

EFEITO DA RUGOSIDADE NO COEFICIENTE DE ATRITO ESTÁTICO DE PISOS CERÂMICOS¹

Giuseppe Pintaúde²
Cristiano Brunetti³

Resumo

O controle do coeficiente de atrito estático em pisos cerâmicos é uma questão de segurança. Pode-se controlar esse parâmetro por meio de modificações de superfície que alterem a rugosidade dos pisos, o que normalmente é realizado por meio de produtos químicos. Este trabalho apresenta variações do coeficiente de atrito estático, determinado para pisos cerâmicos seguindo a norma ASTM C1028. Essas variações foram relacionadas com parâmetros de rugosidade, determinados na condição seca. Verificou-se que a aplicação de produto químico a base de ácidos inorgânicos eleva sobremaneira os parâmetros médios de rugosidade. O mecanismo de atuação do produto químico se baseia na maior geração de vales nos pisos, promovendo áreas de retenção de líquidos e gases, aumentando a força de adesão durante o deslizamento e conseqüentemente, o coeficiente de atrito estático.

Palavras-chave: Coeficiente de atrito estático; Pisos cerâmicos; Rugosidade.

EFFECT OF SURFACE ROUGHNESS ON THE STATIC FRICTION COEFFICIENT OF CERAMIC TILES

Abstract

The control of static friction coefficient in ceramic tiles is a safety aspect. This parameter can be controlled by means of surface changes, which modify the surface roughness of tiles, usually performed through chemical products. This paper presents the variations on the static friction coefficient, determined for ceramic tiles following the ASTM C1028 recommendations. These variations were related to the roughness parameters, obtained in the dry testing condition. The application of inorganic acids base-chemical product increases significantly the average roughness. The acting mechanism of chemical product is based on the valleys generation on the tiles, which promoting retention areas of liquids and gases, increasing the adhesion force during the sliding, and consequently, the static friction coefficient.

Key words: Static friction coefficient; Ceramic tiles; Surface roughness.

¹ *Contribuição técnica ao 63º Congresso Anual da ABM, 28 de julho a 1º de agosto de 2008, Santos, SP, Brasil*

² *pintaude@utfpr.edu.br, Dr. Em Engenharia, Departamento Acadêmico de Mecânica, Laboratório de Superfícies e Contato, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Brasil.*

³ *Mestre em Engenharia, Departamento Acadêmico de Mecânica, Laboratório de Superfícies e Contato, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Brasil.*

1 INTRODUÇÃO

O problema de escorregamento em pisos cerâmicos é crítico para vários setores de atividade, podendo-se ressaltar o risco de quedas em hospitais por enfermos, em creches por crianças. A aplicação de produtos químicos pode ser utilizada, modificando a rugosidade das superfícies dos pisos e conseqüentemente, alterando sobremaneira o coeficiente de atrito estático dos pisos, reduzindo de modo significativo o risco de escorregões e quedas.⁽¹⁻³⁾

Chang⁽¹⁾ discutiu amplamente em seu trabalho a dificuldade em encontrar um parâmetro de rugosidade adequado para expressar a variação do atrito estático. Utilizando um ensaio para medida do atrito estático que possui neolite como contra-corpo, este pesquisador chegou aos resultados apresentados na Figura 1.

