

**UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE - UNESC  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E  
ENGENHARIA DE MATERIAIS – PPGCEM  
MESTRADO EM CIÊNCIA E ENGENHARIA DE MATERIAIS**

**ALINE DEMARCH**

**ANÁLISE DA RELAÇÃO ENTRE RUGOSIDADE  
SUPERFICIAL E RESISTÊNCIA AO ESCORREGAMENTO DE  
REVESTIMENTOS CERÂMICOS SUBMETIDOS AO  
DESGASTE**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais – PPGCEM da Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC, como requisito à obtenção do título de Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais.

Orientador: Prof. Dr. Elidio Angioletto

**CRICIÚMA  
2019**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

D372a Demarch, Aline.

Análise da relação entre rugosidade superficial e resistência ao escorregamento de revestimentos cerâmicos submetidos ao desgaste / Aline Demarch. – 2019.

225 p. : il. ; 21 cm.

Dissertação (Mestrado) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Criciúma, 2019.

Orientação: Elidio Angioletto.

1. Revestimento cerâmico. 2. Rugosidade superficial. 3. Resistência ao escorregamento. 4. Coeficiente de atrito. 5. Desgaste abrasivo. 6. Desgaste erosivo. I. Título.

CDD. 22. ed. 620.14

Aline Demarch

Análise de relação entre rugosidade superficial e resistência ao escorregamento de revestimentos cerâmicos submetidos ao desgaste.

Esta dissertação foi julgada adequada à obtenção do grau de Mestre (a) em Ciência e Engenharia de Materiais pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais (Área de concentração: Tecnologia de Materiais) da Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC.

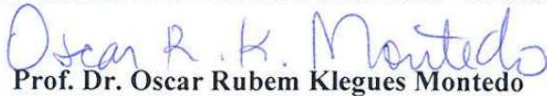
Criciúma, SC, 21 de fevereiro de 2019.

**Banca Examinadora:**



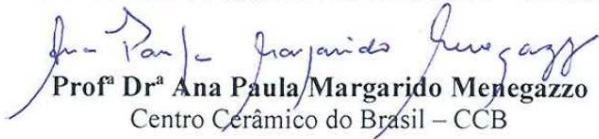
**Prof. Dr. Adriano Michael Bernardin**

Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC



**Prof. Dr. Oscar Rubem Klegues Montedo**

Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC



**Prof.ª Dr.ª Ana Paula Margarido Menegazzo**

Centro Cerâmico do Brasil – CCB





*Às pessoas especiais em minha  
vida.*



## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço fundamentalmente a Deus;

A meu namorado Cleiton Correa da Rosa, pelo carinho e companheirismo;

Agradeço a minha mãe Bernadete Martins e minha irmã Francilani Demarch pelo apoio e compreensão em todos os momentos;

Ao meu orientador Dr. Elidio Angioletto, pelo apoio e colaboração para o desenvolvimento deste;

Aos membros da banca avaliadora;

Aos profissionais do Departamento de Tecnologia em Cerâmica da empresa Eliane Revestimentos Cerâmicos, em especial aos profissionais do Laboratório de Caracterização de Produto Acabado e P&D+I e a Angela Waterkemper;

Aos profissionais do CTC Mat e do CCB, pela colaboração no decorrer do trabalho;

A CAPES, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pelo apoio financeiro para realização desse trabalho.

E finalmente, à UNESC, que permitiu que eu pudesse concluir mais esta etapa.



*“Tudo posso naquele que me fortalece”*  
FILIPENSES 4:13



## RESUMO

Revestimentos cerâmicos são amplamente utilizados como pavimentos tanto em ambientes residenciais como comerciais, incluindo áreas externas, chamadas de áreas molhadas, áreas essas que poderão ser utilizadas em situações úmidas/molhadas. Essa situação requer que esses pavimentos possuam características que aumentem a segurança do pedestre ao caminhar. Essa segurança é medida de maneira indireta pelo coeficiente de atrito entre o revestimento cerâmico e uma borracha padronizada. Porém no decorrer da vida útil do revestimento cerâmico ele será continuamente atritado contra móveis, equipamentos e solados de sapatos de pedestres, que provocam o constante desgaste da superfície. Todo esse processo de abrasão tende a provocar o desgaste da superfície cerâmica, reduzindo sua rugosidade e conseqüentemente seu coeficiente de atrito. O trabalho analisou a relação entre a rugosidade superficial, a resistência ao escorregamento e o coeficiente de atrito de superfícies de revestimentos cerâmicos e pedras naturais, bem como a evolução dessas características quando a superfície é submetida ao desgaste. Foram avaliadas 11 superfícies diferentes, incluindo revestimentos cerâmicos e pedras naturais, utilizando quatro equipamentos diferentes, métodos como o DS - Dynamic Slip muito conhecido no Brasil como método do Tortus, BOT, Rampa e Pêndulo. Essa avaliação foi realizada analisando o desempenho do produto através de testes de coeficiente de atrito por diferentes normas, além de avaliar a rugosidade da superfície, antes e após o processo de abrasão superficial. Além disso também foi avaliada a repetibilidade dos resultados com os equipamentos de coeficiente de atrito utilizados no trabalho. Dentre os métodos para determinação do coeficiente de atrito utilizados nesse trabalho, por meio da análise de variabilidade dos resultados se concluiu que o Pêndulo é o método que para a grande maioria das superfícies testadas, tanto na condição seca quanto na condição úmida, apresentou menor coeficiente de variação e, portanto, menor variabilidade dos resultados. Também foi avaliada a relação entre o resultado obtido com os equipamentos testados e a resistência ao escorregamento percebida pelos pedestres, nessa análise o Pêndulo e a Rampa apresentaram melhores resultados, com coeficiente de Pearson próximo 0,946 e 0,970 respectivamente. Entretanto, a rampa apresenta a desvantagem de não permitir realizar testes *in loco* e da grande quantidade de amostras necessárias. Na análise de variância foi comprovado, com nível de significância superior a 95%, que parâmetros de rugosidade têm interferência nos valores de coeficiente de atrito medidos. Com os testes de desgaste por abrasão superficial ficou claro





que cada tipo de superfície pode adotar um comportamento diferenciado frente ao desgaste, superfícies mais lisas tem seu coeficiente de atrito aumentado no decorrer da evolução do desgaste, enquanto produtos mais rugosos, como, por exemplo, produtos granilhados tem seu coeficiente de atrito reduzido com o decorrer do desgaste. Através desses testes foi possível perceber mais uma vez que o teste de atrito com uso do Pêndulo possui maior sensibilidade para perceber diferenças nas superfícies. Foi comprovado no decorrer dos ensaios de abrasão superficial, que além de características como o coeficiente de atrito, outras características superficiais se alteram, como a cor e o brilho da superfície. No decorrer dos testes de desgaste as superfícies vão perdendo gradativamente o brilho e se tornando mais esbranquiçadas. Além disso, quanto maior o desgaste provocado nas superfícies maior é a sua capacidade de reter sujeira, fato evidenciado pelos testes de impregnação realizados.

Palavras-chave: coeficiente de atrito, desgaste, rugosidade.



## ABSTRACT

Ceramic tiles are widely used as flooring in both residential and commercial environments, including outside areas, called wet areas, areas that can be used in wet conditions. This situation requires that these ceramic tiles show characteristics that guarantee the safety of the pedestrian when walking. This safety is measured indirectly by the coefficient of friction between the ceramic tile and a standardized rubber. However throughout the lifetime of the ceramic tile it will be continuously rubbed against furniture, equipment and soles of pedestrian shoes, which cause the constant wear of the surface. All this abrasion process tends to cause the ceramic surface to be polished, reducing its roughness and consequently its coefficient of friction. This study analyzed the relationship between surface roughness, slip resistance and coefficient of friction of ceramic and natural stone surfaces, as well as the evolution of these characteristics when the surface is subjected to wear. Eleven different surfaces, including ceramic tiles and natural stones, were evaluated using four different methodologies: DS - Dynamic Slip , BOT, Ramp and Pendulum. This evaluation was carried out by analyzing the performance of the product through tests of coefficient of friction by different standards, besides evaluating the roughness of the surface, before and after the process of surface abrasion. In addition, the repeatability of the results was evaluated with the use of friction coefficient equipment. From the methods for the determination of the friction coefficient and, through the analysis of variance of the results the pendulum, was the method for the largest number of samples tested, that presented the lower coefficient of variation and therefore lower variability of the results. Relationship between the results obtained with the tested equipment and the slip resistance perceived by the pedestrians was also evaluated. In this analysis, Pendulum and Ramp presented better results, with a Pearson coefficient close to 0.946 and 0.970 respectively. However, ramp presents the disadvantage of not allowing in-situ tests and the large number of samples required. By the analysis of variance it was verified with a level of significance higher than 95% that roughness parameters interfere in the coefficient of friction values. The surface abrasion wear tests showed that each type of surface can adopt a differentiated behavior against wear, smooth surfaces have their coefficient of friction increased during the evolution of wear, while rougher products such as product with gritted finishes have coefficient of friction reduced with the course of wear. Through these tests it was possible to realize once again that the friction test with the Pendulum



shows greater sensitivity to perceive differences in surfaces. It has been proven during the surface abrasion tests that, in addition to characteristics such as the coefficient of friction, other surface characteristics change, such as color and surface brightness. In the course of wear tests the surface gradually loses glare and becomes whiter. Moreover, the greater the wear and tear on the surfaces, the greater its ability to retain dirt, as evidenced by the impregnation tests performed.

Keywords: coefficient of friction, wear, roughness.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Fatores das componentes de atrito.....	37
Figura 2 - Efeito da velocidade no valor de COF.....	44
Figura 3 - Relação entre o coeficiente de atrito, espessura do filme e velocidade .....	44
Figura 4 - Tribômetro Sigler .....	47
Figura 5 - Tribômetro James .....	48
Figura 6 - Medidor de tração horizontal.....	48
Figura 7 - Dinamômetro de tração horizontal .....	49
Figura 8 - Tribômetro VIT .....	50
Figura 9 - Brungraber Mark .....	51
Figura 10 - BOT.....	52
Figura 11 - Pêndulo Britânico .....	53
Figura 12 - Tortus.....	54
Figura 13 - Vetores da força aplicados pelo pé durante caminhada humana.....	59
Figura 14 – Influência da geometria do deslizante no mecanismo de atrito .....	59
Figura 15 - Descrições esquemáticas da natureza da superfície entre uma sola e superfície do piso e sua interação durante o contato estático.....	63
Figura 16 - Piso com ranhura .....	67
Figura 17 - Processo de desprendimento de material .....	73
Figura 18 – Etapas Experimentais.....	79
Figura 19 – Superfície Brilhante .....	80
Figura 20 – Superfície Acetinada.....	80
Figura 21 – Superfície Técnica polida .....	81
Figura 22 – Superfície Esmaltada polida .....	81
Figura 23 – Superfície Técnica natural .....	82
Figura 24 – Superfície Técnica natural decorada.....	82
Figura 25 – Superfície com cobertura de córindon .....	82
Figura 26 – Superfície com cobertura de coríndon e relevo.....	83
Figura 27 – Superfície granilhada .....	83
Figura 28 – Miracema .....	84
Figura 29 – Granito Polido.....	84
Figura 30 – Equipamento DS - Dynamic Slip.....	86
Figura 31 – Equipamento BOT .....	87
Figura 32 – Equipamento Pêndulo Munro .....	89
Figura 33 – Medidor de Brilho.....	90
Figura 34 – Rugosímetro.....	91
Figura 35 – Parâmetros de Rugosidade.....	92





Figura 36 – Colorímetro Konica Minolta.....	93
Figura 37 – Braço de medição Edge .....	94
Figura 38 – Equipamento de movimento recíproco .....	96
Figura 39 – Abrasímetro Gabrielli .....	97
Figura 40 – Conjunto Amostra + Suporte + Material abrasivo .....	97
Figura 41 – Conjunto de teste .....	99
Figura 42 – Variabilidade das Medições – Superfície Acetinada .....	101
Figura 43 – Variabilidade das Medições – Superfície Decorada Natural .....	102
Figura 44 – Variabilidade das Medições – Superfície Natural.....	103
Figura 45 – Variabilidade das Medições – Superfície técnica Polida .	103
Figura 46 – Variabilidade das Medições – Superfície com Córindon.	104
Figura 47 – Variabilidade das Medições – Superfície Brilhante.....	104
Figura 48 – Variabilidade das Medições – Superfície Granilhada.....	105
Figura 49 – Variabilidade das Medições – Superfície com Córindon e Relevo .....	105
Figura 50 – Variabilidade das Medições – Superfície Esmaltada Polida .....	106
Figura 51 – Variação de resultados x Variação de distância.....	107
Figura 52 – Relação entre coeficiente de atrito pelo DS - Dynamic Slip e Ra .....	114
Figura 53 – Relação entre coeficiente de atrito pelo BOT e Ra.....	115
Figura 54 – Relação entre coeficiente de atrito pelo Pêndulo e Ra.....	116
Figura 55 – Relação entre brilho e Ra.....	118
Figura 56 – Relação entre coeficiente de atrito medido no DS - Dynamic Slip e escala de segurança .....	120
Figura 57 – Relação entre coeficiente de atrito medido no BOT e escala de segurança.....	120
Figura 58 – Relação entre coeficiente de atrito medido no Pêndulo e escala de segurança .....	121
Figura 59 – Relação entre coeficiente de atrito medido na Rampa e escala de segurança .....	121
Figura 60 – Evolução do atrito medido pelo DS - Dynamic Slip – Superfície Acetinada .....	124
Figura 61 – Evolução do atrito medido pelo BOT – Superfície Acetinada .....	124
Figura 62 – Evolução do atrito medido pelo Pêndulo – Superfície Acetinada.....	125
Figura 63 – Evolução do atrito medido pelo DS - Dynamic Slip – Superfície Decorada Natural .....	126



Figura 64 – Evolução do atrito medido pelo BOT – Superfície Decorada Natural.....	126
Figura 65 – Evolução do atrito medido pelo Pêndulo – Superfície Decorada Natural.....	127
Figura 66 – Evolução do atrito medido pelo DS - Dynamic Slip – Superfície Natural .....	127
Figura 67 – Evolução do atrito medido pelo BOT – Superfície Natural .....	128
Figura 68 – Evolução do atrito medido pelo Pêndulo – Superfície Natural.....	128
Figura 69 – Evolução do atrito medido pelo DS - Dynamic Slip – Superfície Polida.....	129
Figura 70 – Evolução do atrito medido pelo BOT – Superfície Polida.....	129
Figura 71 – Evolução do atrito medido pelo Pêndulo– Superfície Polida .....	130
Figura 72 – Evolução do atrito medido pelo DS - Dynamic Slip – Superfície com cobertura de Córindon.....	130
Figura 73 – Evolução do atrito medido pelo BOT – Superfície com cobertura de Córindon.....	131
Figura 74 – Evolução do atrito medido pelo Pêndulo – Superfície com cobertura de Córindon.....	132
Figura 75 – Evolução do atrito medido pelo DS - Dynamic Slip – Superfície Brilhante.....	133
Figura 76 – Evolução do atrito medido pelo BOT – Superfície Brilhante .....	133
Figura 77 – Evolução do atrito medido pelo Pêndulo – Superfície Brilhante.....	134
Figura 78 – Evolução do atrito medido pelo DS - Dynamic Slip – Superfície Granilhada.....	134
Figura 79 – Evolução do atrito medido pelo BOT – Superfície Granilhada.....	135
Figura 80 – Evolução do atrito medido pelo Pêndulo – Superfície Granilhada.....	135
Figura 81 – Evolução do atrito medido pelo DS - Dynamic Slip – Superfície com cobertura de córindon e relevo.....	136
Figura 82 – Evolução do atrito medido pelo BOT – Superfície com cobertura de córindon e relevo .....	136
Figura 83 – Evolução do atrito medido pelo Pêndulo – Superfície com cobertura de córindon e relevo .....	137
Figura 84 – Seção transversal da superfície com relevo. ....	137



Figura 85 – Gráfico de cores – vista superior da superfície com relevo .....	138
Figura 86 – Evolução do atrito medido pelo DS - Dynamic Slip – Superfície esmaltada Polida .....	138
Figura 87 – Evolução do atrito medido pelo BOT – Superfície com esmaltada Polida.....	139
Figura 88 – Evolução do atrito medido pelo Pêndulo – Superfície com esmaltada Polida.....	139
Figura 89 – Evolução do atrito medido pelo DS - Dynamic Slip – Superfície Pedra Polida .....	140
Figura 90 – Evolução do atrito medido pelo BOT – Superfície Pedra Polida .....	140
Figura 91 – Evolução do atrito medido pelo Pêndulo – Superfície Pedra Polida .....	141
Figura 92 – Evolução do atrito medido pelo DS - Dynamic Slip – Superfície Pedra Miracema .....	141
Figura 93 – Evolução do atrito medido pelo Pêndulo – Superfície Miracema.....	142
Figura 94 – Evolução do parâmetro Rz no decorrer do desgaste – Superfície Acetinada .....	144
Figura 95 – Evolução do parâmetro Rz no decorrer do desgaste – natural Decorada .....	145
Figura 96 – Evolução do parâmetro Rz no decorrer do desgaste – Superfície Natural .....	146
Figura 97 – Evolução do parâmetro Rz no decorrer do desgaste – Superfície Polida .....	146
Figura 98 – Evolução do parâmetro Rz no decorrer do desgaste – Superfície com cobertura de coríndon.....	147
Figura 99 – Evolução do parâmetro Rz no decorrer do desgaste – Superfície Brilhante.....	148
Figura 100 – Evolução do parâmetro Rz no decorrer do desgaste – Superfície Granilhada.....	149
Figura 101 – Evolução do parâmetro Rz no decorrer do desgaste – Superfície com cobertura de coríndon e relevo.....	149
Figura 102 – Evolução do parâmetro Rz no decorrer do desgaste – Superfície esmaltada Polida .....	150
Figura 103 – Evolução do parâmetro Rz no decorrer do desgaste – Pedra Polida .....	151
Figura 104 – Evolução do brilho – Superfície Acetinada .....	152
Figura 105 – Evolução do brilho – Superfície Decorada Natural .....	153
Figura 106 – Evolução do brilho – Superfície Natural.....	154



