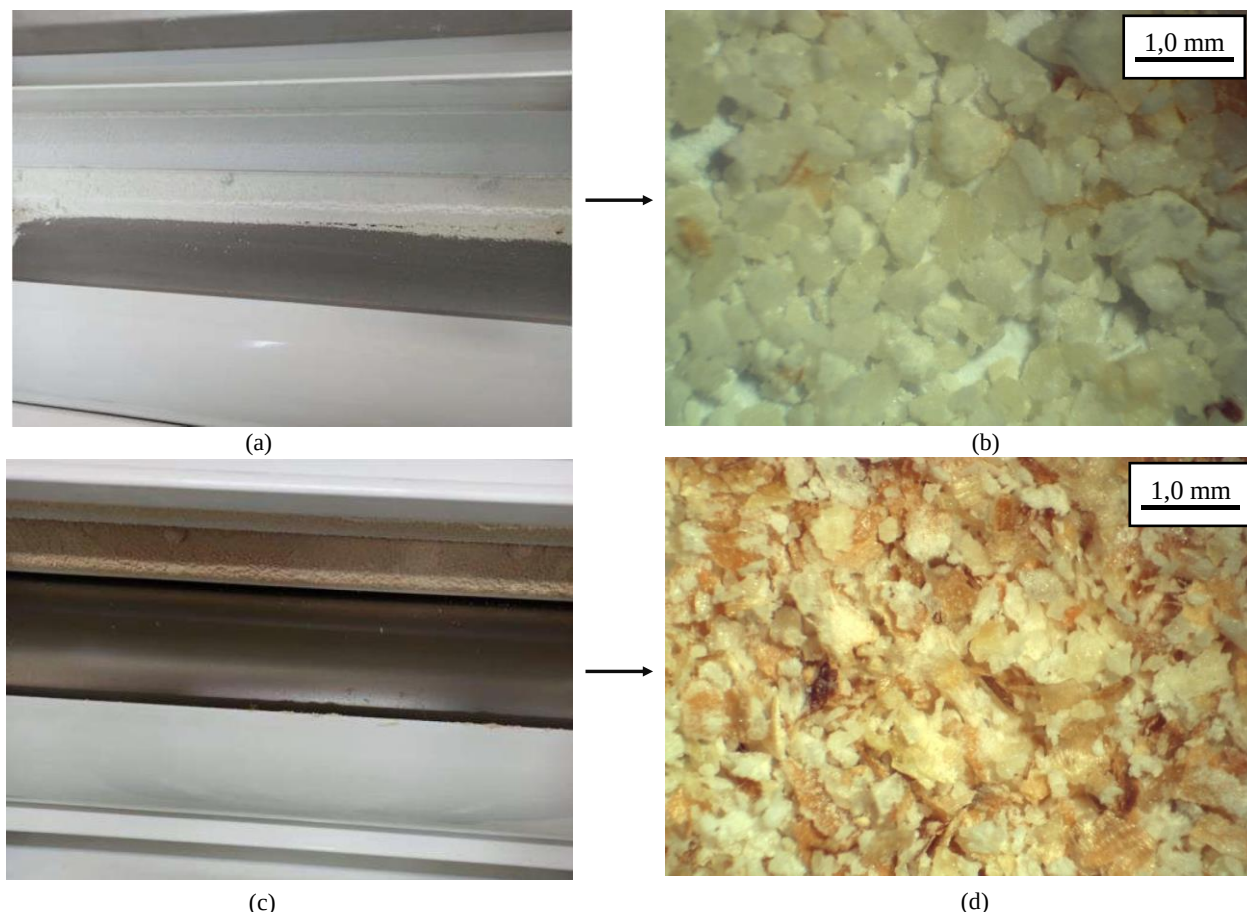


Figura 2. Rolo de moagem C1 (a) com o seu produto de entrada (b) e rolo de moagem C9 (c) com seu produto de entrada (d).