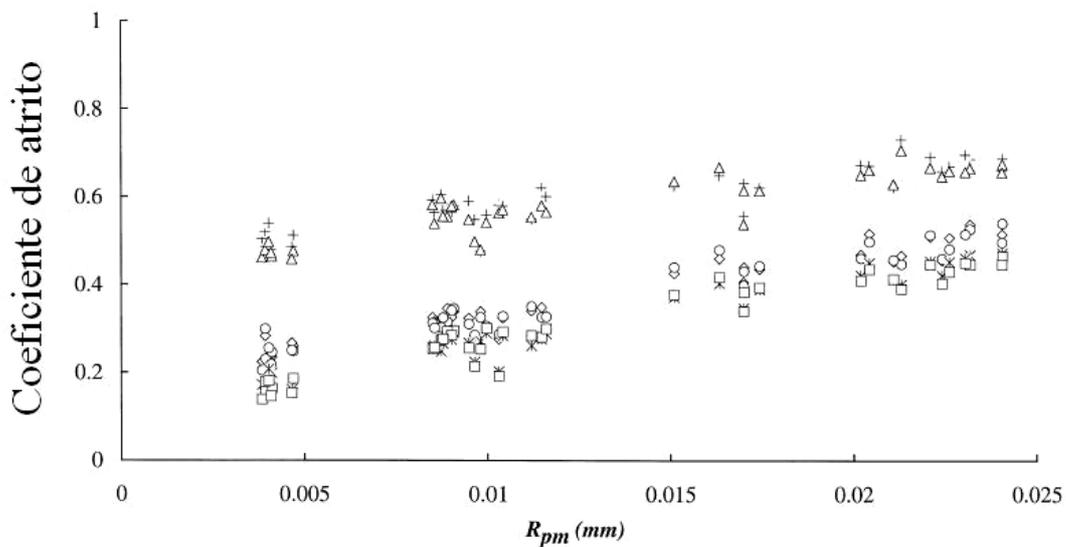


Figura 1. Variação do coeficiente de atrito estático com o parâmetro de rugosidade R_{pm} (mm) de pisos cerâmicos.⁽¹⁾

A Figura 1 mostra que o parâmetro selecionado por Chang⁽¹⁾ foi o R_{pm} , que é a média da máxima altura dos picos de rugosidade.⁽⁴⁾ Este trabalho estuda as variações no atrito estático de pisos, com e sem tratamento de superfície, e a relação dessas variações com a rugosidade, expressa por meio de outros parâmetros alternativos.

2 METODOLOGIA

As etapas do procedimento experimental são sumarizadas na Figura 2.

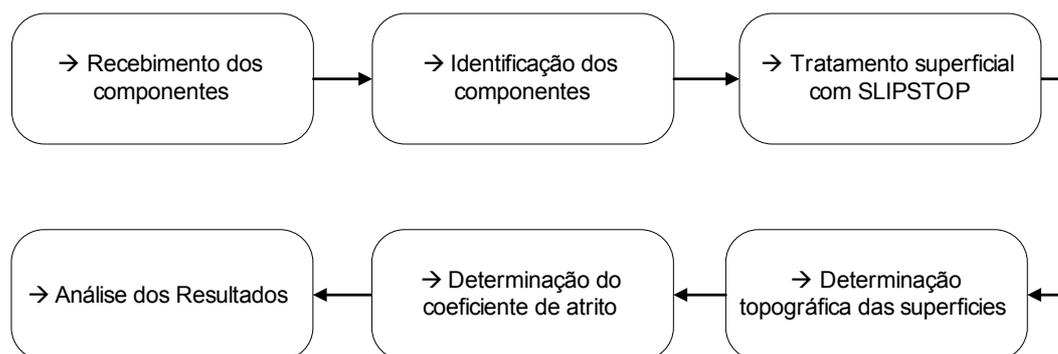


Figura 2. Fluxograma do procedimento experimental.

Os materiais analisados foram pisos cerâmicos esmaltados e piso cerâmico de alto brilho. Os pisos são disponíveis comercialmente, classe PEI 5, de cor mesclada, medindo 400 X 400 mm e piso de alto brilho medindo 270 X 370 mm. Sobre as cerâmicas foi aplicado um produto químico a base de ácidos inorgânicos, destinado ao tratamento das superfícies.

A Figura 3 apresenta os pisos na condição de recebimento. A Tabela 1 apresenta o critério de identificação adotado pelo laboratório. A condição superficial “com tratamento” refere-se à aplicação do produto para tratamento de superfície.

Tabela 1. Critério de identificação dos tratamentos.

	Sem Tratamento	Tratamento 1 minuto	Tratamento 10 minutos	Tratamento 30 minutos
↓Piso / identificação→				
Alto Brilho	AB_ST	AB_CT-1	AB_CT-10	AB_CT-30
Esmaltado Mesclado	EM_ST	EM_CT-1	EM_CT-10	



(a)



(b)

Figura 3. Pisos recebidos para a realização dos ensaios. a) Piso cerâmico de alto brilho (AB); b) Piso esmaltado mesclado (EM).