Figura 107 – Evolução do brilho – Superfície Polida .....	154
Figura 108 – Evolução do brilho – Superfície com cobertura de coríndon .....	155
Figura 109 – Evolução do brilho – Superfície Brilhante.....	155
Figura 110 – Evolução do brilho – Superfície Granilhada.....	156
Figura 111 – Evolução do brilho – Superfície com cobertura de coríndon e relevo .....	157
Figura 112 – Evolução do brilho – Superfície Esmaltada Polida.....	157
Figura 113 – Evolução do brilho – Pedra Polida.....	158
Figura 114 – Evolução do brilho – Miracema.....	159
Figura 115 – Evolução da coordenada L – Superfície com cobertura de coríndon e relevo .....	160
Figura 116 – Evolução da coordenada L – Superfície Brilhante.....	161
Figura 117 – Evolução visual do desgaste .....	162
Figura 118 – Evolução visual do desgaste .....	163
Figura 119 – Microscopia Eletrônica de Varredura - Superfície Acetinada.....	164
Figura 120 – Microscopia Eletrônica de Varredura - Superfície Natural Decorada .....	165
Figura 121 – Microscopia Eletrônica de Varredura - Superfície Natural .....	166
Figura 122 – Microscopia Eletrônica de Varredura - Superfície Polida .....	167
Figura 123 – Microscopia Eletrônica de Varredura - Superfície Cobertura com coríndon.....	168
Figura 124 – Microscopia Eletrônica de Varredura - Superfície Brilhante.....	170
Figura 125 – Microscopia Eletrônica de Varredura - Superfície Granilhada.....	171
Figura 126 – Microscopia Eletrônica de Varredura - Superfície de Cobertura com coríndon e relevo .....	172
Figura 127 – Microscopia Eletrônica de Varredura - Superfície Esmaltada Polida.....	173
Figura 128 – Microscopia Eletrônica de Varredura - Superfície Granito Polido .....	174
Figura 129 – Microscopia Eletrônica de Varredura - Superfície Miracema.....	175
Figura 130 – Impregnação – Granito polido .....	177
Figura 131 – Impregnação – Miracema .....	177
Figura 132 – Impregnação – Superfície com cobertura e relevo.....	178
Figura 133 – Impregnação – Superfície Brilhante .....	178





Figura 134 – Impregnação – Superfície Natural .....	179
Figura 135 – Impregnação – Superfície Natural Decorada .....	179
Figura 136 – Impregnação – Superfície Polida porcelanato técnico ...	180
Figura 137 – Impregnação – Superfície Polida porcelanato esmaltado .....	180
Figura 138 – Coeficiente de Atrito DS - Dynamic Slip - Superfície Acetinada.....	210
Figura 139 – Coeficiente de Atrito BOT - Superfície Acetinada .....	210
Figura 140 – SRV Pêndulo - Superfície Acetinada.....	211
Figura 141 – Coeficiente de Atrito DS - Dynamic Slip - Superfície Natural Decorada.....	211
Figura 142 – Coeficiente de Atrito BOT - Superfície Natural Decorada .....	212
Figura 143 – SRV Pêndulo - Superfície Natural Decorada.....	212
Figura 144 – Coeficiente de Atrito DS - Dynamic Slip - Superfície Natural.....	213
Figura 145 – Coeficiente de Atrito BOT - Superfície Natural .....	213
Figura 146 – SRV Pêndulo - Superfície Natural .....	214
Figura 147 – Coeficiente de Atrito DS - Dynamic Slip - Superfície Polida .....	214
Figura 148 – Coeficiente de Atrito BOT - Superfície Polida.....	215
Figura 149 – SRV Pêndulo - Superfície Polida.....	215
Figura 150 – Coeficiente de Atrito DS - Dynamic Slip - Superfície com Cobertura de Córindon .....	216
Figura 151 – Coeficiente de Atrito BOT- Superfície com Cobertura de Córindon.....	216
Figura 152 – SRV Pêndulo - Superfície com Cobertura de Córindon	217
Figura 153 – Coeficiente de Atrito DS - Dynamic Slip - Superfície Brilhante.....	217
Figura 154 – Coeficiente de Atrito BOT - Superfície Brilhante .....	218
Figura 155 – SRV Pêndulo - Superfície Brilhante .....	218
Figura 156 – Coeficiente de Atrito DS - Dynamic Slip - Superfície Granilhada.....	219
Figura 157 – Coeficiente de Atrito BOT - Superfície Granilhada .....	219
Figura 158 – SRV Pêndulo - Superfície Granilhada .....	220
Figura 159 – Coeficiente de Atrito DS - Dynamic Slip - Superfície com Cobertura de Córindon + Revelo .....	220
Figura 160 – Coeficiente de Atrito BOT - Superfície com Cobertura de Córindon + Revelo .....	221
Figura 161 – SRV Pêndulo - Superfície com Cobertura de Córindon + Revelo .....	221



Figura 162 – Coeficiente de Atrito DS - Dynamic Slip - Superfície Esmaltada Polida.....	222
Figura 163 – Coeficiente de Atrito BOT - Superfície Esmaltada Polida .....	222
Figura 164 – SRV Pêndulo - Superfície Esmaltada Polida .....	223
Figura 165 – Coeficiente de Atrito DS - Dynamic Slip - Granito Polido .....	223
Figura 166 – Coeficiente de Atrito BOT - Granito Polido .....	224
Figura 167 – SRV Pêndulo - Granito Polido.....	224
Figura 168 – SRV Pêndulo - Miracema .....	225



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação para o método descalço.....	55
Tabela 2 - Classificação R.....	56
Tabela 3 - Classificação de coeficiente de atrito .....	58
Tabela 4 – Potencial de escorregamento de acordo com a rugosidade Rz .....	66
Tabela 5 – Classes de PEI .....	98
Tabela 6 – Análise de variância – ANOVA – Superfície Acetinada...	108
Tabela 7 – Análise de variância – ANOVA – Superfície Brilhante ....	108
Tabela 8 – Análise de variância – ANOVA – Superfície Granilhada .	108
Tabela 9 – Níveis dos parâmetros Ra, Rq, Rz, Rp, Rv, Rt, e Rk para análise de variância .....	109
Tabela 10 – Análise de variância – ANOVA – Influência dos parâmetros no resultado a seco do DS - Dynamic Slip .....	109
Tabela 11 – Análise de variância – ANOVA – Influência dos parâmetros no resultado a úmido do DS - Dynamic Slip.....	110
Tabela 12 – Análise de variância – ANOVA – Influência dos parâmetros no resultado a seco no BOT .....	110
Tabela 13 – Análise de variância – ANOVA – Influência dos parâmetros no resultado a úmido no BOT .....	111
Tabela 14 – Análise de variância – ANOVA – Influência dos parâmetros no resultado a seco no Pêndulo .....	111
Tabela 15 – Análise de variância – ANOVA – Influência dos parâmetros no resultado a úmido no Pêndulo .....	112
Tabela 16 – Matriz de análise de correlação por meio de coeficiente de Pearson .....	113
Tabela 17 – Análise de variância – ANOVA – Influência dos parâmetros no brilho .....	117
Tabela 18 – Matriz de análise de correlação entre parâmetros de rugosidade e Brilho .....	118
Tabela 19 – Matriz de análise de correlação entre Coeficiente de atrito e Escala de Segurança .....	119
Tabela 20 – Relação entre escala de segurança e atrito medido.....	122
Tabela 21 – Vantagens e Desvantagens de cada metodologia .....	183



## LISTA DE SIMBOLOS E ABREVIACOES

ASTM: *American Society for Testing and Materials*

ANSI: *American National Standards Institute*

$\mu$ : Coeficiente de atrito.

$\mu_s$ : Coeficiente de atrito estático.

$\mu_d$ : Coeficiente de atrito dinâmico.

$\mu_m$ : Coeficiente de atrito devido aos efeitos de adesão.

$\mu_a$ : Coeficiente de atrito devido aos efeitos de deformao/histerese.

$F_N$ : Força Normal/Carga aplicada.

$F_d$ : Força de atrito dinâmico.

$F_s$ : Força de atrito esttica.

Fh: É a força horizontal.

Fv: É a força vertical.

COF: Coeficiente de atrito.

V: perda de volume.

K: coeficiente de desgaste.

L: carga normal.

S: distância de deslizamento.

H: dureza.

$E_f$ : energia resultante do contato deslizante.

$E_{out}$ : energia que deixa o tribosistema.

$E_{st}$ : É a energia restante no tribosistema.

ISO: *International Organization for Standardization*

MEV: microscopia eletrônica de varredura.

NA: superfície de acabamento natural

NBR: Norma Brasileira

PEI: *Porcelain Enamel Institute*

PO: superfície de acabamento polido

Ra: É a média aritmética dos valores absolutos dos desvios do perfil de avaliao a partir da linha média.

Rq: É a raiz quadrada da média aritmética dos quadrados dos desvios a partir da linha média do perfil de avaliao.

Rz: É a média aritmética dos 5 valores da rugosidade parcial Zi.

Rp: É a média aritmética de 5 segmentos, o percurso de medio é dividido em 5 partes, esses segmentos representam a distância entre o pico mais alto em relao  linha média.

Rv: É a média aritmética de 5 segmentos, o percurso de medio é dividido em 5 partes, esses segmentos representam a distância entre o vale mais baixo em relao  linha média.





Rt: é a soma da distância do pico mais alto em relação à linha média e a distância da base mais baixa em relação à linha média, dentro do comprimento de avaliação.

SRV: Média das medições com Pêndulo.

Zi: rugosidade parcial. É definida como a soma dos valores absolutos das ordenadas dos pontos de maiores afastamentos (acima e abaixo da linha média) existentes dentro de um comprimento de amostragem.



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>29</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>31</b>
2.1 OBJETIVO GERAL .....	31
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	31
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>33</b>
3.1 COEFICIENTE DE ATRITO .....	33
<b>3.1.1. Coeficiente de atrito em pisos</b> .....	<b>38</b>
<b>3.1.2. Métodos de ensaio de coeficiente de atrito</b> .....	<b>40</b>
3.1.2.1 Tribômetro Hunter .....	46
3.1.2.2 Tribômetro Sigler .....	46
3.1.2.3 Tribômetro James .....	47
3.1.2.4 Medidor de Tração Horizontal .....	48
3.1.2.5 Dinamômetro de Tração Horizontal .....	49
3.1.2.6 Tribômetro VIT .....	49
3.1.2.7 Brungraber Mark .....	50
3.1.2.8 BOT .....	51
3.1.2.9 Pêndulo .....	52
3.1.2.10 Tortus .....	53
3.1.2.11 Rampa .....	55
3.1.2.12 Análise sensorial humana .....	56
<b>3.1.3. Escorregamentos</b> .....	<b>57</b>
3.2. FATORES INTERVENIENTES NO COF .....	59
<b>3.2.1 Rugosidade</b> .....	<b>60</b>
<b>3.2.2 Rugosidade Piso x Ambiente</b> .....	<b>66</b>
<b>3.2.3 Tipo de sapato</b> .....	<b>67</b>
<b>3.2.4 Contaminante no ambiente</b> .....	<b>69</b>
3.3. DESGASTE DE MATERIAIS CERÂMICOS .....	70
<b>3.3.1 Desgaste Abrasivo</b> .....	<b>74</b>
<b>3.3.2 Desgaste Erosivo</b> .....	<b>74</b>
<b>3.3.3 Relação entre Desgaste e Coeficiente de atrito</b> .....	<b>75</b>
<b>4. METODOLOGIA</b> .....	<b>79</b>
4.1 DETERMINAÇÃO DAS SUPERFÍCIES .....	80
4.2 COLETA DE AMOSTRAS .....	84
4.3 CARACTERIZAÇÃO DAS SUPERFÍCIES .....	84
<b>4.3.1 Coeficiente de atrito - NBR 13818</b> .....	<b>85</b>
<b>4.3.2 Coeficiente de atrito – ANSI A137.1</b> .....	<b>86</b>
<b>4.3.3 Coeficiente de atrito - AS 4586</b> .....	<b>88</b>
<b>4.3.4 Coeficiente de atrito - DIN</b> .....	<b>89</b>



<b>4.3.5 Determinação do brilho superficial .....</b>	<b>90</b>
<b>4.3.6 Rugosidade.....</b>	<b>90</b>
<b>4.3.7 Colorimetria.....</b>	<b>93</b>
<b>4.3.8 Análise microestrutural .....</b>	<b>93</b>
<b>4.3.9 Resistência ao Manchamento .....</b>	<b>93</b>
<b>4.3.10 Determinação da profundidade de relevo .....</b>	<b>94</b>
<b>4.3.11 Determinação da resistência ao escorregamento .....</b>	<b>95</b>
<b>4.4 DESGASTE .....</b>	<b>95</b>
<b>4.4.1 Sistema desenvolvido.....</b>	<b>95</b>
<b>4.4.2 Abrasímetro .....</b>	<b>96</b>
<b>4.5 CARACTERIZAÇÃO DAS SUPERFÍCIES .....</b>	<b>99</b>
<b>4.6 AVALIAÇÃO DE VARIABILIDADE DOS MÉTODOS .....</b>	<b>100</b>
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>101</b>
<b>5.1 AVALIAÇÃO DE VARIABILIDADE DOS MÉTODOS .....</b>	<b>101</b>
<b>5.2 RELAÇÃO RUGOSIDADE X ATRITO.....</b>	<b>109</b>
<b>5.2.1 Correlação entre parâmetros de rugosidade .....</b>	<b>113</b>
<b>5.2.2 Relação entre atrito e parâmetros de rugosidade.....</b>	<b>113</b>
<b>5.2.3 Relação entre parâmetros de rugosidade e brilho superficial .....</b>	<b>117</b>
<b>5.3 RELAÇÃO ENTRE COEFICIENTE DE ATRITO E SEGURANÇA NO USO .....</b>	<b>119</b>
<b>5.4 EVOLUÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS SUPERFICIAIS COM DESGASTE .....</b>	<b>123</b>
<b>5.4.1 Evolução do coeficiente de atrito com desgaste .....</b>	<b>123</b>
<b>5.4.2 Evolução dos parâmetros de rugosidade.....</b>	<b>143</b>
<b>5.4.3 Evolução do brilho superficial.....</b>	<b>152</b>
<b>5.4.4 Evolução da cor .....</b>	<b>159</b>
<b>5.4.5 Análise Microestrutural após desgaste.....</b>	<b>163</b>
<b>5.4.6 Evolução da impregnação de sujeira e manchamento .....</b>	<b>176</b>
<b>5.5 COMPARATIVO ENTRE EQUIPAMENTOS PARA MEDIÇÃO DE ATRITO.....</b>	<b>182</b>
<b>6 CONCLUSÃO .....</b>	<b>185</b>
<b>7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>187</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>189</b>
<b>APÊNDICE.....</b>	<b>209</b>
<b>APÊNDICE A - RESULTADOS DE ATRITO INDIVIDUAIS ANTES DA ABRASÃO .....</b>	<b>210</b>



## 1 INTRODUÇÃO

Revestimentos cerâmicos são amplamente utilizados como pavimentos tanto em ambientes residenciais como comerciais, incluindo áreas externas, chamadas de áreas molhadas, áreas essas que poderão ser utilizadas em situações úmidas/molhadas. Essa situação requer que esses pavimentos possuam características que aumentam a segurança do pedestre ao caminhar, ou seja, que em conjunto com outras características do meio, garantam que o mesmo não irá sofrer nenhum acidente com queda ou deslizamento, uma vez que a água funciona como um lubrificante e aumenta as chances de escorregamentos.

O coeficiente de atrito entre duas superfícies é uma medida indireta da resistência ao escorregamento, entretanto é necessário lembrar que o coeficiente de atrito é uma característica dependente tanto da superfície fixa, o revestimento do chão, quanto da superfície deslizante, o solado dos calçados, fatores antropodinâmicos, além da presença de materiais ou substâncias entre eles, por exemplo, areia, água, óleo, sabão, etc.

Quanto à normatização de medidas do coeficiente de atrito, a norma ISO 10545, que descreve metodologias de ensaios para avaliação das características físicas, químicas e visuais de revestimentos cerâmicos não especifica nenhum método para determinar o coeficiente de atrito da superfície cerâmica. A NBR 13818,1997, descreve a metodologia que utiliza o equipamento denominado genericamente como carrinho motorizado para determinação de coeficiente de atrito dinâmico, muito conhecido no Brasil como Tortus, a ANSI A 137.1 especifica que a determinação do coeficiente de atrito deve ser realizada utilizando o equipamento denominado BOT. As mais diferentes normas internacionais especificam diversos equipamentos para determinação dessa característica superficial, não existindo, portanto, uma única metodologia aceita internacionalmente que determine o coeficiente de atrito de uma superfície de pavimento.

Outro agravante relacionado à fragilidade de uma superfície cerâmica é a sua resistência a abrasão. Após assentado o revestimento cerâmico será continuamente atritado contra móveis, equipamentos e solados de sapatos de pedestres, que provocam o constante desgaste da superfície. Também existe a possibilidade que na interface existam partículas, materiais que intensificam o processo de abrasão, como poeiras, areia, água, etc. Todo esse processo de abrasão tende a provocar

o desgaste da superfície cerâmica, reduzindo sua rugosidade e consequentemente seu coeficiente de atrito.