Para avaliação dos parâmetros de rugosidade, foi utilizado um rugosímetro da fabricante Mitutoyo, modelo SJ-210 – cujos parâmetros de entrada selecionados cut off de 0,8 mm e comprimento de avaliação de 6,4 mm (8 comprimentos de amostragem). A rugosidade foi medida em três regiões diferentes do rolo conforme esquema ilustrativo apresentado na Figura 3: ponta esquerda, meio e ponta direita. Das três medições foram retiradas médias e desvio-padrão para análise dos resultados. As medições de rugosidade foram realizadas em quatro datas de coleta: 23/07/2022, 15/08/2022, 21/08/2022 e 07/09/2022. Ressalta-se que os rolos avaliados neste trabalho possuíam, no início das medições de rugosidade, 1 ano e 4 meses de tempo de uso, o que corresponde a aproximadamente 90% da vida útil conforme indicado pelo fabricante. Além disso, as datas para medição de rugosidade foram selecionadas conforme as paradas dos bancos de cilindros dos rolos analisados.

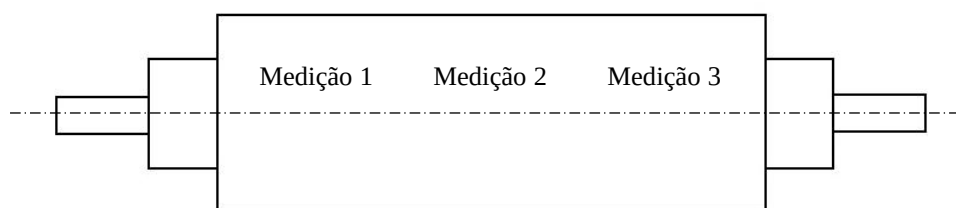


Figura 3. Esquema ilustrativo da posição das medições das rugosidades.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Figura 4 são mostrados os valores de rugosidade Ra e Rz para ambos os rolos C1AB e C9, em função da data de medição.

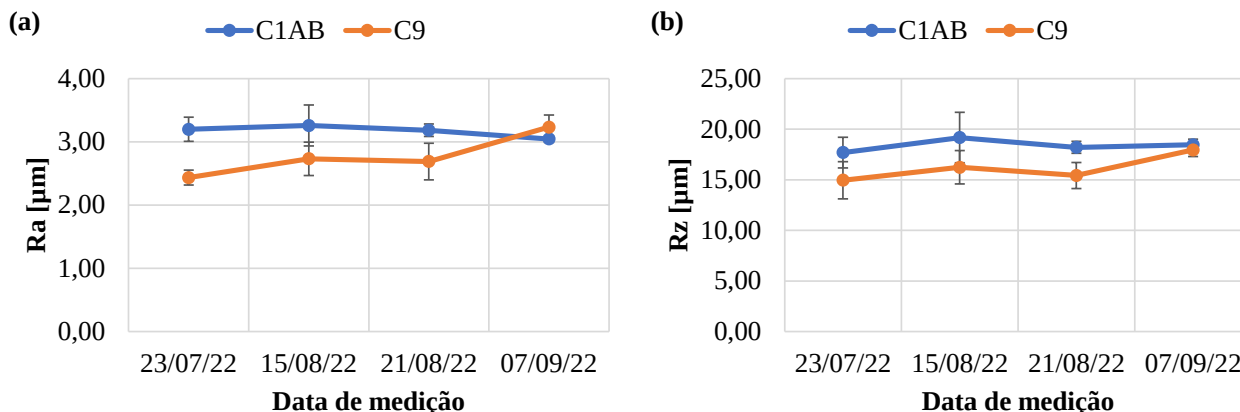


Figura 4. Rugosidade Ra (a) e Rz (b) dos rolos C1AB e C9 em função da data de medição.