As superfícies dos pisos, apresentados na Figura 3, foram limpas com pano úmido e posteriormente foram secas com o auxílio de uma flanela embebida em álcool etílico.

O produto químico foi aplicado diretamente sobre as superfícies molhando-as completamente. Os tempos de ação do produto sobre os pisos esmaltados (branco e mesclado) foram de 1 minuto e 10 minutos, respectivamente. Em seguida, as superfícies foram lavadas com água em abundância e secas com auxílio de uma flanela embebida em álcool etílico. O mesmo procedimento foi realizado para o piso de alto brilho, com a diferença que nesse piso mais um tempo de exposição de 30 minutos foi utilizado. Esses tempos utilizados no piso de alto brilho foram escolhidos com o objetivo de se comparar a rugosidade da cerâmica sem tratamento superficial com as rugosidades obtidas em cada tempo de exposição. A identificação de cada tratamento superficial foi apresentada na Tabela 1.

Essa caracterização foi realizada somente no piso de alto brilho, tendo em vista que por possuir a menor rugosidade na condição de recebimento (sem tratamento), caracterizada pelo aspecto mais liso da superfície comparativamente aos demais pisos, a efetividade dos tratamentos da superfície pode ser mais facilmente evidenciada pelos perfis de rugosidade.

Os ensaios de rugosidade foram realizados em um equipamento Taylor Hobson SURTRONIC 25. Os perfis adquiridos foram exportados para o software TALYPROFILE® versão 3.1.10, para extração dos parâmetros de rugosidade.

Foram realizadas cinco determinações para cada condição superficial utilizando-se um comprimento amostral de 4,0 mm. A rotina de tratamento do perfil bruto inclui a remoção do erro de forma da superfície, através de uma equação polinomial de 2º grau, e a aplicação de um filtro gaussiano com *cut-off* de 0,8 mm para a remoção da ondulação do perfil de rugosidade, segundo a recomendação da norma ASME B46.1. ⁽⁵⁾ Com esta rotina, foram determinados os parâmetros Ra (rugosidade média aritmética), Rq (rugosidade quadrática média), Rp (rugosidade dos picos), Rv (rugosidade dos vales), Rz (rugosidade média de altura pico a vale) e R_{máx}; (maior altura pico a vale do perfil, ver definição na Figura 4).

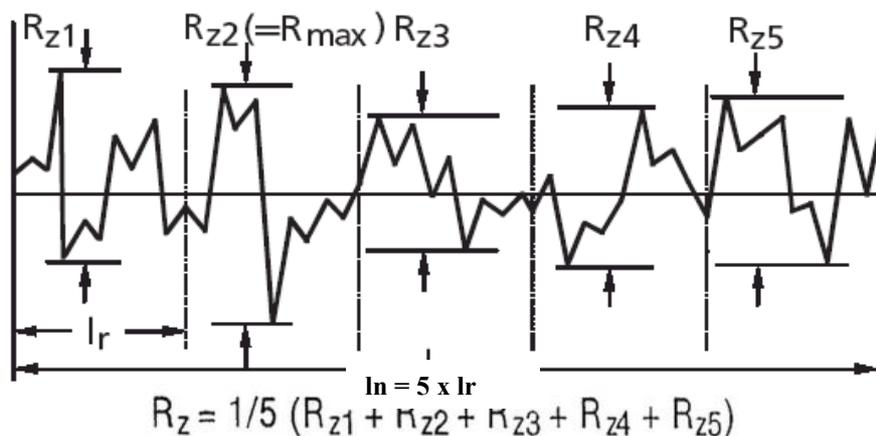


Figura 4. Definição do parâmetro de rugosidade Rz e R_{máx}. ⁽⁵⁾

O coeficiente de atrito estático foi determinado para todos os pisos com e sem tratamento com superfícies secas e molhadas com água. Essas análises foram realizadas de acordo com a norma ASTM C1028, ⁽⁶⁾ utilizando-se o equipamento portátil Anti Slip Meter® modelo 825 (ASM 825), o qual é apresentado na Figura 5, juntamente com a indicação da distância por ele percorrida durante a medição. Os valores médios dos coeficientes de atrito correspondem à média de cinco ensaios para cada um dos tratamentos superficiais apresentados na Tabela 1. A fim de

melhorar a fluidez da leitura, doravante cada vez que o termo coeficiente de atrito for referido no texto, refere-se ao coeficiente de atrito estático dos pisos.