Pesquisas mostram que as quedas por escorregões são um problema de saúde pública mundial (DURÁ et al., 2005), entretanto, não existem no Brasil estatísticas e dados que possam mostrar a quantidade de acidentes ocasionados por deslizamentos e escorregões, porém é possível se ter uma boa ideia da gravidade do problema avaliando os números dos países europeus, asiáticos e dos Estados Unidos. Os dados do Liberty Mutual Safety Index, (2017), mostraram que os acidentes de trabalho com deslizamentos e escorregões nos Estados Unidos estão entre os três mais custosos no país, com um custo anual de US\$ 10,6 bilhões, o que corresponde a 17,7% dos custos totais. Relatórios de países asiáticos estimam que em 2010 cerca de 8,5 milhões de pessoas procuraram salas de emergência devido a escorregões/quedas (CHEN et al., 2015). De acordo com o relatório do HSE – Health and Safety Executive, (2017), acidentes com escorregões e tropeções custam um total de cerca de £1,43 bilhões por ano na Inglaterra.

Avaliando esse cenário, a resistência ao escorregamento dos pisos cerâmicos, bem como a manutenção dessa característica ao longo de toda sua vida útil, deve ser uma grande preocupação para os fabricantes de revestimentos cerâmicos, uma vez que o coeficiente de atrito deixa de ser apenas uma característica técnica do produto e passa a ser uma característica e fator de segurança para o usuário.

Diante de todas as dificuldades encontradas para avaliação do quesito resistência ao escorregamento, e que foram previamente mencionadas, é necessário e de extrema importância que se realize uma avaliação do comportamento da rugosidade da superfície do pavimento e do desempenho do seu coeficiente de atrito no decorrer do processo de desgaste do produto.



## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Analisar a relação entre a rugosidade superficial, a resistência ao escorregamento e o coeficiente de atrito de superfícies de revestimentos cerâmicos e pedras naturais, bem como a evolução dessas características quando a superfície é submetida ao desgaste.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Para atingir o objetivo geral da proposta, são estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Avaliar e analisar a correlação dos resultados de coeficiente de atrito e a resistência ao escorregamento oferecida pela superfície;
- Verificar qual metodologia para determinação de coeficiente de atrito é mais adequada e apresenta menor variabilidade;
- Analisar o comportamento da rugosidade e resistência ao escorregamento das amostras submetidas ao desgaste;
- Verificar as diferenças no comportamento pós desgaste de revestimentos cerâmicos e pedras naturais;
- Avaliar alterações de características visuais como brilho e cor após desgaste da superfície;
- Avaliar a capacidade de retenção de sujeira com a evolução do desgaste das superfícies testadas.



### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 COEFICIENTE DE ATRITO

O conceito de coeficiente de atrito ou coeficiente de fricção como às vezes é chamado, evoluiu a partir do trabalho de muitos filósofos, cientistas e engenheiros, em particular de Da Vinci, Amontons, e de Coulomb. Esses pensadores tentaram racionalizar a resistência ao deslizamento entre os corpos sólidos com uma lei universal que explicou as observações do seu dia a dia (BLAU, 2001).

O conceito do coeficiente de atrito foi introduzido pela primeira vez por Leonardo da Vinci (1508). Em cerca de 200 anos após (1699), o coeficiente de atrito foi pesquisado por Amonton. A lei de atrito é muitas vezes chamada de lei de Coulomb, que forneceu uma prova experimental de que a força de atrito é igual ao produto do coeficiente de atrito e o valor de resposta normal da superfície de base. De acordo com a mecânica clássica, “a força de atrito não depende da área de contato de superfícies unidas em limites bastante amplos” (KEROPYAN; GORBATYUK, 2016).

De acordo com Ricotti, Delucchi e Cerisola (2009), séculos atrás, os cientistas notaram que a força de atrito que resiste ao movimento entre duas superfícies duras é proporcional à força que pressiona as superfícies. Coeficiente de atrito ou simplesmente COF, é o termo utilizado para a relação constante entre a força de atrito e a força normal. Porém sabe-se agora que a tração, ou resistência ao deslizamento, não é tão simples assim, em particular quando a água ou o óleo separa as superfícies, mas o conceito de um coeficiente de atrito ainda é usado.

O coeficiente de atrito para uma dada superfície não é um número único, mas depende do método de ensaio utilizado para determiná-lo. Portanto, o coeficiente de atrito mínimo necessário para uma boa tração, também depende do método de ensaio (RICOTTI; DELUCCHI; CERISOLA, 2009).

O atrito é um conceito físico que se caracteriza quando se estuda duas superfícies em contato uma com a outra. Devido à sua vasta gama de aplicabilidade, o atrito foi estudado em vários campos da ciência e da indústria: dispositivos automotivos, a dinâmica do terremoto, os discos rígidos do computador, etc. (NIKOOFARD; FARAHANI; JAFARI, 2014).

De acordo com Hallyday, atrito é o nome dado ao vetor força que se opõe a alguma força de movimento. A força de atrito é

essencialmente o vetor resultante de muitas forças que agem entre os átomos de uma superfície de um corpo e os átomos da superfície de outro corpo, ou seja, para a ação da força de atrito é necessário que exista um corpo em movimento relativo a outro. Quando duas superfícies comuns se tocam, microscopicamente somente os pontos mais salientes se tocam, esses pontos salientes das duas superfícies se soldam a frio. Essas soldas são responsáveis pelo coeficiente de atrito estático, a força que se opõe ao início do movimento, se a força aplicada for maior que a força de atrito uma superfície irá deslizar sobre a outra.

O atrito é a resistência ao movimento quando dois corpos em contato deslizam uns contra os outros. A força de fricção  $F$  é a força necessária para iniciar ou manter o movimento. Se  $\mu$  é a reação normal de um corpo por outro, o coeficiente de atrito  $\mu$  é definido como  $\mu = F/F_N$ , sendo  $F_N$  a forma normal (SMITHELLS, 2004).

De acordo com Bushan (2001), o atrito é causado por um conjunto complexo de múltiplas interações microscópicas que ocorrem entre duas superfícies que estão em contato mecânico e que deslizam uma contra a outra.

Para Spijker, Anciaux e Molinari (2012), em um nível fundamental, o atrito permanece misterioso. É amplamente conhecido que o atrito é a resistência que uma superfície ou um objeto encontra ao mover-se ao longo do outro. Muitas pesquisas estão se concentrando em estudar como ocorre exatamente o atrito na interface, porque sua origem ainda não é completamente compreendida. Na macroescala, muitas leis empíricas descrevem há muito tempo a proporcionalidade direta entre as forças de atrito e a carga aplicada, bem como que a área de contato aparente não influencia na força de atrito. A proporcionalidade direta entre a carga  $F_N$  e a força de atrito  $F$  produz uma constante sem dimensão conhecida como coeficiente de atrito ou coeficiente de fricção e segue a Eq. 1:

$$\mu = \frac{F}{F_N} \quad \text{Eq. 1}$$

Onde:

$\mu$ : Coeficiente de atrito;

$F$ : Força de atrito;

$F_N$ : Força Normal/Carga aplicada.

Se a força para iniciar o movimento de um dos corpos é  $F_s$  e a força para manter seu movimento a uma determinada velocidade é  $F_d$ ,

há um coeficiente correspondente de atrito estático e o coeficiente de atrito dinâmico representados pelas Eq. 2 e Eq.3. Em alguns casos, esses coeficientes são aproximadamente iguais, na maioria dos casos  $\mu_s$  é maior que  $\mu_d$  e há uma tendência para que um movimento intermitente ocorra (SMITHELLS, 2004).

$$\mu_s = \frac{F_s}{F_N} \quad \text{Eq. 2}$$

Onde:

$\mu_s$ : Coeficiente de atrito estático;

$F_s$ : Força de atrito;

$F_N$ : Carga aplicada.

$$\mu_d = \frac{F_d}{F_N} \quad \text{Eq. 3}$$

Onde:

$\mu_d$ : Coeficiente de atrito dinâmico;

$F_d$ : Força de atrito;

$F_N$ : Carga aplicada.

Portanto dois coeficientes de atrito podem ser considerados, um que representa o atrito opondo-se ao aparecimento de movimento relativo, e um que representa o atrito opondo-se à continuidade do movimento relativo, uma vez que o movimento começou, o primeiro é chamado o coeficiente de atrito estático, e este último, o coeficiente de atrito dinâmico ou cinético (BLAU, 2001).

Os valores de coeficiente de atrito foram tabulados, porém depois do desenvolvimento de equipamentos e máquinas para quantificar o coeficiente de atrito, observou-se que o atrito pode não ser uma propriedade intrínseca dos materiais em contato (BLAU, 2001).

O fenômeno de atrito ou fricção é causado por contato entre duas superfícies em contato mecânico nos pontos altos dos relevos dos dois componentes do sistema. Entre as teorias propostas para explicar o atrito, a teoria do fenômeno da adesão e a teoria da deformação por sulcamento estão mais próximas das observações experimentais. Quando duas superfícies se aproximam, contatam primeiro os pontos mais altos de rugosidade. A área total desses pontos é chamada de área de contato real, que é uma pequena proporção da área de contato aparente. Esses pontos não são capazes de suportar uma grande

quantidade de força e, portanto, podem se deformar plasticamente e, assim, a ligação adesiva ocorre neles. Então, para quebrar as áreas soldadas, a força de atrito é criada (AMINI; HOSSEINABADI; SAJJADY, 2016).

Como já citado, a força de atrito resulta da força de contato e do coeficiente de atrito (DYCK; OBER-WÖRDER; BUND, 2016). Vários fatores influenciam no coeficiente de atrito como a rugosidade, a geometria do contato, a presença de um agente de lubrificação, temperatura, presença de um terceiro corpo como partículas de detritos (BLAU, 2002). A presença de partículas ou detritos influencia drasticamente no desgaste (BASSEVILLE; HÉRIPRÉ; CAILLETAUD, 2011).

De acordo com Smithells (2004), existem duas leis clássicas para o atrito, que são válidas ao longo de um largo intervalo de condições experimentais:

1. A força de atrito  $F$  entre os corpos sólidos é proporcional à força normal entre as superfícies, isto é,  $\mu$  é independente de  $F_N$ .

2. A força de atrito  $F$  é independente da área de contato aparente.

Para Smithells (2004), o atrito geralmente provém de duas fontes principais: aderência e deformação incluindo sulcamento e deformação da rugosidade, também conhecida como histerese. Um conceito bem estabelecido por Moore (1972), é o modelo de fricção em dois termos, assumindo que o coeficiente de atrito total é dado pela soma de duas contribuições independentes devido à adesão e deformação, respectivamente, o coeficiente de atrito pode ser expresso como na Eq.4:

$$\mu = \mu_m + \mu_d \quad \text{Eq. 4}$$

Onde:

$\mu$ : coeficiente de atrito total

$\mu_m$ : coeficiente de atrito devido aos efeitos de adesão;

$\mu_d$ : coeficiente de atrito devido aos efeitos de deformação/histerese.

Considerando que o componente de adesão surge de forças moleculares entre rugosidades superficiais dos materiais em contato, o componente de deformação está associado a fenômenos em massa, como a deformação viscoelástica ou deformações plásticas (DERLER et al., 2009).

Quanto maior for a adesão entre as duas superfícies em contato maior será o coeficiente de atrito. Em superfícies ásperas, a rugosidade

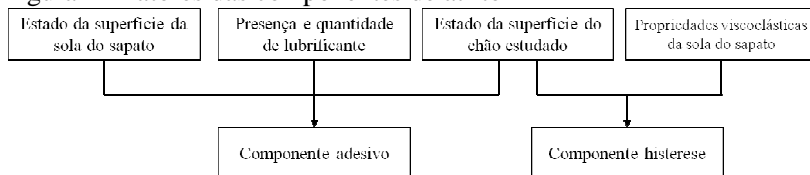
favorece o encravamento/intertravamento, resultando assim no aumento do atrito, no entanto, se as superfícies forem suficientemente lisas, a força adesiva poderia ser grande devido à falta de ar entre as superfícies em contato, consequentemente ter-se-ia um grande coeficiente de atrito (SMITHELLS, 2004).

Conforme já descrito na Eq.4, e descrito por Smithells (2004), e por Moore (1972), Ricotti, Delucchi e Cerisola (2009) citam que a tração entre duas superfícies ásperas/rugosas resulta em dois tipos de interações: aderência e bloqueio. A adesão é resultado da atração molecular entre as duas superfícies, mesmo quando ambas as superfícies são bastante lisas. O bloqueio é uma interação mecânica envolvendo picos e vales que podem ser microscopicamente pequenos. Um lubrificante pode em certa medida reduzir tanto adesão quanto o bloqueio.

Para superfícies muito limpas, uma forte adesão ocorre nas regiões de contato real, uma parte pode ser devido à soldagem a frio, e essas junções são “cortadas” ou “quebradas” se o deslizamento for realizado. No entanto, se as superfícies estão contaminadas, a adesão é muito mais fraca porque a formação de junções fortes é inibida (SMITHELLS, 2004).

Em estudo realizado por Leclercq, Tisserand e Saulnier (1993) com sapatos e pisos, foi observado que para esse tipo de sistema o coeficiente de atrito tem essencialmente dois componentes importantes: um componente que é o resultado da criação sequencial e ruptura de ligações moleculares entre o elastômero (sola do sapato) e a superfície do piso, esse componente é a adesão, e um componente devido a deformações periódicas do elastômero nas partes ásperas/rugosas da superfície do piso, essa componente é a histerese. Os fatores que influenciam em cada um dos componentes do coeficiente de atrito são mostrados na Figura 1:

Figura 1 - Fatores das componentes de atrito



Fonte: Adaptado, (LECLERCQ; TISSERAND; SAULNIER, 1993)

De acordo com Holmberg et al. (2007), a resistência ao movimento de dois corpos pode ocorrer devido aos seguintes fatores:

1) Adesão: que trata da quebra das ligações adesivas entre as duas superfícies;

2) Sulcamento: que é a resistência proveniente de deformação elástica e, eventualmente plástica, quando uma superfície mais dura se desloca através de uma superfície mais macia ou elástica;

3) Histerese, que é a resistência que origina uma deformação elástica contínua em uma das superfícies em movimento.

De acordo com Holmberg et al. (2007), nos mecanismos básicos de atrito, nenhuma remoção de material está envolvida. Alguns detritos na zona de contato tornariam a explicação dos mecanismos muito mais complicada.

Na pesquisa tribológica atual, um dos tópicos mais importantes é a influência da rugosidade superficial no atrito entre duas superfícies e, portanto, no coeficiente de atrito (BLAU, 2001). Devido à inexistência de uma superfície isenta de rugosidade e à combinação perfeita de duas superfícies reais, a área de contato real de dois materiais é muito menor do que a área de contato aparente. Assim, os materiais só se tocam em alguns pontos altos dos respectivos relevos de superfície (JHONSON, 1985).

A modelagem do atrito não é fácil porque a força de atrito depende de um número de parâmetros do sistema, tais como a velocidade de deslizamento, carga normal, a rugosidade da superfície (MAEGAWA; ITOIGAWA; NAKAMURA, 2015).

A textura da superfície é uma propriedade importante e pode afetar significativamente as características de coeficiente de atrito e resistência ao desgaste de superfícies (YI; ZHANG; PETERS, 2017).

### **3.1.1. Coeficiente de atrito em pisos**

De acordo com Chang, Hirvonen e Grönqvist (2004), atrito é amplamente utilizado como um indicador de escorregamento em pisos. Embora a interface de contato entre a sola do sapato e o chão seja complexa, a rugosidade da superfície desempenha um papel crucial na determinação do atrito superficial (CHANG, 2001).

Uma resistência adequada ao deslizamento de revestimentos de piso é um pré-requisito para uma caminhada segura, a incidência de deslizamentos e quedas, no entanto, indica que uma resistência ao deslizamento insuficiente é um problema que surge frequentemente, a



má resistência ao deslizamento pode ser consequência de um material inadequado na superfície do chão, ou pode ser causada por desgaste superficial e pela manutenção (DERLER et al., 2015). Vários tratamentos e produtos estão comercialmente disponíveis para melhorar ou restaurar a resistência ao deslizamento de superfícies problemáticas. (DERLER et al., 2015)

Em muitos casos, deslizamentos e quedas podem ser atribuídos a revestimentos de piso com resistência de deslizamento insuficiente, embora os contaminantes líquidos ou sólidos possam contribuir para condições escorregadias, os coeficientes de atrito criticamente baixos entre o pé dos pedestres e o chão estão fundamentalmente ligados às propriedades do material e da superfície do piso (CHANG et al., 2001) (KIM; HSIAO; SIMEONOV, 2013).

Seguindo essa lógica, parece apropriado que, uma vez que um valor mínimo de coeficiente de atrito seja alcançado, deforma que se tenha boa resistência ao escorregamento, quanto mais elevado o coeficiente de atrito, melhor no que diz respeito a essa resistência. No entanto, há evidências de que o excesso de atrito pode dar origem a uma variedade de problemas ao pedestre, como fadiga, desconforto, etc. (ZAMRA et al., 2011).

De acordo com Harper, Warlow e Clarke (1967), Perkins (1978) o requisito mínimo é um coeficiente de atrito de cerca de 0,36, para se garantir um ambiente seguro. No entanto, como não se tem controle sobre o tipo de calçado que os pedestres irão utilizar o valor de 0,4 é adotado como requisito mínimo para pisos, quando medido com uma borracha padrão (JAMES, 1988). Em circunstâncias especiais, tais como hospitais e lares de idosos este valor pode ser aumentado até 0,5 ou mesmo 0,6 (HUGHES; JAMES, 2002).

De acordo com Kim (2004), conceitualmente, a definição de atrito é de uma resistência ao movimento que ocorre sempre que um corpo sólido desliza sobre a outro, ou seja, o atrito é uma questão entre dois materiais, a maioria das pesquisas de resistência ao deslizamento, no entanto, informa que uma sola de sapato resiste ao movimento de um piso ou piso resiste ao movimento de uma sola de sapato, nesses casos a interação do calçado e do piso é ignorada ou nem mesmo considerada. Por isso, deve-se salientar que o COF, sigla utilizada para designar o coeficiente de atrito, não é uma constante para todo o material, mas é típico de dois materiais deslizantes um contra o outro sob um dado conjunto de superfície e condições ambientais. Portanto, os questionamentos: “Qual é o COF deste piso?”, ou “Qual é o COF desse

sapato?” não tem nenhum significado e a pergunta que deve ser feita é, “Qual tipo de solado de sapato foi testado, e qual tipo de piso foi testado para avaliar a propriedade antiderrapante?” ou ainda “Qual é o valor de COF entre este solado de sapato e esta superfície de piso?” (KIM, 2004).