Na Figura 4 (a), pode-se observar que o parâmetro Ra possui uma tendência de queda tratando-se do rolo C1AB. Porém, para o rolo C9, esse mesmo parâmetro possui uma tendência oposta, isto é, de aumento nos valores de Ra em função da data de medição. Já na Figura 4 (b), tanto o rolo C1AB, quanto o rolo C9 apresentam tendências de aumento. Conforme mencionado anteriormente, por indicação do fabricante espera-se que a rugosidade do rolo diminua gradativamente com o uso, sendo necessário sua troca para valores de Ra abaixo de 2 μm conforme metodologia empregada pela Grande Moinho Cearense. Contudo, em ambos os gráficos da Figura 4, observa-se que os parâmetros de rugosidade Ra e Rz não decaem ao longo do período de medição, o que leva a constatar que, no geral, não há uma relação definida dos parâmetros de rugosidade com o tempo de uso dos rolos. Neste sentido, com os dados levantados neste trabalho, não é possível verificar uma correlação entre os parâmetros Ra e Rz com o desgaste dos rolos.

Na Figura 5 é mostrado o espaço morfológico (R_{sk} x R_{ku}) para cada um dos rolos analisados neste trabalho, considerando as diferentes datas de medição. Observa-se que, considerando os valores de desvio-padrão das medições, não foi possível verificar uma tendência clara de alteração nos valores de R_{sk} e R_{ku} para o período de tempo analisado neste trabalho. No entanto, diferente dos parâmetros Ra e Rz, os parâmetros R_{sk} e R_{ku} apresentam diferenças significativas entre os dois rolos. Referindo-se ao rolo C9, este possui valores de R_{sk} mais negativos em comparação ao rolo C1AB, bem como maiores valores de R_{ku} . Este resultado indica uma diferença nas características topográficas entre os rolos, que pode estar associado ao produto de entrada. A geometria mais angulosa e menor dimensão do farelo de trigo [Figura 2(d)] contribui para formação de vales mais profundos e estreitos na superfície dos rolos, o que gera, consequentemente, maiores valores de R_{ku} e skewness (R_{sk}) mais negativos.

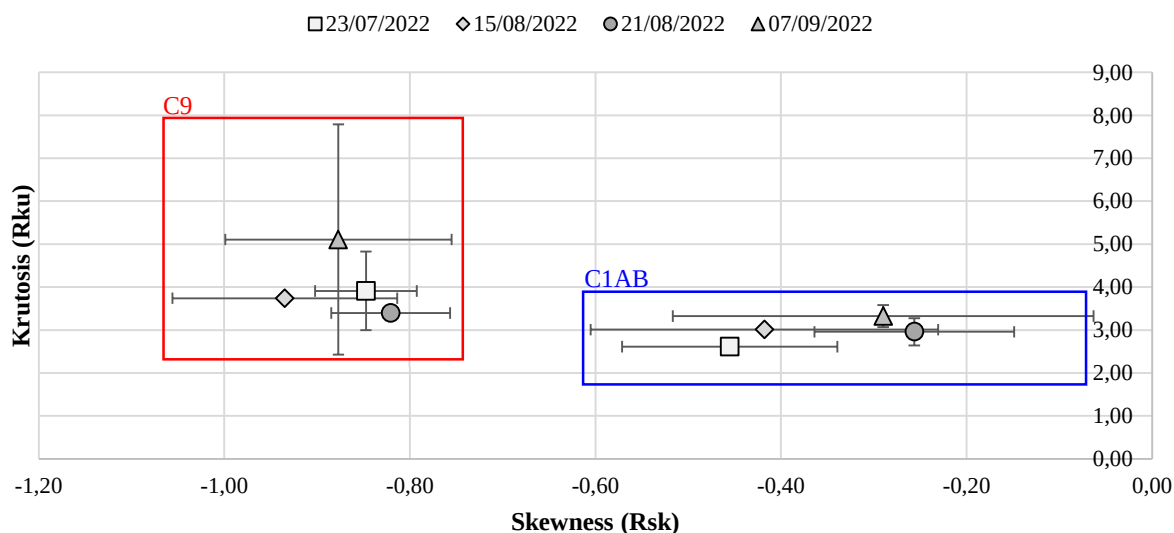


Figura 5. Espaço morfológico (R_{sk} x R_{ku}) do rolo C1AB (a) e C9 (b) para cada data de medição.