Figura 5. Equipamento para determinação do coeficiente de atrito dos pisos.

O comprimento utilizado nos ensaios está indicado na Figura 5. Caso esse comprimento fosse maior que 200 mm, a natureza estática do coeficiente de atrito seria descaracterizada.

3 RESULTADOS

3.1 Coeficientes de Atrito Estático

A Tabela 2 apresenta os coeficientes de atrito estáticos determinados com as superfícies secas e úmidas com água para os dois pisos analisados. Esses resultados estão sumarizados na Figura 6.

Tabela 2. Coeficientes de atrito para os pisos AB e EM com e sem tratamento determinados nas superfícies secas e úmidas.

Tratamento	Coeficiente de atrito	
	<i>seco</i>	<i>úmido</i>
AB_ST	0,75±0,01	0,57±0,06
AB_CT-1	1,15±0,02	1,04±0,05
AB_CT-10	1,25±0,03	1,15±0,03
<hr/>		
EM_ST	0,88±0,03	0,28±0,04
EM_CT-1	1,06±0,04	0,67±0,02
EM_CT-10	1,07±0,08	0,73±0,02

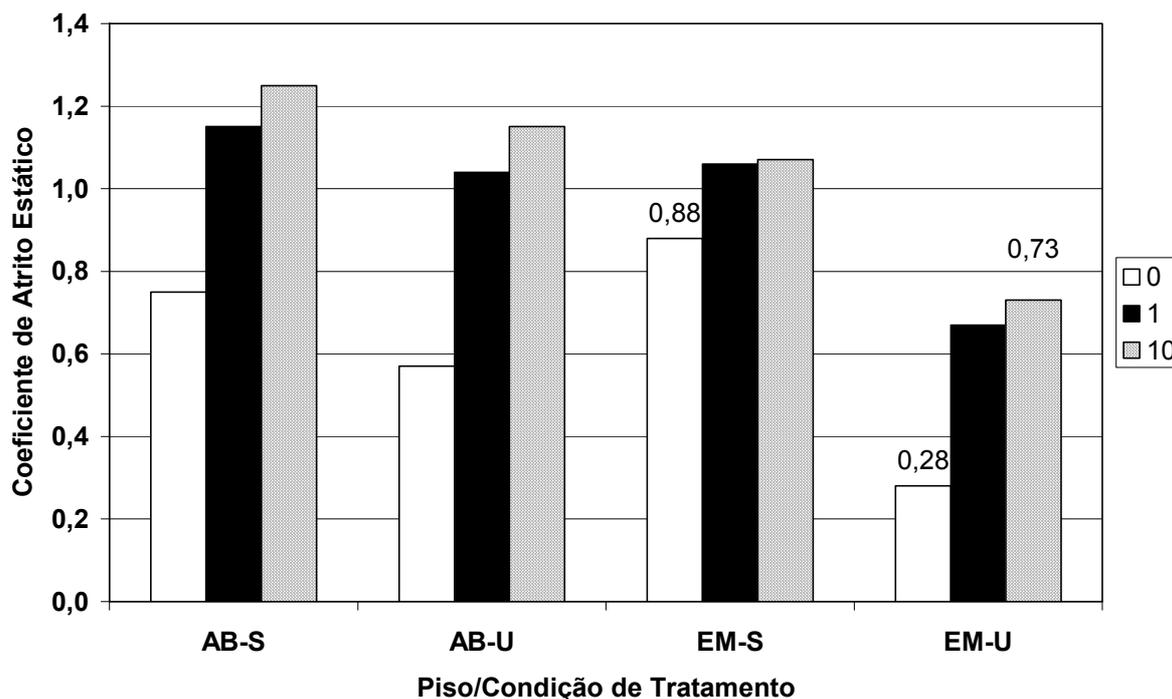


Figura 6. Evolução do coeficiente de atrito dos pisos cerâmicos em função da condição de tratamento (0; 1 ou 10 min de aplicação do produto). AB-S: alto brilho-seco, AB-U: alto brilho-úmido, EM-S: esmaltado-seco, EM-U: esmaltado-úmido.