Na tentativa de melhorar os testes foram desenvolvidos métodos para a medição da resistência ao deslizamento utilizados para fins diferentes. São utilizados para comparar produtos (calçados ou superfícies) existentes no mercado e para criar parâmetros de recomendações de produtos. Neste caso, a resistência ao deslizamento do calçado é avaliada em relação a uma superfície de referência escorregadia (geralmente coberta com um lubrificante de referência), e a resistência ao deslizamento das superfícies de pisos é avaliada em relação a um determinado solado de sapato, ou modelo de sapato, e um lubrificante de referência. Com esse tipo de arranjo, é possível estudar as características da sola do calçado ou da superfície do piso que melhoram a resistência ao deslizamento (LECLERCQ, 1999).

Em geral, este tipo de estudo é realizado em laboratório de novos produtos. No entanto, as propriedades de superfícies do piso e do solado do calçado são modificadas no decorrer do tempo como uma função do desgaste, sujeira e umidade presentes, portanto é necessário que se tenha dispositivos portáteis para realizar os testes *in loco* (LECLERCQ, 1999).

### **3.1.2. Métodos de ensaio de coeficiente de atrito**

A medição do coeficiente de atrito é uma das principais abordagens na avaliação da resistência ao escorregamento do piso (LECLERCQ; TISSERAND; SAULNIER, 1995), (CHANG et al., 2001), (GRÖNQVIST et al., 2001).

Embora a medida de atrito relacionada aos problemas de deslizamentos e quedas permaneça controversa devido à dependência do operador, do dispositivo, da condição de teste e da preparação da superfície, a medida da rugosidade da superfície do piso pode fornecer um complemento confiável e objetivo para a medição do coeficiente de atrito (CHANG, HIRVONEN E GRONQVIST, 2004).

A avaliação da resistência ao escorregamento de diferentes superfícies *in loco* é muitas vezes considerada necessária para explicar os fatores específicos do local que influenciam na resistência ao deslizamento da superfície, como o efeito do desgaste resultante de ataques químicos e mecânicos que ocorrem em locais industriais e o

efeito de poluentes específicos na área (LECLERCQ; TISSERAND; SAULNIER, 1993). Para esses casos, podem ser utilizados dispositivos portáteis de medição de atrito, denominados deslizadores (ASCHAN et al., 2005).

Numerosos dispositivos diferentes foram desenvolvidos, dos quais são identificados no estudo recente por Grönqvist, Hirvonen e Rajamäki, (2001), os dispositivos para medição de coeficiente de atrito que medem a tração, torque, perda de energia ou o ângulo de inclinação. De acordo com Aschan et al. (2005), e Grönqvist, Hirvonen e Rajamäki, (2001) estes dispositivos de teste portáteis atualmente usados mais amplamente foram categorizados com base no seu princípio de operação: equipamento de arraste ou rebocados, pêndulo, braço articulado e rodas travadas, sendo que nenhum deles usa calçado real ao avaliar a resistência ao deslizamento da superfície. Em vez de usar calçado, os deslizadores portáteis costumam usar materiais deslizantes especiais para avaliar a resistência ao deslizamento (ASCHAN et al., 2005).

Os equipamentos podem fornecer informações de coeficiente de atrito estático, referente ao momento anterior em que ocorra um movimento detectável, ou informações do coeficiente de atrito dinâmico sob um estado de deslizamento estável ou ao coeficiente de atrito de transição que represente uma condição instantânea entre um deslizamento e uma situação de derrapamento (GRÖNQVIST; HIRVONEN; TOHV, 2000).

Espera-se que o coeficiente de atrito dinâmico seja um fator determinante para o escorregamento, uma vez que o pé está em movimento quando o sapato entra em contato com o piso (ANDRES; CHAFFIN, 1985), (TISSERAND, 1985). Na prática, durante as condições normais de caminhada, o tempo de contato entre a sola do calçado e o piso é tão curto que o coeficiente de atrito estático pode não ser relevante (PERKINS, 1978). Brungraber (1967), por outro lado, afirmou que o coeficiente de atrito estático era o parâmetro mais significativo para medir a resistência ao deslizamento de pisos. Perkins e Wilson (1983) também sugeriram que o coeficiente de atrito estático é um melhor indicador de deslizamento, uma vez que determina se um deslizamento será iniciado. Porém de acordo com Skiba, Kuschefski, Cziuk (1985), praticamente todos os autores da Europa, bem como os da América do Norte que têm estudado a relação entre coeficiente de atrito e escorregamento, concordam que o coeficiente de atrito dinâmico é mais relevante que o estático para medir a resistência ao escorregamento

de um piso. Entretanto, de acordo com Li et al. (2004) a medida do coeficiente de atrito estático é geralmente mais fácil que a do coeficiente de atrito dinâmico, uma vez que o segundo envolve controle complicado do movimento entre as duas superfícies de contato.

Por exemplo, os equipamentos de arraste, quando usados para testes úmidos, medem as forças de atrito baseadas em contato, porque o carrinho de teste é posicionado e passa pela camada de água antes que qualquer força lateral seja exercida. Os equipamentos baseados na perda de energia (pêndulo) e os dispositivos inclinados podem medir as forças hidrodinâmicas, pois as forças laterais e normais são aplicadas simultaneamente. Assim, as últimas classes de instrumentos mostrarão corretamente a resistência ao escorregamento de um piso molhado, que é muito mais escorregadio do que um piso seco, enquanto a primeira classe não possui essa sensibilidade (MARPET, 2001).

Como já citado, existe uma variedade de dispositivos de medição de deslizamento que fornecem estimativas de valores de coeficiente de atrito estáticos e dinâmicos entre os solados de sapatos e o chão. Infelizmente, diferentes materiais de solado de sapato, condições de piso e contaminantes afetarão os testes de maneira que resultam em estimativas de COF amplamente variáveis (CHAFFIN; WOLDSTAD; TRUJILLO, 1992).

Apesar de muitos anos de investigação e fabricação de inúmeras máquinas de teste para a medição da resistência ao deslizamento, nenhum deles é adotado internacionalmente como um modelo padrão, porque cada um deles possui algumas vantagens e desvantagens em seu design de teste. De fato, como cada instrumento de teste possui diferentes conceitos, parâmetros sistêmicos e princípios mecânicos, por isso pode ser enganoso adotar um valor de COF de referência sem qualquer citação do instrumento usado para as medidas (KIM; HSIAO; SIMEONOV, 2013).

Como falado anteriormente, embora muitos tipos diferentes de dispositivos de medição de atrito tenham sido desenvolvidos, não existe um dispositivo e um método de teste universalmente aceito (KIM, 2012). Os estudos mostraram grande desacordo sobre os resultados desses dispositivos, mesmo usando as mesmas condições do piso e contaminantes (RICOTTI; DELUCCHI; CERISOLA, 2009), (GRÖNQVIST; HIRVONEN; TOHV, 2000), (HARRIS; SHAW, 1988). Essas diferenças podem originar-se das características dinâmicas e cinemáticas dos dispositivos de medição, das propriedades físicas dos materiais deslizantes ou das condições de teste (temperatura e umidade)

(KIM, 2012). Outros estudos mostraram uma forte correlação entre os dispositivos testados, mas diferentes valores absolutos do coeficiente de atrito (GRÖNQVIST; HIRVONEN; TOHV, 2000), (CHANG; MATZ, 2001). Uma razão adequada para isso ainda não foi encontrada (KIM, 2012).

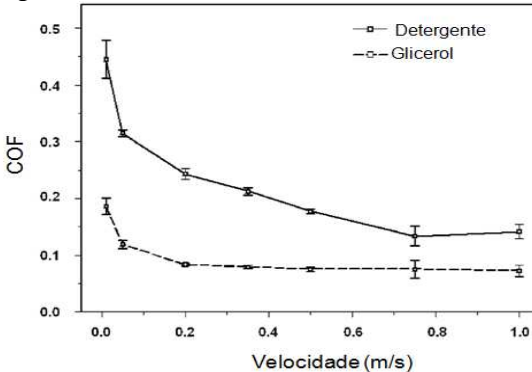
Numa revisão de Chang et al. (2001), as características de 12 equipamentos portáteis tipicamente usados, bem como métodos baseados em 9 laboratórios foram resumidas e avaliadas, em geral, a avaliação de atrito utilizando os dispositivos de medição mecânicos pareceu válida e de confiança. No entanto, Chang et al. (2001) afirmaram que a validade da maioria dos dispositivos pode ser melhorada, trazendo-os para a gama de condições que condizem com estudos biomecânicos observadas em condições reais de uso:

- Força normal deve ser de pelo menos 10 kN/s para dispositivos de teste de solas de sapato;
- Pressão de contato normal deve ser entre 200 e 1000 kPa;
- Velocidade de deslizamento na interface deve ter entre 0 e 1,0 m/s;
- Tempo máximo de contato, antes e durante o cálculo do COF deve ser de 600 ms.

As técnicas atuais geralmente medem as propriedades de atrito estático das superfícies, limitadas ao início de um escorregamento, ou propriedades de atrito dinâmico para uma condição de deslizamento estável prolongado (GRÖNQVIST et al., 2003). Essas condições de medição não condizem com as reais situações de deslizamento encontradas.

O estudo realizado por Beschorner et al. (2007) comprovou que maiores velocidades de testes diminuem significativamente o coeficiente de atrito medido, os resultados mostraram também que o coeficiente de atrito é dependente do ângulo de contato entre sapato e piso e da Força Normal  $F_N$ . A Figura 2 mostra esse comportamento do coeficiente de atrito com relação à velocidade:

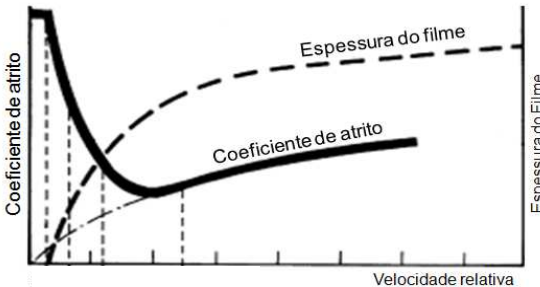
Figura 2 - Efeito da velocidade no valor de COF



Fonte: Adaptado, (BESCHORNER et al., 2007)

A Figura 3 mostra a relação entre o coeficiente de atrito, espessura do filme e velocidade relativa:

Figura 3 - Relação entre o coeficiente de atrito, espessura do filme e velocidade



Fonte: Adaptado, (BESCHORNER et al., 2007, apud BOOR; MÖLLER, 1996)

A figura descreve o coeficiente de atrito com a variação da velocidade na presença de contaminante líquido (lubrificante). A espessura do filme aumenta conforme a velocidade aumenta, o que diminui as interações das rugosidades superficiais e a diminuição da interação da rugosidade diminui o coeficiente de atrito.

Os dispositivos de medição podem ter uma força normal, velocidade de deslizamento, taxa de desgaste da borracha deslizante e

procedimentos de condicionamento do material deslizante diferentes, e dessa forma se espera que mostrem resultados diferentes, portanto, as condições de teste e o procedimento de condicionamento do material deslizante devem ser cuidadosamente realizados (KIM, 2012).

As características de medição e as condições de teste de vários deslizadores podem ser bastante diferentes, conforme resumido por Chang et al. (2001). Diferentes coeficientes de atrito (COF) são obtidos com diferentes deslizadores, mesmo com o mesmo material do calçado e interface do piso (LI; CHANG; CHANG, 2009).

Idealmente, como o objetivo é quantificar o atrito que é experimentado pelo pé do pedestre, qualquer tribômetro usado para quantificar o nível de atrito entre a sola do sapato e o piso deve se biofiel, ou seja, os parâmetros da interface do instrumento devem ser semelhantes aos parâmetros relacionados à caminhada humana (PROCTOR; COLEMAN, 1988).

De acordo com o estudo de Marpet (2001), idealmente, todos os equipamentos do mesmo tipo devem mostrar resultados idênticos, e equipamentos diferentes de diferentes tipos, devem mostrar resultados substancialmente semelhantes, mas conforme já mencionado não é isso que ocorre:

- As superfícies do piso a serem medidas podem variar substancialmente de um ponto para outro e ao longo do tempo;
- Os materiais de teste podem variar ao longo do tempo;
- Diferentes tipos de tribômetro podem dar resultados substancialmente diferentes porque o atrito não é apenas uma propriedade de material, é também uma propriedade de sistema.

Não há muitos estudos publicados teóricos ou analíticos sobre os efeitos dos procedimentos de coleta de dados para medidas de atrito (MATZ; GRÖNQVIST, 2004), embora Barnett (2002) tenha argumentado que o deslizamento depende do menor coeficiente de atrito encontrado durante a caminhada e não no coeficiente de atrito médio.

Durá et al. (2005), cita uma grande quantidade de dispositivos e procedimentos para medir o comportamento de escorregamento das superfícies: Tortus, BPST, PFT, Drag Sled Tester, Schuster, HPS, Floor Slide Control 2000, Step Simulator desenvolvido no Finish Institute of Occupational Health (GRÖNQVIST et al., 1989), LABI-NRS, Tribômetro de James (ASTM STANDARD TEST METHODO D-2047-77, 1977), PSRT (REDFERN, BIDANDA, 1994) e muitos outros. De

acordo com Durá et al. (2005), atualmente, o teste de rampa para a condição descalça (DIN 51097) e com calçados (DIN 51130) e o teste de pêndulo (BS 7976, AS 3661.1) são os métodos mais utilizados para avaliar o atrito e a segurança dos pisos. No entanto, as pessoas continuam a cair mesmo em superfícies que cumprem estes testes.

A seguir será discutido o funcionamento de alguns equipamentos utilizados para determinação do coeficiente de atrito. Pé de teste, termo muito utilizado, consiste do material que irá entrar em contato com a superfície durante os ensaios de medição de coeficiente de atrito. A forma e a composição do pé de teste variam de acordo com o equipamento.

### 3.1.2.1 Tribômetro Hunter

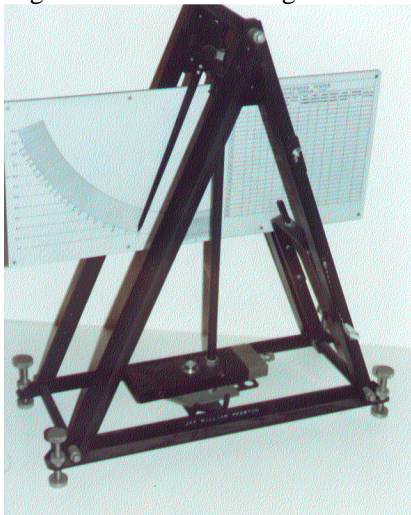
O equipamento desenvolvido por Hunter na década de 1920, que atualmente não é mais utilizado, consistia em um peso limitado a deslizar verticalmente, com a altura do peso ajustada. Fixado ao peso existe um suporte angular, chamado de suporte articulado. Ao ajustar a altura do peso, a relação entre a força lateral e vertical sobre o pé de teste pode ser variada. Durante o teste, o peso deve ser reduzido até escorregar, a tangente do ângulo do suporte no instante em que o peso de teste desliza é o coeficiente de atrito. O Tribômetro Hunter é de interesse evolutivo porque muitos dos equipamentos surgiram tendo como base esse equipamento (HUNTER, 1929).

### 3.1.2.2 Tribômetro Sigler

Na década de 1940, a Sigler desenvolveu um equipamento baseado na perda de energia, consistindo em um pêndulo que possui um “pé de teste” montado na parte inferior. O dispositivo é inicializado com o peso a uma certa altura, de forma que o “pé de teste” entre em contato com a superfície de teste. O peso é liberado e a altura do penúltimo curso é capturada mecanicamente. A diferença nas alturas de contato antes, e após o teste pode ser convertida em uma medida da perda de energia, que se correlaciona com o atrito. Atualmente, o *Sigler Tribometer* é visto ocasionalmente em testes de atrito na superfície de pisos. Em um design atualizado, existe o britânico *Pendulum Skid Tester* (BPST), utilizado para avaliar o atrito das superfícies rodoviárias e de pisos (MARPET, 2001). A Figura 4 mostra o tribômetro:



Figura 4 - Tribômetro Sigler



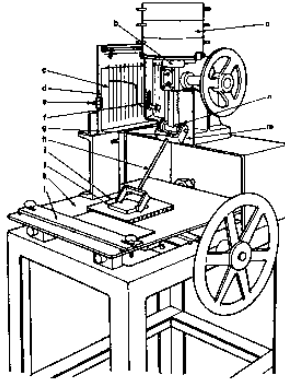
Fonte: PRESTON, 2017

### 3.1.2.3 Tribômetro James

De acordo com James (1944), na década de 1940, Syd James desenvolveu o *James Tribometer* para medir a resistência ao deslizamento dos pavimentos do chão. O Tribômetro James era um instrumento articulado com aproximadamente 80 libras de peso, e suporte e “pé de teste” semelhantes ao Tribômetro Hunter. Ao contrário da maioria dos tribômetros, a angulação do suporte articulado que aplica a força lateral ao “pé de teste”, é realizada movendo a mesa que suporta a superfície de teste. O Tribômetro James tem dois padrões ASTM que controlam sua utilização (ASTM STANDARD TEST METHOD F 489-77, 1977), (ASTM STANDARD TEST METHOD D-2047-77, 1977).