Na Figura 6 são mostrados os últimos valores de rugosidade Ra e Rz (data de medição dia 07/09/22) dos rolos C1AB e C9 em comparação àqueles de rolos novos de mesma característica. Desta figura nota-se pouca variação entre os valores de rugosidade dos rolos já desgastados e os rolos nunca utilizados (novos). Além disso, os valores de rugosidade Ra e Rz dos rolos novos são inferiores aos rolos desgastados, o que confronta com o esperado pelo fabricante, isto é, uma redução de rugosidade em função do tempo de uso. Este resultado sugere que os parâmetros Ra e Rz não são indicados para critério de fim de vida útil dos rolos.

É importante ressaltar que não necessariamente existe uma relação direta entre desgaste (perda de material causado pelo movimento relativo) com a rugosidade de uma determinada superfície. De acordo com Ghosh *et al.* (2015), quando superfícies rugosas são submetidas ao desgaste, a rugosidade tende a reduzir, convergindo para um determinado valor em função do número de ciclos. No entanto, a alteração da rugosidade superficial devido ao desgaste dependerá, também, da condição inicial da superfície conforme observado por Pham-ba *et al.* (2021). Os autores analisaram a evolução da rugosidade com o desgaste e verificaram que superfícies mais bem acabadas (menores valores de Ra) apresentaram característica mais rugosa após o desgaste, enquanto superfícies inicialmente mais rugosas apresentaram menores valores de Ra após o desgaste sob mesmas condições. Neste sentido, como o intervalo escolhido para a avaliação deste trabalho coincidiu com o fim do período de vida útil estipulado pelo fabricante, os valores de rugosidade Ra e Rz medidos podem não apresentar variações relevantes capazes de fornecer uma tendência explícita de desgaste, fazendo-se necessário, portanto, um monitoramento que inclua períodos próximos do início de vida útil dos rolos.

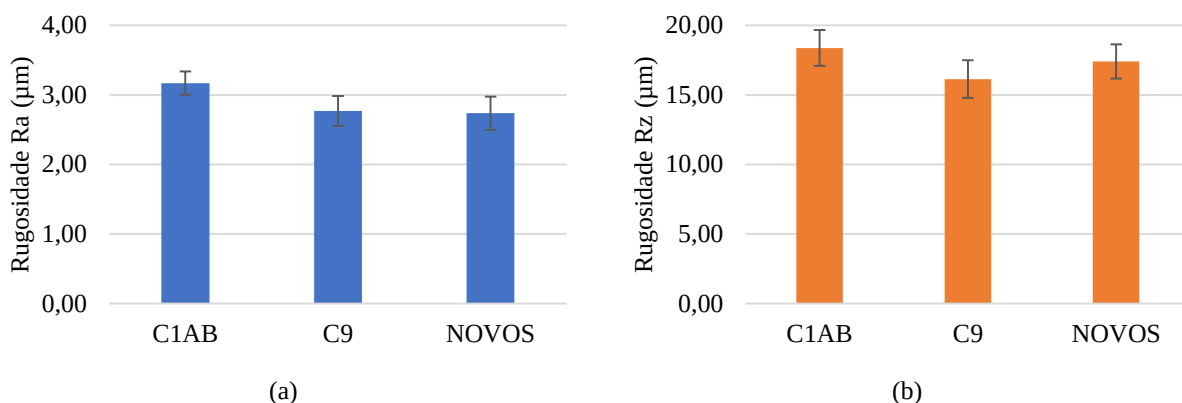


Figura 6. Últimos valores de rugosidade medidos (07/09/2022) em comparação a rolos novos. (a) Ra e (b) Rz.