A Figura 6 mostra que os valores de coeficiente de atrito estático aumentam para todos os produtos com a aplicação do produto químico. Esse aumento é pouco significativo após um tempo de aplicação maior (10 min).

Se dará ênfase aos resultados obtidos com o piso Esmaltado Mesclado, por se tratar de um material com alta dureza (PEI 5), usualmente utilizado para área de alto tráfego.

Na condição a seco (EM-S), esse piso pode ser considerado seguro, apresentando valor de coeficiente de atrito maior que 0,4; valor este usualmente adotado como critério de segurança. Entretanto, nas condições de ensaio úmida (EM-U), este valor é reduzido para 0,28, o que pode causar sérios riscos de acidente.

Com a aplicação do produto químico, consegue-se valores de coeficiente de atrito na condição úmida (EM-U) de até 0,73, compatíveis com os valores originais da condição a seco sem tratamento (0), que foi de 0,88. Essa diferença de valores pode ser considerada como “não-significativa”, dado que a calibração de forças do equipamento não foi realizada neste trabalho, desconhecendo-se assim o fundo de escala e a precisão exata das medidas. Entretanto, ressalta-se que o equipamento pode ser considerado de alta confiabilidade e que outros valores possuem sim, diferenças significativas, apenas aqui não se pode afirmar nada a respeito de precisão.

3.2 Avaliação Topográfica

A Figura 7 apresenta os perfis de rugosidade obtidos para o piso de alto brilho nas condições AB_ST, AB_CT-1, AB_CT-10 e AB_CT-30, respectivamente. Na

Figura 8 são apresentadas ampliações dos perfis apresentados na Figura 7. As ampliações correspondem aos primeiros 0,8 mm de cada perfil.

As Figuras 7 e 8 evidenciam que a aplicação do produto químico modifica as características da superfície do piso, aumentando a sua rugosidade. Fica claro também que quanto maior o tempo de exposição, maior será o valor da rugosidade.