De acordo com Sariisik, Gurcan e Senturk (2007), o Tribômetro James usa um braço articulado para empurrar um bloco de teste em contato com uma superfície, o dispositivo é grande e pesado. A Figura 5 mostra o tribômetro:

Figura 5 - Tribômetro James



Fonte: PRESTON, 2017

### 3.1.2.4 Medidor de Tração Horizontal

Charles Irvine mostrou um interesse na segurança dos pedestres, e desenvolveu um equipamento de tração horizontal (HPS). O HPS é um dispositivo simples que consiste em um carrinho, revestido em sua parte inferior por três botões de pequeno diâmetro compostos pelo material do “pé de teste” (IRVINE, 1976). Em cima do carrinho, é acoplado um dinamômetro. O carrinho é puxado por um cabo com um motor de engrenagem. Existe um padrão ASTM que controla seu uso (ASTM STANDARD TEST METHOD F 609-79, 1979). A Figura 6 mostra o equipamento:

Figura 6 - Medidor de tração horizontal

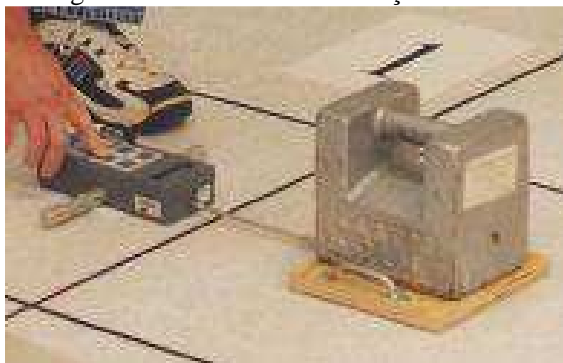


Fonte: PRESTON, 2017

### 3.1.2.5 Dinamômetro de Tração Horizontal

O C-21.06 é o subcomitê da ASTM responsável pelo desenvolvimento de normas relativas à placa cerâmica. O dinamômetro de tração horizontal é um equipamento desenvolvido pelo Comitê C-21.06 da ASTM. Consiste em um bloco de madeira revestido com o material de “pé de teste” Neolite ® Test Liner. O material do “pé de teste” é colocado em contato com a superfície da placa cerâmica a ser testada. Em cima deste arranjo é colocado um peso de 50 libras. A força lateral é gerada manualmente, puxando o conjunto com um dinamômetro de leitura de pico. A proporção da força horizontal do pico com relação ao peso combinado do carrinho e 50 libras de peso é o coeficiente de atrito. A unidade é calibrada usando uma "superfície padrão de placa cerâmica" como referência, conforme descrito em seu padrão ASTM (ASTM STANDARD TEST METHOD C-1028, 1996). De acordo com Sariisik, Gurcan e Senturk (2007), esta máquina foi projetada para ser barata e de fácil fabricação. A Figura 7 mostra o equipamento:

Figura 7 - Dinamômetro de tração horizontal



Fonte: PRESTON, 2017

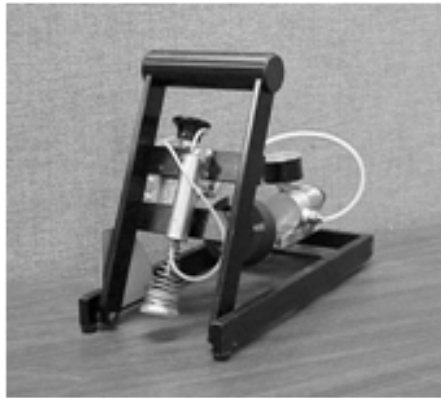
### 3.1.2.6 Tribômetro VIT

O *English XL Vertical Incidence Tribometer* (VIT) foi desenvolvido por William English no início da década de 1990. O princípio de funcionamento é muito semelhante ao do Brungraber

Mark/PIAST. As medições começam com um ângulo pequeno para um ângulo maior até ocorrer um deslizamento (CHANG, 2002).

O VIT é um medidor de fricção de transição muito semelhante ao PIAST, exceto pelo “pé de teste”, que é menor e conduzido pela força gerada por um cilindro pneumático. O VIT também possui um padrão ASTM associado à sua utilização (ASTM STANDARD TEST METHOD F 1679-96., 1996). A Figura 8 mostra o equipamento:

Figura 8 - Tribômetro VIT



Fonte: CHANG, 2002

### 3.1.2.7 Brungraber Mark

Na década de 1960, Robert Brungraber desenvolveu um equipamento portátil análogo a outros já desenvolvidos (BRUNGRABER, 1977). O equipamento foi normatizado e foi evoluindo ao longo do tempo. Também é conhecido pela sigla PIAST e possui um padrão ASTM associado à sua utilização (ASTM STANDARD TEST METHOD F 1677-96, 1996).

O Brungraber Mark é um deslizador inclinado por gravidade, é um dispositivo de medição de coeficiente de atrito comumente usado nos EUA (CHANG et al., 2004), (GRÖNQVIST; HIRVONEN; TOHV, 2000), (POWERS et al., 1999), (CHANG et al., 2003), (CHANG; MATZ, 2001), (CHANG et al., 2001), (CHANG, 2002). Este deslizador aplica simultaneamente forças paralelas e normais a uma superfície de piso com o impacto de uma sola de calçado no piso em um ângulo inclinado.

Os valores de COF medidos com o Brungraber Mark mostraram uma forte correlação com aqueles medidos com um aparelho dinâmico para simular um deslizamento, embora os valores de COF absolutos obtidos de ambos os dispositivos fossem bastante diferentes (GRÖNQVIST; HIRVONEN; TOHV, 2000) A Figura 9 mostra o equipamento:

Figura 9 - Brungraber Mark



Fonte: PRESTON, 2017

Li et al. (2006) demonstraram que o equipamento possui problemas quando utilizado em superfícies inclinadas, pois mostraram que uma mesma superfície pode apresentar resultados de coeficiente de atrito diferentes quando o teste for realizado em angulações diferentes.

### 3.1.2.8 BOT

O BOT-3000 é um dispositivo do tipo de arraste que mede o coeficiente de atrito estático (SCOF) de uma área de superfície selecionada, entre seu elemento deslizante e a superfície do chão. O dispositivo também pode ser usado para medir o coeficiente de atrito dinâmico (DCOF) de uma dada área de superfície por regulagem da distância, mantendo uma velocidade quase constante entre 0,2 m/s e 0,23 m/s (KIM, 2012). A Figura 10 mostra o equipamento:

Figura 10 - BOT



Fonte: PRESTON, 2017

A norma especifica como valor de segurança para resistência ao escorregamento 0,42 de coeficiente de atrito na condição úmida.

### 3.1.2.9 Pêndulo

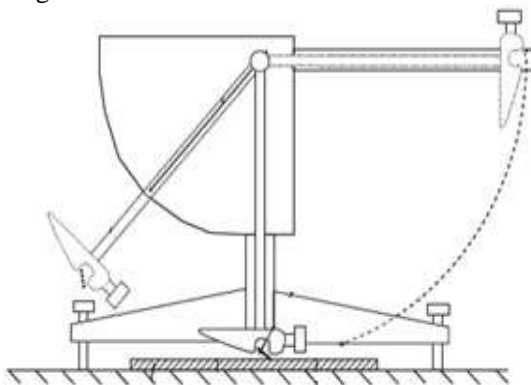
O Pêndulo foi originalmente projetado para simular a ação de um pé deslizante. Este testador usa um dispositivo que balança e que varre de uma maneira controlada uma área definida de piso (KIM, 2012). O dispositivo é composto por quatro componentes principais, sendo uma base, escalas, o braço do pêndulo e uma barra de borracha (KARACA et al., 2013).

O Pêndulo de Teste Britânico, também conhecido como *Portable Skid Resistance Tester* ou *TRRL Pendulum*, é um equipamento do tipo pendular dinâmico usado para medir a perda de energia quando uma extremidade deslizante de borracha é impelida/empurrada ao longo de uma superfície de teste. Os valores medidos representam as propriedades de atrito da superfície, quer *in loco* ou no laboratório. O deslizante do pêndulo, ou pé de teste, geralmente é feito de borracha 4S (padrão que simula sola de sapato). O pêndulo é levantado para uma posição de bloqueio e em seguida liberado, permitindo assim que a barra

faça contato com a superfície. Um ponteiro indica a BPN. Quanto maior for o atrito maior o BPN (RICOTTI; DELUCCHI; CERISOLA, 2009).

De acordo com Ricotti, Delucchi e Cerisola (2009), os resultados obtidos nos seus estudos mostraram que o pêndulo britânico é capaz de diferir entre condições secas e úmidas, além disso, mostrou que é possível discriminar diferentes materiais. A Figura 11 mostra o equipamento:

Figura 11 - Pêndulo Britânico



Fonte: MILLS; DWYER-JOYCE; LOO-MORREY, 2009

O Guia de Resistência ao Escorregamento do Reino Unido especifica 36 como valor mínimo na condição úmida, para que se tenha baixo potencial de escorregamento.

Existem diversas normas que especificam a metodologia de ensaio a ser adotada com o Pêndulo, e não existe consenso sobre qual é mais adequada.

#### 3.1.2.10 Tortus

O método descrito pela ISO 10545-17 (reprovada) e NBR 13818 Anexo N, considera uma condição de teste única na qual um dispositivo chamado Tortus é usado. Ele mede o coeficiente de atrito dinâmico deslizando um pé de borracha cilíndrico com uma velocidade constante de 0,017 m/s e um peso vertical de 200 g que de acordo com Durá et al. (2005) são inferiores aos valores de caminhada reais. A Figura 12 mostra o equipamento:

Figura 12 - Tortus



Fonte: PRESTON, 2017

O Tortus é um instrumento de precisão controlado por microprocessador o qual mede diretamente o coeficiente de atrito dinâmico, à medida que atravessa uma superfície de teste. Ele fornece uma leitura instantânea de coeficiente de atrito em um display digital que se move sobre a superfície e exibe o valor médio da COF na conclusão do teste. O Tortus usa um “pé de teste” montado sobre um conjunto de mola e lâmina, que é mantido em contato com a superfície a ser analisada por uma carga vertical fixa. A flexão é medida por medidores de tensão ligados ao conjunto da mola. Controladores são usados para converter o sinal para um valor digital de COF. A borracha padrão utilizada como material no “pé de teste” é do tipo 4S e o diâmetro é de 9,5 mm (RICOTTI; DELUCCHI; CERISOLA, 2009).

A NBR 13818 especifica 0,40 na condição úmida para que se tenha resistência ao escorregamento adequada, e que portanto o produto possa ser utilizado em áreas externas.

Orientações que têm sido geralmente utilizadas na União Europeia indicam que valores de coeficiente de atrito inferiores a 0,4 não são satisfatórios e valores abaixo de 0,2 são perigosos. Superfícies com valores na gama 0,4 a 0,75 são consideradas adequadas para áreas em que é necessário um cuidado especial (RICOTTI; DELUCCHI; CERISOLA, 2009).

Entretanto, Williams, Smithe Draugelis (1972) questionaram a escolha de um índice de atrito e observaram que essas medidas realmente não refletem uma impressão de segurança.

De acordo com estudos de Ricotti, Delucchi e Cerisola (2009), os resultados obtidos com Tortus revelaram que este dispositivo não






pode distinguir entre as medições na condição seca e úmida, mas é capaz de discriminar materiais diferentes.

### 3.1.2.11 Rampa

Para a determinação das propriedades de resistência ao escorregamento o teste de rampa utiliza uma pessoa que se move para trás e para frente numa posição vertical sobre uma rampa de ângulo variável. A rampa é repetidamente ajustada até o menor ângulo em que a caminhada da pessoa se torna instável. A superfície é submetida a uma contaminação (DIN51097, 1992; DIN 51130,2004). Existem diferentes procedimentos, dependendo do que está sendo testado: pisos para áreas onde as pessoas estarão usando calçado ou pisos para áreas em que as pessoas estarão descalças. Para o primeiro teste a rampa é revestida com um óleo de motor para tornar a superfície mais escorregadia, para o último teste o contaminante é água com detergente (1 g/L) (RICOTTI; DELUCCHI; CERISOLA, 2009).

De acordo com Sariisik, Gurcan e Senturk (2007), os pisos serão classificados em classe A se o ângulo estiver entre 12,0° e 18,0°, Classe B se o ângulo estiver entre 18,1° e 24,0° e Classe C se o ângulo for igual ou superior a 24,1°, a Tabela 1 mostra a classificação:

Tabela 1 - Classificação para o método descalço






	<b>Classificação</b>	<b>Ângulo (°)</b>
	A	12,0-18,0
	B	18,1-24,0
	C	>24,0

Fonte: SARIISIK; GURCAN; SENTURK, 2007

A tangente do ângulo de deslizamento obtido através do dispositivo de teste de plano inclinado mostra o coeficiente de atrito entre o pé descalço e o material de superfície (BOWMAN, 1997), (MILLER,1999).

De acordo com Sariisik, Gurcan e Senturk (2007), a DIN 51130 classifica os pisos em classes R de R9 a R13, a Tabela 2 mostra a classificação:

Tabela 2 - Classificação R

Classificação	Ângulo (°)
 R9	3,0-10,0
 R10	10,1-19,0
 R11	19,1-27,0
 R12	27,1-35,0
 R13	>35,0

Fonte: SARIISIK; GURCAN; SENTURK, 2007

O estudo desenvolvido por Ricotti, Delucchi e Cerisola (2009) mostra que o teste de rampa pode diferenciar materiais, mas produz resultados diferentes dependendo da pessoa que realiza o teste e sua repetibilidade pode ser seriamente questionada.

### 3.1.2.12 Análise sensorial humana

Além das medidas de coeficiente de atrito, a percepção da resistência ao deslizamento do piso também deve ser avaliada (CHANG et al., 2004). Myung, Smith e Leamon (1993) criaram um ranking subjetivo com avaliações humanas em diferentes superfícies de piso, seus resultados indicaram que os seres humanos têm uma habilidade promissora para diferenciar subjetivamente a resistência ao deslizamento de superfícies de forma confiável, eles concluíram que os humanos eram confiáveis avaliadores de resistência ao deslizamento.

A medição subjetiva humana exige que os sujeitos forneçam classificação de deslizamento da superfície com base em sua percepção e/ou experiência. Mesmo que esse método de avaliação não seja tão confiável quanto os métodos objetivos, este tipo de avaliação está diretamente ligada ao comportamento de caminhada humana e, portanto,

acredita-se que são significativos nos estudos do risco de queda (LI; YU; ZHANG, 2011).

Nos estudos desenvolvidos por Li et al. (2004), em uma avaliação com 24 indivíduos, observou-se que a avaliação subjetiva pode razoavelmente refletir a resistência ao escorregamento de um piso.

### **3.1.3. Escorregamentos**

Os fatores ambientais, em vez de fatores individuais, podem iniciar a maioria das quedas (MATZ; GRÖNQVIST, 2004). Muitos fatores contribuem com a probabilidade de escorregamento de um pedestre: as ações dos pedestres, o ambiente visual, iluminação e ausência de iluminação, presença de distrações visuais, podem interferir na caminhada do pedestre e levá-lo ao escorregamento e possível queda (MARPET, 2001), (GRÖNQVIST et al., 2001), (REDFERN et al., 2001). Os contaminantes da superfície do piso como água, óleo, detritos orgânicos, poeiras, neve, etc., podem ser apontados como fatores de grande contribuição para quedas relacionadas a escorregamento (LECLERCQ, 1999). Os estudos realizados por Li et al. (2007) indicam que os grãos de areia no chão podem resultar em uma perda de fricção variando de 71% a 92%, em comparação com a superfície não contaminada seca, dependendo do tipo do material do calçado e do piso. Dentre os fatores ambientais mais importantes estão as propriedades de atrito do solado do sapato e do piso (CHAM; REDFERN, 2002).

Um fator importante e indiscutivelmente o principal fator nos escorregamentos de pedestres é o coeficiente de atrito na interface do calçado e do piso, os componentes dessa interface são o solado do sapato (ou pé), a superfície do piso e quaisquer contaminantes que se encontrem entre eles (MARPET, 2001). Escorregamentos ocorrem devido a causas relativamente complexas, envolvendo ambos os fatores, ambientais e humanos (COURTNEY et al., 2001). O fator ambiental principal por trás de acidentes de escorregamento é a característica de resistência de deslizamento da superfície sob os pés (GRÖNQVIST et al., 2001).

De acordo com Marpet (2001), pelo menos uma das superfícies envolvidas (o solado do sapato) é resiliente, assim o uso do modelo de fricção de Amontons-Coulomb, onde o atrito é assumido como independente da velocidade, pressão, tempo, etc., pode não ser apropriado. A não conformidade com Amontons-Coulomb pode

complicar a medida do atrito, pois o coeficiente de atrito torna-se mais do que apenas uma propriedade de materiais.

De acordo com Aschan et al. (2009), em geral, a possibilidade de deslizamento é definida quantitativamente através do coeficiente de atrito entre superfícies que é uma quantidade física mensurável. Os valores de coeficiente de atrito estimado estão ligados a avaliações subjetivas como o sistema de classificação apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 - Classificação de coeficiente de atrito

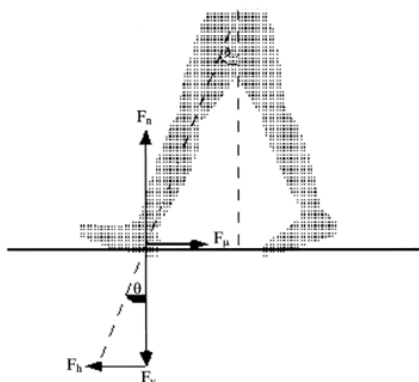
Classe	Avaliação	Coeficiente de atrito dinâmico
1	Muito resistente ao escorregamento	$> 0,30$
2	Resistente ao deslizamento	0,20 - 0,29
3	Incerto	0,15 - 0,19
4	Escorregadio	0,05 - 0,14
5	Muito escorregadio	$< 0,05$

Fonte: GRÖNQVIST, R., 1995

Quando o coeficiente de atrito excede o valor de 0,20 a condição é comumente considerada segura ao andar em superfícies niveladas (GRÖNQVIST, 1995). Em outras situações, como quando se caminha em superfícies inclinadas, carregando uma carga pesada ou quando se corre sobre a superfície, um nível de atrito maior pode ser necessário para evitar o escorregamento. Além disso, pessoas idosas e deficientes podem exigir maiores níveis de atrito para caminhadas seguras. De acordo com um estudo o nível de atrito deve ser ainda maior que 0,40 no caso de alguns grupos especiais (DURÁ et al., 2005).