Na Figura 7 os valores de skewness e kurtosis das últimas medições (07/09/2022) são comparados com os valores de rolos novos conforme disponibilizados pelo fabricante. Da Figura 7(a), pode-se observar que os rolos novos apresentam skewness próximos a zero, o que indica um número semelhante de picos e vales no perfil. As superfícies dos rolos desgastados, por sua vez, apresentam skewness mais negativos, caracterizando, assim, uma superfície platô-vale (Hutchings, 2017). Em relação aos valores de kurtosis, observa-se da Figura 7(b) que o rolo C9, já desgastado, apresenta valores de Rku levemente maiores em relação àquele medido para o rolo novo, o que indica uma topografia com picos e vales mais estreitos de modo geral. Dessa forma, os resultados da Figura 7 indicam que o desgaste nos rolos promoveu uma alteração topográfica da superfície no que diz respeito à simetria entre picos e vales, e não necessariamente em relação à amplitude do perfil de rugosidade (parâmetros Ra e Rz). Neste sentido, os resultados deste trabalho indicam que o monitoramento no parâmetro Rsk é mais adequado para tomar decisões em relação à vida útil dos rolos.

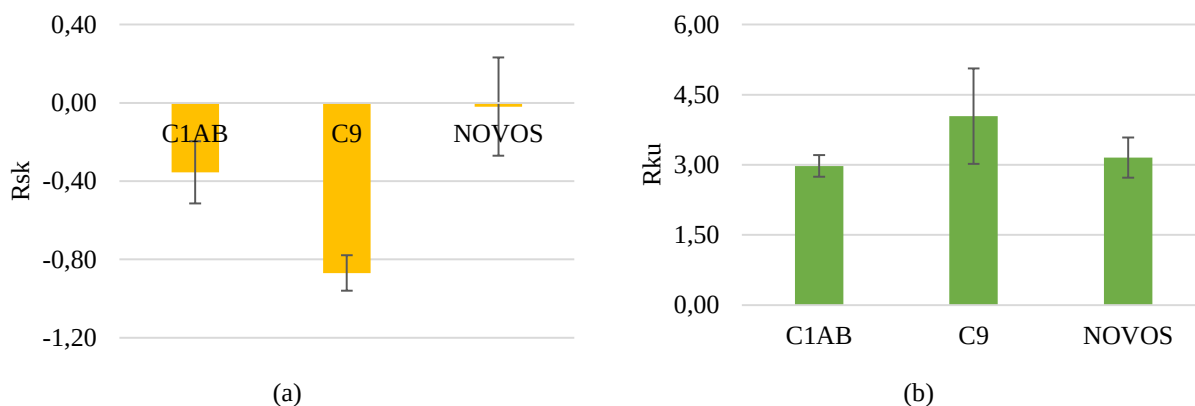


Figura 7. Últimos valores de rugosidade medidos (07/09/2022) em comparação a rolos novos. (a) Rsk e (b) Rku.

4. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos neste trabalho, pode-se concluir que:

- Analisando de modo geral, não foi possível verificar, para o período avaliado neste trabalho, nenhuma correlação clara entre os parâmetros de rugosidade Ra e Rz com o desgaste dos rolos;
- O desgaste nos rolos promoveu uma alteração topográfica da superfície no que diz respeito à simetria entre picos e vales, porém não necessariamente em relação à amplitude do perfil de rugosidade (parâmetros Ra e Rz). Portanto, o parâmetro Rsk é mais indicado para ser monitorado e tomar decisões em relação à vida útil dos rolos.
- Por fim, vale ressaltar que, de acordo com as informações repassadas pela empresa no que diz respeito ao limite de extração geral de farinha mínimo de 77% e a qualidade do produto produzido, tais variáveis de saída permanecem em níveis aceitáveis. Neste sentido, e considerando que os valores de rugosidade Ra medidos nos rolos estão dentro dos intervalos normais de operação determinados pelo fabricante de 2,5 μm a 3,5 μm para rugosidade Ra, pode-se inferir pelos resultados deste trabalho que não há, em termos de rugosidade, necessidade de troca dos rolos avaliados, mesmo após o tempo de uso de 1 ano e 7 meses.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho agradecem ao Grande Moinho Cearense – Filial Teresina-PI pela oportunidade de desenvolver este trabalho. Agradecem, também, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, à Universidade Federal do Piauí – UFPI e aos organizadores, colaboradores e apoiadores do 12º COBEF.