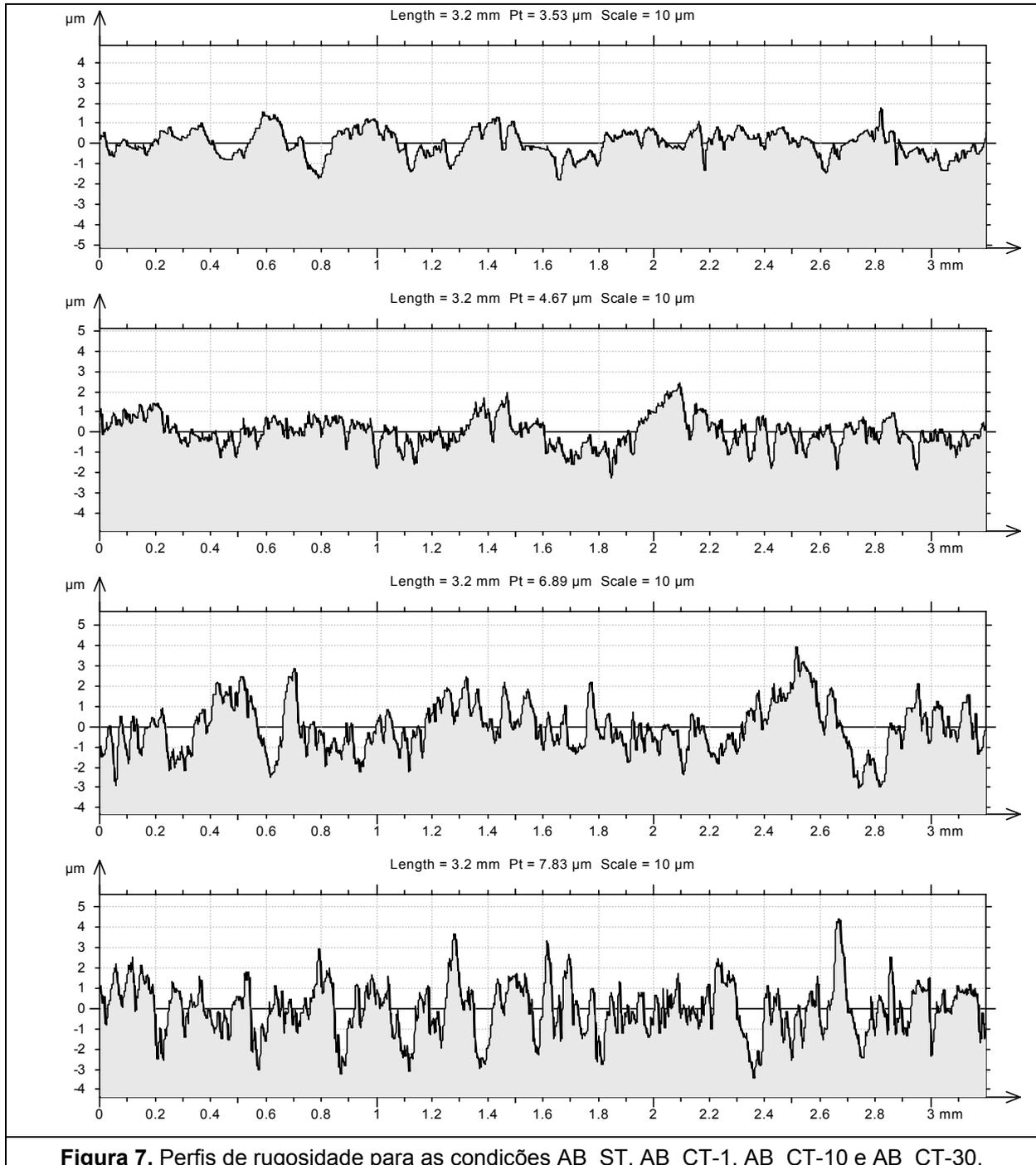
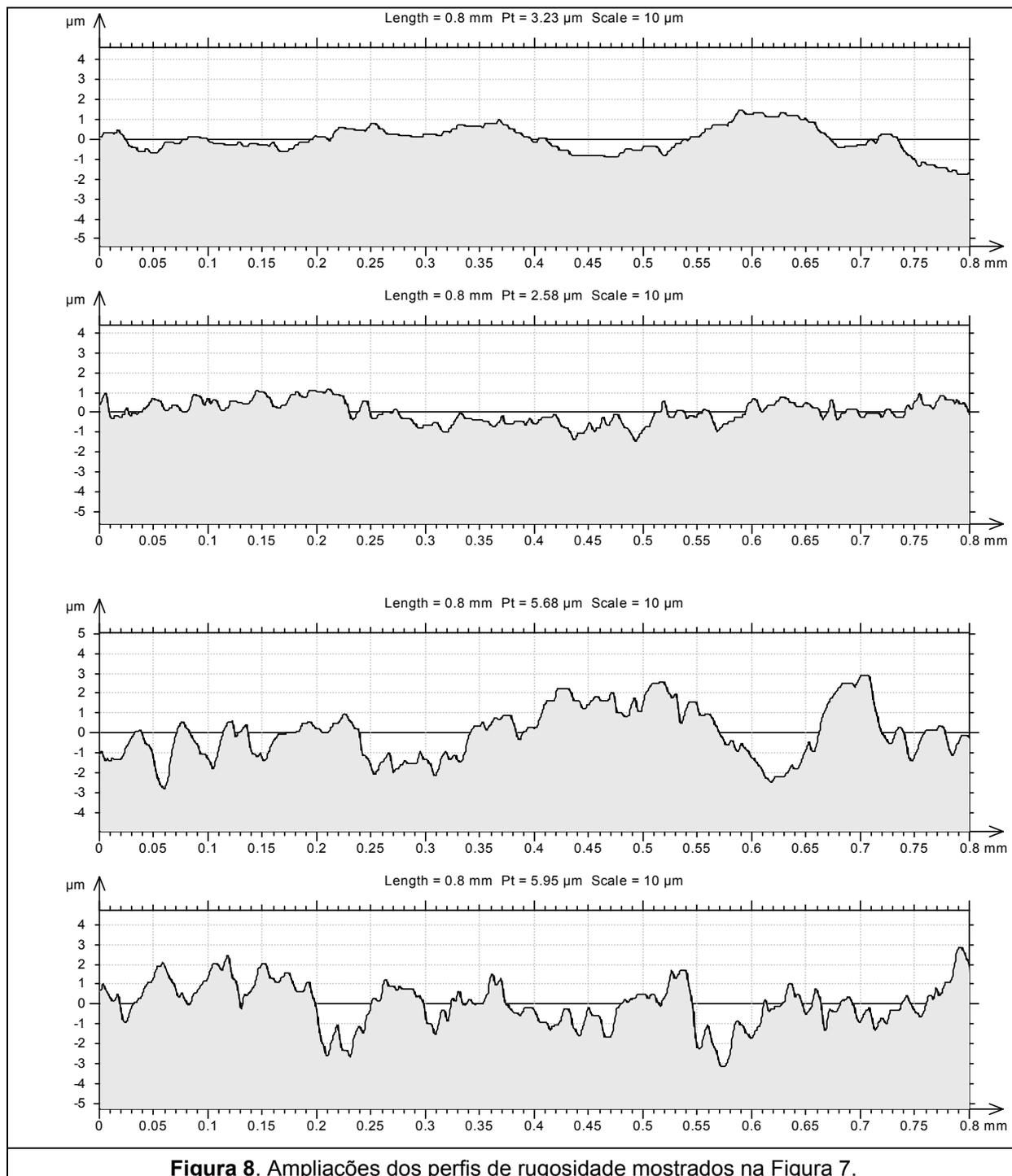