Especificamente, o início de um escorregamento ocorre sempre que a força de atrito oposta ao movimento do pé é menor (por exemplo, devido à contaminação) do que a força de cisalhamento no pé após o contato do calcanhar (LOCKHART et al., 2002). A Figura 13 mostra a distribuição de força da caminhada humana, onde  $F_h$  é a força horizontal,  $F_v$  é a força vertical,  $F_m$  é a força de atrito e  $F_n$  é a força normal:

Figura 13 - Vetores da força aplicados pelo pé durante caminhada humana



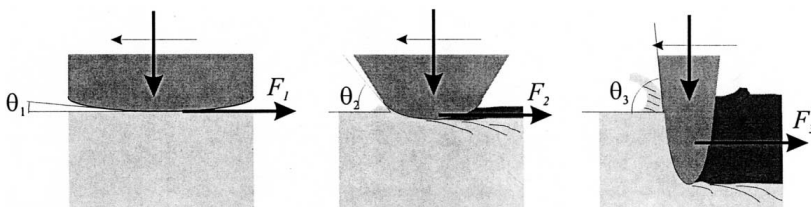
Fonte: (LOCKHART et al., 2002)

### 3.2. FATORES INTERVENIENTES NO COF

A ciência moderna de atrito chamado Tribologia desenvolvida por Kragelsky, Mihlin (1984) e Demkin (1970) afirma que a força de atrito depende de diversas propriedades físicas e químicas das superfícies conjugadas, incluindo a área de contato real de superfícies conjugadas e a sua rugosidade.

A Figura 14 mostra como a geometria do material deslizante pode afetar a magnitude da contribuição de sulcamento à força tangencial, e, portanto, o valor do coeficiente de atrito:

Figura 14 – Influência da geometria do deslizante no mecanismo de atrito



Fonte: BLAU, 2001

A seguir serão discutidos alguns fatores que podem influenciar no coeficiente de atrito de um sistema.

### 3.2.1 Rugosidade

Estudos recentes evidenciaram a importância da rugosidade da superfície nas avaliações da resistência ao deslizamento (KIM, 2017), (KIM; SMITH, 2000). Kim, Hsiao, Simeonov (2013) mediram uma série de parâmetros de rugosidade superficial para identificar quaisquer correlações entre a superfície e as propriedades de resistência ao deslizamento. Conforme indicado nesses estudos, existem evidências convincentes de que a rugosidade superficial nas superfícies do solado do sapato e na superfície do piso afeta significativamente a resistência ao escorregamento, a rugosidade da superfície fornece espaços de drenagem necessários para evitar formação de películas sob condições lubrificadas. Padrões de piso com superfícies adequadas também podem melhorar as propriedades de tração, fornecendo espaços vazios para a remoção de contaminantes e levando a um aumento no contato entre superfícies (KIM; HSIAO; SIMEONOV, 2013).

Além disso, quase todas as superfícies são ásperas em uma escala microscópica e são compostos de um agregado de micro e macrorugosidades. As condições que envolvem uma rugosidade individual, a sua interação com a rugosidade oposta, os locais de contato, bem como as áreas de contato são reguladas por diversos fatores, tais como a forma, o tamanho e distribuição da rugosidade das superfícies de contato, carga normal aplicada, velocidade de deslizamento, etc. (KIM; SMITH, 2000).

Por outro lado, as características topográficas das superfícies do piso poderiam melhorar drasticamente o desempenho de resistência ao escorregamento em comparação com os calçados (KIM, 2004), porque as superfícies de piso podem ter uma textura com rugosidades/asperidades mais altas e duras quando comparadas à superfície dos sapatos. Essas características topográficas podem proporcionar pontos de contato acima de filmes formados por lubrificantes que possam estar sobre a superfície do piso de forma que entrem em contato com a superfície do sapato. Embora o aumento das propriedades de resistência ao deslizamento de superfícies de piso seja desejável como regra geral, um coeficiente de atrito, muito alto pode impedir uma caminhada segura e confortável (CHAFFIN; WOLDSTAD; TRUJILLO, 1992).

Além disso, manter ou aumentar a rugosidade da superfície do piso requer altos custos de processamento. No entanto, estudos e diretrizes sobre os níveis funcionais de rugosidade superficial do piso

requerido para o desempenho ideal da resistência ao deslizamento são escassos (KIM; HSIAO; SIMEONOV, 2013).

Kim (2012) também usou em seus testes a análise da rugosidade da superfície do solado de diferentes sapatos para avaliar o potencial de resistência ao escorregamento de cada um deles.

A textura da superfície é definida por várias características, tais como rugosidade e dureza. Embora a textura da superfície tátil tenha sido intensamente investigada, a rugosidade da superfície como um importante componente da textura de superfície é pouco explorada (YI; ZHANG; PETERS, 2017).

De acordo com Gachot et al. (2017), evidências de tempos antigos mostram como as pessoas usaram texturas para modificar o atrito de uma superfície e aumentar a resistência ao escorregamento. Por exemplo, durante a dinastia Tong, na China, padrões sulcados ou ondulações foram colocados nas solas dos sapatos de trabalhadores para ajudá-los a trabalhar em solo lamacento e escorregadio (ANNO, WALOWIT, ALLEN, 1968). Nos tempos modernos, pneus de automóveis são equipados com texturas sofisticadas para controlar o atrito para uma condução segura sob várias condições da estrada (ANNO, WALOWIT, ALLEN, 1969).

Já se tem conhecimento há décadas que a topografia/textura de superfícies tem grande influência sobre seu comportamento de atrito. A texturização de superfícies é uma das técnicas mais amplamente utilizadas para modificar a topografia da superfície, assim, reduzir ou aumentar o atrito, dependendo das aplicações (LU et al., 2017). De acordo com Vlădescu et al. (2016), algumas das aplicações se beneficiam da redução do atrito, enquanto que outras podem se beneficiar do aumento. Por exemplo, espera-se que um pneu de carro permaneça firme sobre a estrada, especialmente em condições de umidade, por conseguinte, as bandas de rodagem sobre a superfície do pneu foram projetadas para conduzir a água para fora do contato entre pneu e estrada, e assim, evitar a derrapagem ou aquaplanagem (BHUSHAN, 2000).

De acordo com Hamilton, Walowit e Allen (1966) a história da utilização de texturas para aumentar a aderência pode ser observada desde o primeiro par de sapatos com solas estampadas, enquanto a utilização de texturização de superfície para reduzir o atrito provavelmente apenas começou em 1966 quando Hamilton propôs uma teoria para explicar a pressão hidrodinâmica adicional gerada por microirregularidades sobre vedantes mecânicos.

Comumente, uma superfície é descrita como o limite externo de um objeto, independentemente da profundidade das texturas na superfície. No entanto, ao descrever as superfícies de engenharia, deve-se notar que a profundidade das texturas na superfície também é importante, devido às suas propriedades físicas e químicas, bem como à sua eficiência. Dependendo do método de criação de texturas de superfície, ela pode variar de alguns microns a alguns nanômetros (AMINI; HOSSEINABADI; SAJJADY, 2016). Esse atributo da superfície determinado por três parâmetros de topografia, rugosidade superficial e ondulação é chamado de textura de superfície que é fundamentalmente importante no estudo de comportamentos tribológicos (ARNELL, 2010).

Os modelos propostos anteriores para estudar o atrito entre superfícies deslizantes em contato consideram apenas uma das duas superfícies como uma superfície rugosa aleatória sendo consideradas auto-correlacionadas. Mas se ambas as superfícies devem ser consideradas como superfícies rugosas, os efeitos recíprocos das duas superfícies ásperas também precisam ser considerados. Em outras palavras, a correlação das duas superfícies deve ser levada em conta, isso se deve ao fato de que diferentes superfícies possuem variações de rugosidade diferentes que afetariam suas áreas de contato o que influencia no coeficiente de atrito (NIKOOFARD; FARAHANI; JAFARI, 2014).

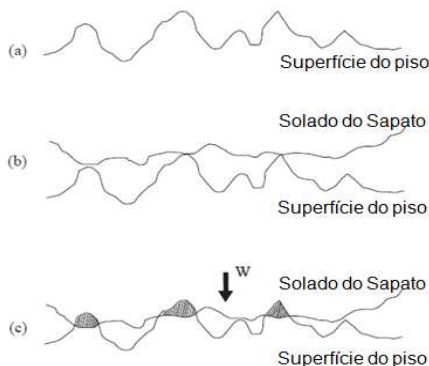
O mecanismo de atrito de contato entre superfície e borracha é significativamente diferente do que a de outros materiais sólidos. Uma série de pequenas asperezas/rugosidades que entram em contato com uma superfície sólida pode facilmente deformar-se devido à sua baixa elasticidade. Quando uma pressão normal suficientemente grande é aplicada, um contato total pode ser formado, tornando muito difícil prever e explicar esse tipo de comportamento (MAEGAWA; ITOIGAWA; NAKAMURA, 2015).

De acordo com Kim (2004), todas as superfícies têm rugosidade e a variação no perfil de superfície pode ser representada por uma disposição aleatória de picos e vales, como mostrado na Figura 15 (a). Quando duas dessas superfícies estão em contato, elas tocam apenas em áreas discretas onde suas asperezas estão em contato (MOORE, 1972). No caso do contato com o solado do sapato, o mecanismo geral pode ser modelado como a Figura 15 (c). O seu contato será um estado elasto-plástico e existirá um mecanismo de encravamento/bloqueio. O mecanismo de encravamento/bloqueio será rígido por uma série de



fatores, tais como a forma, o tamanho e as distribuições de rugosidades da sola do sapato e da superfície do piso, propriedades da superfície, carga normal, condições da superfície (seca ou lubrificada) e condições de deslizamento sob o qual os contatos ocorrerão.

Figura 15 - Descrições esquemáticas da natureza da superfície entre uma sola e superfície do piso e sua interação durante o contato estático



Fonte: Adaptado, (KIM, 2004)

Kim, (2004) criou um parâmetro para quantificar o mecanismo de correlação entre a rugosidade da sola do sapato e da superfície do piso conforme Eq.5:

$$CSR = \text{alturas da superfície do piso} - \text{alturas da superfície do sapato} \quad \text{Eq. 5}$$

De acordo com Kim (2004), se a série de alturas da rugosidade superficial estiver conectada, pode-se obter um comparativo da rugosidade da superfície. Utilizando esta concepção, Kim (2004) faz as seguintes considerações teóricas:

Se os perfis de rugosidade do sapato e da superfície do piso forem iguais, o comparativo da rugosidade da superfície deve ser linear e o valor comparativo da rugosidade é zero. Este fato implica que ambas as superfícies do sapato e do piso combinam 100%, embora haja uma pequena deformação que ocorre em cargas normais.

Quando a altura da superfície comparativa é inferior a zero, isso indica que existe um espaço entre o sapato e as superfícies de piso.

Inversamente, quando a altura comparativa da superfície é maior do que zero, há uma colisão superficial que ocorre entre o sapato

e as superfícies do piso nesse ponto, o que deve ser acompanhado por deformação plástica.

De acordo com os estudos desenvolvidos por Li et al. (2004), os quatro parâmetros Ra, Rtm, Rpm, Rq, apresentam grande correlação com o coeficiente de atrito medido nas condições de superfície úmida, e úmida com detergente.

De acordo com o estudo de Chang et al. (2010), para fins práticos, o parâmetro de superfície Ra por si só, representa o coeficiente de atrito medido mesmo que não atinja um nível estatisticamente significativo em alguns dos modelos de regressão.

A média aritmética das alturas da superfície (Ra) é comumente usada para avaliar a resistência ao escorregamento de uma superfície (LI et al., 2004). Stevenson et al. (1989) indicaram que o coeficiente de atrito dinâmico em condições contaminadas, aumenta quase linearmente com Ra.

Além de Ra, outros parâmetros de rugosidade também foram discutidos. Harris e Shaw (1988) relataram uma forte correlação entre o parâmetro Rtm e as opiniões dos usuários quanto à segurança ao escorregamento. Manning, Jones e Bruce (1990) e Manning e Jones (1994) relataram que os coeficientes de correlação entre o atrito medido e Rtm de superfícies de sapato foram de 0,64 e 0,757 para superfícies úmidas e oleosas, respectivamente. Chang (1998) e Chang (2001) também verificaram em seus estudos que existe uma forte correlação entre os valores de Rpm e o coeficiente de atrito estático medido.

De acordo com estudo de Chang (2004), três tipos de características geométricas da rugosidade superficial são identificadas como principais para que se tenha maior coeficiente de atrito:

- Rpm: representadas pela média da altura máxima acima da linha média em cada comprimento de corte;
- Da: a média aritmética da inclinação da superfície;
- Rk: profundidade de rugosidade.

Em estudos realizados por Sariisik (2009) com placas de mármore, foi observado, da mesma forma, que quanto maior a porosidade do mármore e, portanto, sua rugosidade, maior é o coeficiente de atrito medido e, portanto, maior a resistência ao escorregamento.

Li et al. (2004) observaram em seus estudos que a rugosidade do piso pode não ser um indicador apropriado da resistência ao

escorregamento sob condições oleosas com valores de coeficiente de atrito extremamente baixos.

Pesquisas com o medidor de rugosidade revelaram significantes correlações entre rugosidade superficial dos sapatos e o coeficiente de atrito medido (MANNING; JONES, 2001). Harris e Shaw (1988) descobriram que houve uma boa correlação entre as opiniões dos usuários sobre a segurança e os níveis de rugosidade registrados pelo instrumento de medição de rugosidade. Manning, Jones e Bruce (1990) mostraram que o aumento da rugosidade medida aumentou gradualmente o coeficiente de atrito em superfícies úmidas com água e que tanto a rugosidade como o coeficiente de atrito caíram após processo de polimento da superfície.

Existe evidência convincente de que o coeficiente de atrito em condições de piso úmido ou oleoso aumenta em paralelo com o aumento da rugosidade microscópica da sola do calçado, mas o aumento do coeficiente de atrito é influenciado por outras propriedades físicas dos materiais, como por exemplo, a dureza. A rugosidade máxima possível depende das características da sola do calçado e da superfície do piso. Portanto, não é possível, no momento, especificar um determinado nível de rugosidade para garantir a máxima segurança, mas a evidência experimental suporta a afirmação de que haverá um maior grau de resistência ao deslizamento em superfícies de grande rugosidade (MANNING; JONES, 2001).

A literatura mostra uma tendência geral de que o desempenho da resistência ao deslizamento melhora com a rugosidade da superfície do piso, no entanto, se as propriedades de resistência ao deslizamento estão linearmente correlacionadas com as topografias de superfície ou quais os níveis de rugosidade necessários para o desempenho efetivo da resistência ao deslizamento ainda não se tem conhecimento (KIM; HSIAO; SIMEONOV, 2013).

De acordo com Leclercq e Englert (2002), um problema relacionado a revestimentos com grande rugosidade é a restrição envolvendo limpeza, em lojas de processamento de alimentos orienta-se a seleção de pisos com superfícies lisas e impermeáveis com propriedades que reduzem a segurança relacionada ao deslizamento. No entanto, estudos recentes indicaram que a capacidade de limpeza do material do piso é um assunto mais complexo (RICHARDSON, 1996)

### 3.2.2 Rugosidade Piso x Ambiente

Os estudos de Kim, Hsiao e Simeonov (2013) demonstram que ocorre uma interação significativa entre a rugosidade superficial do piso e as condições do ambiente nos valores de coeficiente de atrito, os valores aumentaram significativamente nos tipos de piso com maior rugosidade superficial e foram drasticamente reduzidos na condição de superfície úmida coberta de sabão, em comparação com a superfície limpa e seca.

Estudos mostram que a rugosidade da superfície do piso parece proporcionar melhores efeitos sobre o desempenho da resistência ao deslizamento do que a rugosidade da sola do calçado porque a superfície do piso pode oferecer uma textura mais alta e mais resistente (KIM; SMITH; NAGATA, 2001), (KIM, 2004), (KIM, 2017).

Grönqvist et al. (1990) sugeriram que um Ra apropriado para uma resistência adequada ao deslizamento deveria ser de cerca de  $7\mu\text{m}$  a  $9\mu\text{m}$ . Li et al. (2004) realizaram medições de coeficiente de atrito em cinco condições e encontraram alta correlação ( $r > 0,9$ ) entre Ra e coeficiente de atrito nos pavimentos.

De acordo com UK Slip Resistance Group (2016), as medições de rugosidade podem ser úteis para identificar rapidamente locais onde possam existir diferenças na resistência ao deslizamento na condição úmida. Eles podem ser úteis na identificação da possível direcionalidade e no monitoramento do desgaste que também podem causar uma alteração na resistência ao deslizamento úmido.

A Tabela 4 mostra a classificação estabelecida pelo Guia de Resistência ao Escorregamento do Reino Unido utilizando o parâmetro Rz como referência. O guia também cita que o ideal seria avaliar a rugosidade por meio de medições ópticas, pois esse tipo de medição superaria algumas das limitações de um instrumento mecânico de medição de rugosidade.