6. REFERÊNCIAS

- Boukid, Fatma. 2021. Cereal-based foodstuffs: The Backbone of Mediterranean Cuisine. s.l.: Springer Nature 2021.
- Campbell, Grant. 2007. Roller Milling of Wheat. Handbook of powder technology. Manchester: Elsevier B.V, 2007, pp. 383 - 416.
- Carvalho, N. and Nakagawa, J. 1988. Sementes: ciência, tecnologia e produção. Campinas: Fundação Cargill, 1988.
- GOSH, Arnab and SADEGHI, Farshid. 2015. A novel approach to model effects of surface roughness parameters on wear. Wear. 2015, Vol. v.338.
- HUTCHINGS, Ian and Schipway, P. 2017. Tribology: Friction and Wear of Engineering Materials. s.l.: Butterworth-Heinemann, 2017.
- Nogueira, C. F., Guimarães, L. G. E Silva, M. B. Da. 2012. Manutenção industrial: implementação da manutenção produtiva total (TPM). Belo Horizonte: UniBH, 2012.
- Paschoal, D. R. de S. Et Al. 2009. Disponibilidade e confiabilidade: Aplicação da gestão da manutenção na busca de mais competitividade. Revista da Engenharia de Instalações no mar FSMA. n.3, 2009.
- PHAM-BA, Son and MOLINARI, Jean-François. 2021. Creation and evolution of roughness on silica under unlubricated wear. Wear. v. 472, 2021.
- Santos, Valdir Aparecido dos, Prontuário para manutenção mecânica. s.1: São Paulo, 2010.

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.

ROUGHNESS EVALUATION OF SMOOTH ROLLING MILLS APPLIED TO WHEAT FLOUR MILLING FOR WEAR ANALYSIS

Maria Karolina Meneses Damasceno

Universidade Federal do Piauí – Campus Universitário Ministro Petrônio Portella – CEP: 64.049-550 – Bairro Ininga, Teresina – PI.

karolinadamasceno@ufpi.edu.br

Eudes Belfort Prata Filho

Grande Moinho Cearense – Filial Teresina – Via Coletora Secundária, 9755, Bairro Pedra Miúda – CEP: 64038-200

ebelfort@moinhocearense.com.br

Raphael Lima de Paiva

Universidade Federal do Piauí – Campus Universitário Ministro Petrônio Portella – CEP: 64.049-550 – Bairro Ininga, Teresina – PI.

raphaellimap@ufpi.edu.br

Abstract. *With the increase in production standards, investment in the production process has become more necessary in order to better know the process to minimize losses and maximize results. Following the wheat milling industry, the main milling tool are the rollers which are coupled to the cylinder banks. As these rollers work, their wear is inherent, so this variable will determine their useful life. From this point on, for better control of the production process, the monitoring of this wear is usually performed based on roughness Ra evaluation, so that differences between the measurements and those standardized by the company imply changing the rollers. In this sense, the present work aims to evaluate roughness parameters of rolling mills applied to wheat milling as a function of their time of use, in order to verify the surface finishing evolution with time. For this, two roller mills were selected and the roughness parameters Ra, Rz, Rsk and Rku were measured. Roughness measurements in newly roller mills were also performed for comparison purposes. The results showed that no clear correlation between Ra and Rz parameters were found with the roller mills wear considering the period evaluated in this work. However, for Rsk parameter, it was noticed that, unlike the newly rollers, the worn ones presented more negative skewness, thereby indicating that this parameter is more adequate to monitor surface wear of rolling mills in comparison to Ra and Rz.*

Keywords: Roller mills; Smooth rollers; Wear; Roughness.

RESPONSIBILITY NOTICE

The authors are the only ones responsible for the printed material included in this paper.