Figura 7. Perfis de rugosidade para as condições AB_ST, AB_CT-1, AB_CT-10 e AB_CT-30.



A Tabela 3 apresenta os valores médios dos parâmetros de rugosidade R_a , R_p , R_v , R_z e $R_{\text{máx}}$, avaliados neste trabalho.

Tabela 3. Valores médios e desvios-padrão dos parâmetros de rugosidade [μm] avaliados nas condições AB_ST, AB_CT_1, AB_CT_10 e AB_CT_30.

Condição	Parâmetros de rugosidade [μm]				
	<i>Ra</i>	<i>Rp</i>	<i>Rv</i>	<i>Rz</i>	<i>Rmax</i>
AB_ST	0,65±0,08	1,60±0,30	1,90±0,30	3,50±0,50	3,70±0,50
AB_CT-1	0,79±0,09	1,77±0,09	2,00±0,30	3,80±0,20	4,70±0,70
AB_CT-10	0,80±0,10	2,30±0,40	2,40±0,30	4,70±0,50	5,50±0,60
AB_CT-30	0,90±0,07	2,70±0,40	2,80±0,30	5,50±0,60	6,10±0,50

A Tabela 3 mostra que todos os parâmetros de rugosidade selecionados tiveram seus valores médios aumentados após a aplicação do produto químico e que quanto maior o tempo de aplicação do mesmo, maiores ainda foram esses valores médios. A aplicação do teste estatístico ANOVA, com nível de significância de 5%, revelou que os valores apresentados na Tabela 3 são estatisticamente diferentes no que se refere às condições de tratamento (AB_ST, AB_CT-1, AB_CT-10 e AB_CT-30).

A combinação entre parâmetros de rugosidade pode ser útil para avaliar se o efeito do produto químico foi mais efetivo na geração de maior número de picos ou maior número de vales. Para isso, será adotado o Fator de Solidez do Perfil, definido pela letra *k*, como sendo:⁽⁴⁾

$$k = Rv / Rmax \quad \text{Eq. (1)}$$

Quanto mais o fator *k* se aproximar de zero, mais picos a superfície deve apresentar em relação a vales (“ranhuras”), e por outro lado, à medida que esse fator se aproxima de um, isso indica que a rugosidade possui vales mais profundos do que picos mais altos.