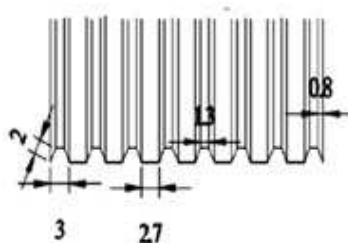
Tabela 4 – Potencial de escorregamento de acordo com a rugosidade Rz

Potencial de Escorregamento	Rugosidade Rz ( $\mu\text{m}$ )
Alto	Menor que 10
Moderado	Entre 10 e 20
Baixo	Maior que 20

Fonte: Uk Slip Resistance Group (2016)

O perfil de textura do piso, em relação à direção do movimento também tem influência no coeficiente de atrito medido, Liu et al. (2010) realizaram estudos com revestimentos de piso com sulcos por toda a superfície, conforme Figura 16. Quando o movimento ocorre perpendicularmente à direção dos sulcos os resultados de coeficiente de atrito medidos são os maiores, isso ocorre porque a sola do sapato utilizado no teste fica “aprisionada” nesses sulcos do piso, as bordas dos sulcos que entram em contato com a sola criam uma resistência ao movimento, este efeito de bloqueio mecânico aumenta o coeficiente de atrito. O mesmo efeito não ocorre quando o movimento ocorre paralelo às ranhuras.

Figura 16 - Piso com ranhura



Fonte: Liu et al., 2010

### 3.2.3 Tipo de sapato

Os estudos desenvolvidos por Kim, Hsiao e Simeonov (2013) mostram que no geral, os efeitos no coeficiente de atrito relacionados ao tipo de sapato utilizado são relativamente pequenos, em comparação com os relacionados à rugosidade da superfície do piso.

Por exemplo, quando a superfície da sola do sapato possui macrorrugosidades os vazios entre as rugosidades atuam como reservatórios para o líquido sob condições lubrificadas, e a distribuição do líquido em cada um desses reservatórios (macrorrugosidade) promove efeitos de drenagem locais e aumenta o contato direto da sola do sapato com a superfície do piso (KIM, 2017), (KIM, 2015), (KIM; HSIAO; SIMEONOV, 2013). Portanto, os padrões de macrorrugosidades são comumente projetados nas superfícies de solas de sapatos, mas tornam-se ineficazes rapidamente após serem usados (KIM; SMITH; NAGATA, 2001), (KIM, IJ, SMITH, 2003), (KIM, 2015), (KIM, 2016).

Entretanto, nos estudos de Manning et al. (1998), foi comprovado estatisticamente que a rugosidade da sola do sapato é um fator importante para o coeficiente de atrito.

Já Grönqvist (1995) mediu a resistência ao deslizamento usando sapatos novos e usados com diferentes padrões de piso. Seus resultados mostraram que os sapatos que eram um pouco usados tinham melhor resistência ao deslizamento do que os novos.

Com base em testes mecânicos, Tsai e Powers (2009) afirmam que sapatos de sola mais dura proporcionam menor coeficiente de atrito do que sapatos com solas macias.

De acordo com Chen, Jin e Lou (2012), apesar da resistência ao escorregamento estar ligada a diversos fatores, como já citado anteriormente, o calçado é um fator que pode ser melhor controlado, ou seja, a escolha de um calçado resistente ao escorregamento adequado é a uma das maneiras mais simples e eficazes para impedir escorregamentos e quedas.

De acordo com Chen, Jin e Lou (2012) diversos fatores podem interferir no potencial de resistência ao escorregamento de um calçado:

- Material de sola: A sola de borrachas naturais tem a melhor resistência ao escorregamento na superfície seca, ao passo que borracha nitrílica e de poliuretano têm o melhor desempenho de resistência ao escorregamento na superfície contaminada (molhada, oleosa e etc.) (GRÖNQVIST, 1995).
- Dureza da sola: quando a sola é mais mole, pode ser esperado o melhor desempenho de resistência ao escorregamento (KIM, NAGATA, 2008). Solas macias se deformam facilmente aumentando a área de contato (CHEN; JIN; LOU, 2012).
- Canal de drenagem: A orientação recomendada é de que a largura do canal da sola deve ser de pelo menos 2 mm e uma profundidade no interior entre 2 a 7 mm (SATRA, 2012). A função importante do canal é a de armazenar o contaminante que é “espremido” e drenam o contaminante para fora da sola, se o canal for muito pequeno e fino, o espaço pode não ser suficientemente largo para canalizar o fluido para as arestas exteriores da sola, potencialmente aumentando a possibilidade de um deslizamento (LI; CHEN, 2005).

### 3.2.4 Contaminante no ambiente

Estudos mostram que na maioria dos casos de acidentes relacionados a deslizamentos estes ocorrem quando há presença de contaminantes no chão: quando o chão está sujo em aproximadamente 80% dos casos (MANNING et al., 1988), (GRONQVIST, ROINE, 1993); está coberto com líquidos em 45% dos casos, por gelo ou neve em 15% (MANNING et al., 1988), (STRANDBERG; LANSHAMMAR, 1981)

Devido à grande influência de poluentes no coeficiente de atrito entre duas superfícies, as medições só devem ser feitas na presença de poluentes líquidos, pois escorregamentos são mais comumente observados quando um líquido está presente entre a sola do calçado e a superfície do chão (TRAVAIL ET SECURITE, 1969) (TRAVAIL ET SECURITE, 1972). Além disso, fenômenos tribológicos observados na interface entre a sola e a superfície dependem da presença ou ausência de um poluente (LECLERCQ; TISSERAND; SAULNIER, 1993).

Contaminantes sólidos podem ser comuns no chão, mas pouca informação tem sido publicada sobre a relação entre a rugosidade da superfície e o coeficiente de atrito de superfícies de pisos cobertos com contaminantes sólidos, já o líquido é um dos tipos de contaminantes mais comuns em superfícies de piso (CHANG, 2004).

Os resultados do estudo desenvolvido por Mills, Dwyer-Joyce e Loo-Morrey (2009) sugerem que o atrito adesivo é significativamente afetado por contaminantes particulados, enquanto o componente de deformação/histerese não é fortemente afetado. Os mesmos estudos mostram que uma superfície áspera/rugosa é capaz de lidar muito melhor do que uma superfície lisa com a presença de um contaminante em condições secas, o coeficiente de atrito medido de superfícies mais lisas é mais fortemente afetado pela contaminação do que em superfície mais rugosa.

O atrito adesivo entre um elastômero (sola de sapato) e uma superfície é o resultado de interações materiais em escala molecular, as interações eletrostáticas entre um elastômero e uma superfície são tipicamente fortes devido à sua estrutura de cadeia molecular e sua capacidade de se adequar a uma superfície correspondente. A adesão é particularmente forte no caso de materiais muito lisos, onde existe uma grande área de contato. A introdução de partículas contaminantes age separando o elastômero da superfície e se houver uma cobertura de partículas suficiente para evitar a deformação que permita o contato

entre partículas, há a possibilidade de que não exista nenhum contato entre o piso e o elastômero. Nestes casos, o coeficiente de atrito limitante será aquele entre as partículas e o piso, que pode ser significativamente inferior ao do elastômero, e se as partículas são suficientemente rígidas, a área de contato total entre o piso e a partícula também tem potencial para ser pequeno. Experimentos considerando variações na rugosidade da superfície sugerem que o atrito histórico é muito menos sensível à introdução de partículas contaminantes (MILLS; DWYER-JOYCE; LOO-MORREY, 2009).

A teoria tribológica sugere que dois mecanismos de lubrificação diferentes contribuem para eventos de deslizamento: lubrificação de camada limite (MOORE et al., 2012) (STROBEL et al., 2012) e lubrificação hidrodinâmica ((BESCHORNER et al., 2009), (CHANG et al., 2001). De acordo com Strobel et al. (2012), na lubrificação de camada limite, um líquido interrompe a adesão entre um sapato e uma superfície plana, mas não afeta a histerese entre as superfícies. Na presença de efeitos hidrodinâmicos, que ocorre nos regimes de lubrificação mista, elastohidrodinâmica e hidrodinâmica, o fluido abaixo da superfície do sapato torna-se pressurizado e faz com que a superfície do sapato e do piso se separem (BESCHORNER et al., 2009). Essa separação reduz a interação entre as superfícies e pode reduzir o atrito disponível para quase zero (BESCHORNER; SINGH, 2012).

De acordo com Chen et al. (2015) outro fator que influencia na resistência ao escorregamento é a viscosidade do líquido contaminante: quando o chão está contaminado com líquido, quanto maior a viscosidade do mesmo, maior será o tempo necessário para conectar a sola dos sapatos com o chão, portanto maior será o risco de escorregamento. Nesse estudo Chen et al. (2015) concluíram que não importa o quão áspero é o chão, o coeficiente de atrito se aproxima de zero, quando a viscosidade do líquido contaminante for maior do que 38 mPa.s.

De acordo com Leclercq, Tisserand e Saulnier (1993), os fenômenos observados na interface entre um elastômero deslizante e uma superfície rígida e poluída são muito complexos.

### 3.3. DESGASTE DE MATERIAIS CERÂMICOS

De acordo com Smithells (2004), o desgaste é a perda progressiva da substância da superfície de um corpo, que ocorre como resultado do movimento relativo na superfície. Os principais tipos de desgaste são o



desgaste abrasivo, desgaste adesivo, desgaste erosivo e desgaste corrosivo.

O fenômeno de desgaste é definido como a destruição e separação de partículas de materiais das superfícies de contato devido a fatores mecânicos. O desgaste adesivo e o desgaste abrasivo são dois mecanismos efetivos de desgaste. O desgaste adesivo ocorre por transferência de material de uma superfície para outra devido à adesão de duas superfícies durante a operação. A rugosidade de muitas superfícies é tal que, quando se contactam, apenas os pontos mais altos entram em contato e, portanto, suportam toda a carga. Ao longo do tempo ou aumentando a carga, os pontos inferiores das superfícies entram em contato devido à deformação plástica das rugosidades. Em outras palavras, o número de pontos de contato aumenta. Assim, enquanto se desliza, a taxa de adesão aumenta e a força adesiva danificará a superfície. O desgaste abrasivo ocorre quando partículas rígidas isoladas das superfícies em contato estão se movendo uma contra a outra. Este tipo de desgaste pode ser controlado por fatores como aumento da dureza das superfícies de contato e diminuição da rugosidade das superfícies (ARNELL, 2010) (BURAKOWSKI, WIERZGON, 1998), (COHEN, 2004).

Uma vez que o desgaste é uma resposta do sistema e não uma propriedade do material, a resistência ao desgaste pode variar dentro de uma vasta gama de diferentes mecanismos que são testados por diferentes condições de teste e métodos (ADACHI; HUTCHINGS, 2003).

A textura da superfície é considerada como um fator que influencia no deslocamento da estrutura da camada durante a operação de desgaste e controle de fricção. De acordo com as pesquisas realizadas até agora, pode-se inferir que a textura da superfície é estudada para avaliar o efeito sobre as propriedades tribológicas durante as condições de deslizamento (AMINI; HOSSEINABADI; SAJJADY, 2016).

Os comportamentos de fricção e desgaste das superfícies do piso são o resultado de muitos eventos locais e a natureza desses eventos é muito difícil de determinar. No entanto, a transferência de um material para a sua superfície parece ser uma característica crucial dos mecanismos de desgaste entre a superfície do piso e o solado de um sapato (KIM, 2016). Isso significa que a formação de filmes de transferência na superfície durante o deslizamento repetitivo desempenha um papel importante nos mecanismos de desgaste e fricção dos materiais (BAHADUR, 2000). Assim, pode-se considerar que os

produtos de desgaste transferidos são igualmente importantes para a compreensão dos comportamentos tribo-físicos das superfícies de piso (KIM, 2016). Em outras palavras, ao contrário de outras propriedades mecânicas, as propriedades de desgaste dos materiais não são intrínsecas, mas são específicas do sistema deslizante e são modificáveis pelas variáveis deslizantes (KIM, NAGATA, 2008), (KIM; HSIAO; SIMEONOV, 2013), (KIM; SMITH, 2000), (ZHAO; BAHADUR, 1999).

Kim (2004) estudou o desgaste de sapatos e de piso, e vários mecanismos inter-relacionados, como transferência de material e formação de filmes, também foram encontrados como fatores nos fenômenos de fricção e desgaste do sapato. As observações microscópicas tridimensionais mostram claramente que cada sapato e piso testado experimentou vários tipos de alterações e falhas superficiais que evoluíram ao longo de todo o teste. De modo geral o desgaste de cada amostra de piso mostrou transferências de material severas e formações de filme a partir de um estágio inicial de fricção. A partir deste estudo experimental, fica claro que existe relação entre os efeitos de desgaste e os resultados de resistência ao deslizamento.

Em seus estudos, Kim (2004) observou que inicialmente quando uma superfície de revestimento metálico é submetida ao desgaste ocasionado por calçados sua rugosidade é aumentada e conseqüentemente aumenta também o coeficiente de atrito da superfície, porém com o passar do tempo de testes ocorrem grandes reduções da propriedade de resistência ao escorregamento da superfície que parecem ser causadas por desgaste abrasivo contínuo, que trouxe grandes mudanças para a geometria da superfície dos solados de sapatos e da superfície do metal.

O mecanismo de fricção entre o calçado e as superfícies dos pisos tem características bastante peculiares e complexas por causa de suas propriedades materiais totalmente diferentes dos dois corpos. No entanto, um dos fatos mais importantes é que as características topográficas de ambas as superfícies estão mudando continuamente no processo de fricção e evolução de desgaste, portanto, é vital monitorar sistematicamente o estado da superfície dos dois corpos (KIM, 2004).

Nenhuma superfície de engenharia é ideal e completamente lisa, mesmo que seja polida perfeitamente. Portanto, quando duas superfícies estão em contato umas com as outras, apenas seus pontos altos entram em contato uns com os outros e devem suportar toda a carga, portanto, as tensões de contato locais serão altas mesmo em cargas relativamente

baixas (ARNELL, 2010). De acordo com Holmberg et al. (2007), o desgaste é o processo de desprendimento de material de uma superfície. O desprendimento de material pode ser devido a:

1) adesão + fratura, isto é o levantamento adesivo ou força de cisalhamento é tal que causa tensão elevada e tensões de cisalhamento na superfície que excedem a resistência do material e é formada uma fenda, resultando em crescimento de rachaduras e desprendimento de material, nesse processo partículas desprendidas das superfícies são formadas;

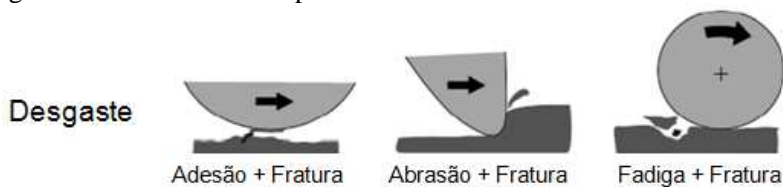
2) abrasão + fratura, isto é, uma superfície dura se move através de uma superfície mais macia e deforma-a na medida em que tais tensões elevadas principalmente de cisalhamento são formadas, essas tensões que excedem a resistência do material formam uma fenda que cresce, ocorre então a formação de fissuras e fratura do material, nesse caso também um resíduo de desgaste é formado;

3) fadiga + fratura, o carregamento compressivo da superfície a deforma na medida em que tais tensões elevadas, principalmente de cisalhamento, são formadas e excedem a resistência do material, uma fenda é então formada, resultando em crescimento de rachaduras e desprendimento de material, detritos de desgaste também são formados. O processo de formação de fissuras pode ocorrer durante um número de ciclos de carga.

Por definição, o uso sempre inclui remoção de material. Normalmente a fratura é um termo que descreve falhas em massa de materiais frágeis. Aqui, o termo é entendido mais amplamente como um processo a partir da perda de coesão entre as estruturas de ligação no material, continuando como propagação de fissuras e resultando em liberação de detritos da superfície (HOLMBERG et al. 2007).

A Figura 17 ilustra os mecanismos citados:

Figura 17 - Processo de desprendimento de material



Fonte: Adaptado, (HOLMBERG et al. 2007)

### 3.3.1 Desgaste Abrasivo

O desgaste abrasivo é causado por asperezas de superfícies em contato que se movem em sentidos opostos, ou por partículas existentes entre duas superfícies que se deslocam em direções opostas. Taxas de abrasão variam consideravelmente para abrasivos de diferente dureza, tamanho e forma. As taxas de desgaste aumentam aproximadamente de forma linear com o aumento da carga aplicada por unidade de área. A equação de desgaste de Archard, expressa na Eq.6, é muitas vezes utilizada para estimar a taxa de desgaste de materiais de engenharia:

$$V = K \cdot \frac{L}{H} \quad \text{Eq. 6}$$

Onde:

$V$ : perda de volume (mm<sup>3</sup>/unidade deslizamento);

$K$ : coeficiente de desgaste (adimensional);

$L$ : carga normal (N);

$H$ : dureza Vickers.

### 3.3.2 Desgaste Erosivo

O desgaste erosivo ocorre devido ao impacto de um fluxo de partículas sólidas, depende em grande parte do tamanho, dureza, velocidade e ângulo de impacto das partículas. A taxa de desgaste geralmente aumenta com o aumento do tamanho de partícula, angularidade, dureza e velocidade do impacto.

Segundo Novelli (2004) erosão refere-se a uma série de partículas sólidas golpeando uma superfície, enquanto abrasão é o resultado do deslizamento de partículas abrasivas ao longo de uma superfície sob ação de uma força aplicada. A distinção fica mais clara se for levado em conta que, em erosão, a força associada às partículas relaciona-se à diminuição da velocidade delas, quando no impacto, esta vai reduzindo ao longo de todo o contato com a superfície, enquanto que na abrasão a força aplicada é externamente e é aproximadamente constante durante o processo.

Já os materiais cerâmicos, que apresentam comportamento frágil, têm grande tendência à formação de trincas e microfissuras, fazendo

com que a remoção do material erodido ocorra pela interligação de trincas que divergem do ponto de choque da partícula com a superfície (BALL, 1986).

Existem variáveis de maior importância para que ocorra o desgaste erosivo, sendo estas: tamanho, natureza, massa da partícula, tipo e velocidade do fluxo e ângulo de impacto. A resistência à erosão de uma superfície ainda depende da estabilidade no meio, e de suas propriedades físicas e mecânicas (BALL, 1986).