A Tabela 4 mostra os valores do fator *k*, com base nas condições e resultados apresentados na Tabela 3.

Tabela 4. Fator de Solidez do Perfil *k*, avaliado nas condições AB_ST, AB_CT_1, AB_CT_10 e AB_CT_30.

Condição	<i>k</i>
AB_ST	0,51
AB_CT-1	0,43
AB_CT-10	0,44
AB_CT-30	0,46

A Tabela 4 mostra que o valor de *k* diminui com a aplicação do produto e depois os mesmos estabilizam. Essa estabilização indica que o produto é capaz de aumentar o tamanho dos vales, pois se mantido o mesmo tamanho de picos, o valor de *Rmax* aumenta na mesma proporção que os vales.

Além disso, o tempo de aplicação do produto praticamente não interfere nos valores do fator k , indicando que a aplicação por um minuto é suficiente para que o produto tenha a sua ação completa no sentido de modificação da rugosidade. Poderia se imaginar que o aumento no tamanho dos picos fosse o causador da elevação do coeficiente de atrito estático, pois assim um maior número de intertravamento de asperezas de rugosidade ocorreria, à medida que as mesmas sofressem um processo de deformação ao longo da aplicação das forças normais e tangenciais. Entretanto, o fator k mostra que isso não ocorreu.

Portanto, o coeficiente de atrito estático tem seus valores elevados após a aplicação do produto químico pelo aumento do tamanho dos vales em relação aos tamanhos de picos, o que causa uma maior retenção de líquidos e/ou gases na superfície dos pisos e, como conseqüência, uma maior adesão entre as superfícies durante o deslizamento. Os resultados da Tabela 2 para o piso AB mostram que o coeficiente de atrito estático estabilizou com o tempo de aplicação do produto, concordando com os resultados para o fator k , apresentados na Tabela 4.

4 CONCLUSÕES

- 1) O tratamento com o produto químico a base de ácidos inorgânicos aumentou os valores do coeficiente de atrito estático de todos os pisos analisados.
- 2) Um produto utilizado para alto tráfego apresenta-se inseguro quando úmido. O tratamento de superfície devolve a segurança ao produto, elevando os valores de coeficiente de atrito estático para os níveis originais do produto a seco sem tratamento.
- 3) O tratamento modificou a topografia do piso cerâmico de alto brilho, sendo este efeito verificado pelo aumento nos valores dos parâmetros de rugosidade R_a , R_{max} , R_p , R_v e R_z ;
- 4) O mecanismo de atuação do produto químico se baseia na maior geração de vales nos pisos, promovendo áreas de retenção de líquidos e gases, aumentando a força de adesão durante o deslizamento e conseqüentemente, o coeficiente de atrito estático.

Agradecimentos

À empresa OXS do Brasil Ltda. pela divulgação dos resultados.

REFERÊNCIAS

- 1 CHANG, W.R. The effect of surface roughness on dynamic friction between neolite and quarry tile. *Safety Science* v. 29, p. 89-105, 1998.
- 2 CHANG, W.R., The effect of surface roughness and contaminant on the dynamic friction of porcelain tile. *Applied Ergonomics* v. 32, p. 173–184, 2001.
- 3 CHANG, W.R., HIRVONEN, M., GRÖNQVIST, R., The effects of cut-off length on surface roughness parameters and their correlation with transition friction. *Safety Science* v. 42, p. 755–769, 2004.
- 4 GADELMAWLA, E.S. *et al.*, Roughness parameters. *Journal of Materials Processing Technology*, v. 123, p. 133-145, 2002.
- 5 American Society of Mechanical Engineers (ASME), ASME B46.1-1995. Surface texture (surface roughness, waviness, and lay), The American Society of Mechanical Engineers, New York, 1996.
- 6 American Society for Testing and Materials (ASTM). ASTM C 1028-07. Standard Test Method for Determining the Static Coefficient of Friction of Ceramic Tile and Other Like Surfaces by the Horizontal Dynamometer Pull-Meter Method. West Conshohocken, USA. vol. 15.02. 2007.