### 3.3.3 Relação entre Desgaste e Coeficiente de atrito

De acordo com Blau, (2001) a energia que se transforma como consequência do contato de fricção pode ser armazenada no tribosistema ou dissipada de várias maneiras diferentes.  $E_f$  é a energia resultante do contato deslizante,  $E_{out}$  é a energia que deixa o tribosistema, e  $E_{st}$  é a energia restante no tribosistema, de acordo com a Eq.7:

$$E_f = E_{out} + E_{st} \quad \text{Eq. 7}$$

Por exemplo, a energia mecânica do deslizamento pode ser convertida em calor, vibrações (como o som), a deformação do material ou a criação de novas superfícies (por fratura). Da mesma forma, pode ser armazenada no material como energia associada a defeitos microestruturais. Portanto, dois materiais que exibem o mesmo coeficiente de fricção podem exibir taxas de desgaste bastante diferentes porque a energia é dividida de forma diferente entre e dentro dos materiais (DOWSON, 1998).

Calçadas, passarelas, e qualquer local que estará submetido ao trânsito de pedestres devem ser construídos para fornecer segurança às pessoas, esses locais devem oferecer excelente resistência ao deslizamento ao longo de toda sua vida útil (KIM, 2017). Para Kim (2017) o suporte e o controle das propriedades de resistência ao deslizamento das superfícies do piso são necessários. Ou seja, com as caminhadas repetidas, as superfícies finais de pavimentos e calçadas parecem sofrer mudanças consideráveis devido ao envelhecimento dos materiais de revestimento, desgaste, sujeidade e manutenção (LECLERCQ; SAULNIER, 2002), (KIM; SMITH, 2000). Como resultado, as funções de resistência ao deslizamento dos pavimentos e dos revestimentos de piso deterioram-se ao longo do tempo (KIM, 2017).

Derler, Kausch e Huber (2005) investigaram o comportamento do coeficiente de atrito para vários revestimentos de piso e diferentes locais de teste ao longo de um período de 30 meses, a fim de estudar os efeitos a curto e em longo prazo do uso e da manutenção. Verificou-se que a abrasão mecânica e o uso de produtos de manutenção levam à redução contínua da resistência ao deslizamento, resultado típico de muitas superfícies de piso em uso.

Estes resultados são confirmados por estudos de campo em que o atrito do piso foi investigado em diferentes locais de teste, o desgaste mecânico, a sujeira e a manutenção afetam fortemente a resistência ao deslizamento e a interação complexa desses fatores pode levar a variações locais consideráveis das propriedades da superfície (CHANG; COTNAM; MATZ, 2003), (CHANG et al., 2008), (LI et al., 2004).

O estudo realizado por Derler et al. (2015), mostrou que o desgaste mecânico produzido pelo trânsito de pedestres durante um período de um ano afetou a resistência ao deslizamento das diversas superfícies de diferentes maneiras e em graus variados. Considerando que as medidas de coeficiente de atrito em superfícies rugosas (resistentes ao escorregamento) geralmente diminuíram com o tempo, foram observadas tendência de aumento para superfícies relativamente lisas.

De acordo com Derler et al. (2015), em muitos casos, as medidas temporais de coeficiente de atrito foram caracterizadas por mudanças pronunciadas durante uma fase inicial curta, seguida de uma fase de valores que mudaram lentamente. Observações semelhantes foram relatadas por Leclercq e Saulnier (2002), que investigaram a resistência ao deslizamento em indústrias em períodos variando de 6 a 12 meses.

Para uma superfície áspera com rugosidade em forma de cone ou pirâmide que é submetida a um desgaste mecânico constante, espera-se que a abrasão superficial seja mais eficiente no estágio inicial quando o material exposto no topo da superfície é abrasivo. As mudanças superficiais topográficas rápidas e os fortes efeitos sobre as propriedades de fricção estão associados a esta fase inicial (DERLER et al., 2015).

De acordo com estudo desenvolvido por Derler (2015), a análise mostrou que o mecanismo de desgaste predominante em superfícies lisas são arranhões na rugosidade da superfície. Para superfícies rugosas, os mecanismos típicos de desgaste encontrados foram o desgaste da superfície e abrasão de grânulos. A penetração de partículas duras em um substrato mais mole parece ser o resultado em longo prazo de cargas de pressão cíclica proporcionadas pelo trânsito de pedestres. As

deformações cíclicas devido a picos de pressão locais em combinação com o envelhecimento e a fadiga do material não só poderiam representar um mecanismo importante de danos e desgaste superficial para produtos resistentes ao escorregamento com grânulos, mas geralmente para revestimentos de polímeros e revestimentos de piso resilientes, independentemente da sua estrutura de superfície (DERLER, KAUSCH E HUBER, 2002)

Em estudo realizado por Kim e Smith (2000), a rugosidade de um piso foi avaliada antes e após processo de desgaste, os resultados indicam que a altura da rugosidade e a profundidade média foram significativamente reduzidas após os testes de desgaste, as análises também mostraram que os parâmetros da superfície sofriam grandes variações inicialmente, mas posteriormente, essas mudanças foram menos intensas. Este resultado mostrou que as propriedades de resistência ao deslizamento foram grandemente influenciadas pela maneira como a geometria da superfície do chão foi modificada.

Durante o deslizamento relativo, características geométricas de ambas as superfícies (piso e solado de sapato) mudarão durante o processo de desgaste e continuamente as propriedades de superfície de ambos os corpos irão se modificar. Por isso, as condições de contato originais de ambos os corpos serão significativamente alteradas e, por conseguinte, afetarão o desempenho global da resistência ao escorregamento (KIM; SMITH, 2000).

Portanto existem duas opções para a manutenção de resistência deslizante adequada e prevenção de acidentes de escorregamento. A geometria da superfície do piso deve ser projetada e mantida regularmente ou deve ser produzida uma superfície de sapato que não mude com o desgaste (KIM; SMITH, 2000). Mas sabe-se que em condições reais de uso essas duas alternativas não são possíveis.

Até mesmos os processos de manutenção, limpeza das superfícies podem colaborar para modificação do coeficiente de atrito, de acordo com estudos conduzidos por Brough, Malkin, Harrison (1979) os depósitos orgânicos e inorgânicos de agentes de limpeza podem contribuir para uma redução do coeficiente de atrito e depósitos inorgânicos podem persistentemente permanecer na superfície mesmo depois da remoção de compostos orgânicos.

O mesmo pode ocorrer com os materiais dos solados dos calçados, de acordo com o estudo conduzido por Kim e Smith (2000), foi observado que resíduos provenientes do solado dos calçados podem ficar aderidos à superfície do piso e modificar o seu padrão de

rugosidade, à medida que o deslizamento ocorre, os vales parecem ser preenchidos com materiais poliméricos dos solados.

Com o uso, os pisos são submetidos a ataques físicos e químicos, especialmente resultantes de tráfego de pessoa e de operações de limpeza. Essas formas de ataque podem alterar o estado da superfície do piso e, desse modo, a sua resistência ao deslizamento (LECLERCQ; SAULNIER, 2002). Em várias ocasiões sucessivas, Wildbrett e Sauer (1992) colocaram leite em contato com superfícies de aço e plástico e depois as limpavam, a sujeira residual (gordura e proteínas) foi quantificada após cada limpeza. Os autores observaram um acúmulo desta sujeira até atingir um valor constante, este fenômeno "incrustante", que ocorre em uma superfície em contato com produtos alimentares e é estabilizado, pode ser considerado como a formação de um filme invisível que se adere e permanece presente na superfície, apesar das operações de limpeza.

Em outro estudo desenvolvido por Leclercq e Saulnier, (2002), o coeficiente de atrito bem como a rugosidade superficial foram determinados no decorrer do uso de diferentes revestimentos assentados em diferentes áreas. Quando o piso foi submetido a alguns dias de atividade, o coeficiente de atrito permaneceu relativamente estável na maioria das áreas em estudo, quando o piso é novo, o coeficiente de atrito na presença de água é sempre maior do que quando as medidas subsequentes são realizadas após a utilização da área. Nesses mesmos testes não se observou grande alteração da rugosidade no decorrer do tempo, porém a redução do coeficiente de atrito pode ser explicada pela incrustação de gordura.

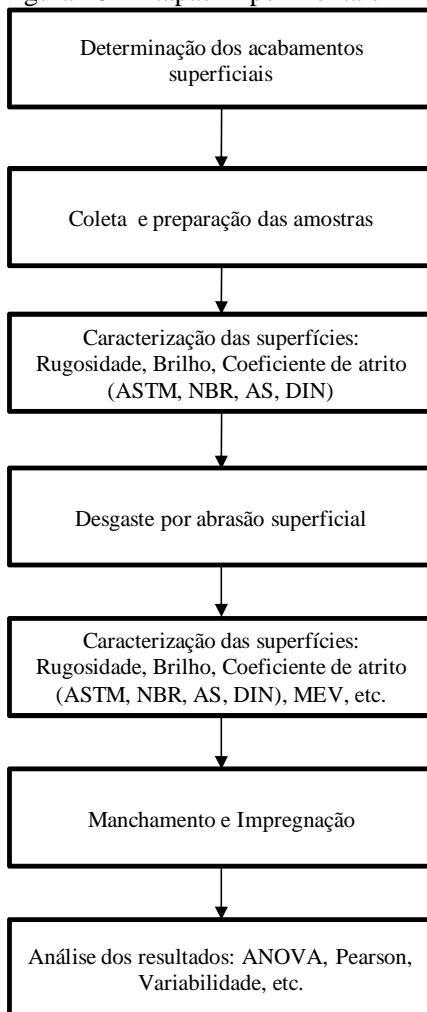
Para reduzir os problemas de segurança associados às mudanças de superfície e à baixa resistência ao deslizamento de revestimentos de piso, vários tratamentos para aumentar a resistência e produtos estão disponíveis no mercado. Dependendo do material do piso e da situação local, as medidas incluem grades e tapetes, tratamentos químicos, tratamentos mecânicos, tratamentos a laser, revestimentos e a aplicação de filmes adesivos (SKIBA, 1996).



#### 4. METODOLOGIA

Para atender ao objetivo do trabalho, o mesmo foi dividido em algumas etapas que estão descritas no fluxograma expresso na Figura 18, e que serão melhor explicados no decorrer deste capítulo.

Figura 18 – Etapas Experimentais



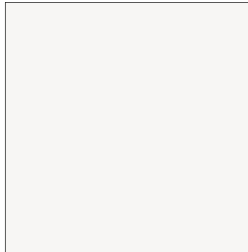
Fonte: Autora, 2019

#### 4.1 DETERMINAÇÃO DAS SUPERFÍCIES

Foram selecionadas nove superfícies de placas cerâmicas de uso em piso e duas superfícies de pedra natural. As características das superfícies são as seguintes:

- Placa cerâmica esmaltada brilhante: trata-se de uma superfície esmaltada. Em geral, esse tipo de superfície é composta por esmaltes mais moles, e portanto ela é mais susceptível à mudança na sua aparência quando submetida a algum processo de desgaste. A Figura 19 mostra essa superfície utilizada nos testes.

Figura 19 – Superfície Brilhante



Fonte: Catálogo Eliane, 2018

- Placa cerâmica esmaltada acetinada: trata-se de uma superfície esmaltada. Possui esmalte um pouco mais duro que os brilhantes. A Figura 20 mostra essa superfície de teste:

Figura 20 – Superfície Acetinada

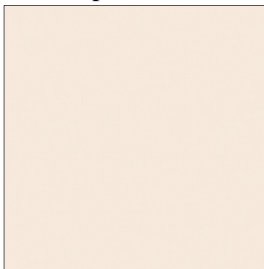


Fonte: Catálogo Eliane, 2018

- Placa Cerâmica Técnica Polida: superfície de porcelanato sem esmalte, que passa por processo de polimento o qual confere

brilho à superfície. Por se tratar de uma superfície sem esmalte, tende a possuir maior resistência. A Figura 21 mostra essa superfície:

Figura 21 – Superfície Técnica polida



Fonte: Catálogo Eliane, 2018

- Placa cerâmica esmaltada polida: superfície de porcelanato polido com esmalte. Diferente da superfície citada anteriormente, essa superfície possui esmalte, que após o processo de queima passa por um processo de polimento. A Figura 22 mostra essa superfície de teste:

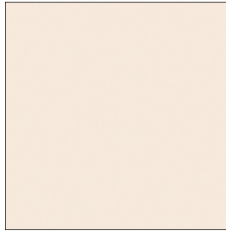
Figura 22 – Superfície Esmaltada polida



Fonte: Catálogo Eliane, 2018

- Placa cerâmica natural: trata-se de um porcelanato sem esmalte. Produto com maior resistência ao desgaste por não possuir esmalte sobre a sua superfície. Não possui elevado brilho como nas superfícies polidas, devido a isso o seu desgaste é menos percebido. A Figura 23 mostra essa superfície de teste:

Figura 23 – Superfície Técnica natural



Fonte: Catálogo Eliane, 2018

- Placa cerâmica natural decorada: trata-se de um porcelanato sem esmalte. Assim como na descrição da superfície anterior, essa superfície possui maior resistência ao desgaste, porém nesse caso a superfície passou por um processo de decoração com sal solúvel. A Figura 24 mostra essa superfície de teste:

Figura 24 – Superfície Técnica natural decorada



Fonte: Catálogo Eliane, 2018

- Placa cerâmica esmaltada com cobertura: trata-se de uma superfície esmaltada na qual antes do processo de queima e após a decoração, é aplicada uma cobertura que é composta principalmente de coríndon, com objetivo de tornar a superfície mais rugosa e conseqüentemente mais áspera. A Figura 25 mostra essa superfície de teste:

Figura 25 – Superfície com cobertura de coríndon



Fonte: Catálogo Eliane, 2018

- Placa cerâmica esmaltada com cobertura e relevo: trata-se de uma superfície esmaltada na qual antes do processo de queima e após a decoração, é aplicada uma cobertura que é composta principalmente de coríndon, com objetivo de tornar a superfície mais rugosa e conseqüentemente mais áspera, além disso, a superfície possui um relevo bastante acentuado. A Figura 26 mostra essa superfície de teste:

Figura 26 – Superfície com cobertura de coríndon e relevo



Fonte: Catálogo Eliane, 2018

- Placa cerâmica esmaltada granilhada: consiste em uma superfície esmaltada na qual é aplicada uma cobertura de granilha (vidro moído) após o processo de decoração e anterior à queima, o objetivo dessa aplicação é aumentar a rugosidade da superfície e conseqüentemente, torná-la mais áspera. A Figura 27 mostra essa superfície de teste:

Figura 27 – Superfície granilhada



Fonte: Catálogo Eliane, 2018

- Pedra Natural Miracema: pedra natural muito utilizada para revestimentos de piso e paredes externas. A Figura 28 mostra essa superfície de teste:

Figura 28 – Miracema



Fonte: Autora, 2019

- Pedra Natural Granito: pedra natural polida muito utilizada para revestimentos de piso interno. A Figura 29 mostra essa superfície de teste:

Figura 29 – Granito Polido



Fonte: Autora, 2019

#### 4.2 COLETA DE AMOSTRAS

As amostras de revestimentos cerâmicos foram coletadas no estoque da empresa Eliane Revestimentos Cerâmicos e as amostras de pedras naturais foram compradas em lojas de materiais de construção. A quantidade coletada foi de aproximadamente 15 m<sup>2</sup> de cada superfície, considerando possíveis perdas.

Para a realização dos testes as amostras foram cortadas em formato de 18 cm x 5 cm e 13 cm x 10 cm, formato adequado para realizar o procedimento de desgaste que será descrito a seguir. O corte das amostras foi realizado em disco de corte industrial.

#### 4.3 CARACTERIZAÇÃO DAS SUPERFÍCIES

Após preparação as amostras foram submetidas a uma série de ensaios de caracterização superficial. Os testes são: determinação do

coeficiente de atrito seguindo o método especificado pela NBR 13818, determinação do coeficiente de atrito seguindo o método especificado pela ANSI A.137, determinação da resistência ao escorregamento seguindo o método especificado pela AS 4586, determinação do ângulo de escorregamento de acordo com DIN 51097 e DIN 51130, determinação do brilho da superfície, determinação de parâmetros de rugosidade superficial, análise microestrutural por microscópio eletrônico de varredura, e resistência ao manchamento.

A maioria dos ensaios de caracterização superficial foi realizada antes e após o desgaste das superfícies. Nas determinações de coeficiente de atrito/Resistência ao escorregamento com diferentes métodos, brilho e rugosidade foram avaliadas três amostras de cada superfície, já a análise microestrutural foi realizada com uma amostra.

A determinação do ângulo de escorregamento foi realizada apenas com a amostra sem passar pelo processo de desgaste devido à necessidade de grande área de teste para realização do ensaio.

A seguir são descritos os principais procedimentos de caracterização das superfícies.

#### **4.3.1 Coeficiente de atrito - NBR 13818**

O ensaio consiste basicamente de um carrinho que percorre um comprimento da superfície de teste e por meio de sensores acoplados a uma borracha irá determinar o coeficiente de atrito entre essa borracha padrão e a superfície cerâmica. O sistema de medição é similar ao do Tortus explicado anteriormente.

Para realização do teste foram utilizados os seguintes materiais e equipamentos:

- Equipamento DS - Dynamic Slip - com velocidade do deslizamento 1,7 cm/s, marca Gabrielli;
- Tensoativo tipo Triton X - 100 (12 gotas para 1000 mL de água potável);
- Borracha com dureza de 72 shore padronizada;
- Peso da carga normal aplicada de 200 g;
- Álcool etílico comercial;
- Flanela;
- Lixa de 400 grãos.

Na Figura 30 se apresenta a ilustração fotográfica do equipamento que foi utilizado. As amostras foram limpas e deixadas sem contaminação, utilizando álcool e flanela. Realizou-se inicialmente a calibração no equipamento e após a calibração, o mesmo foi posicionado sobre a superfície de teste e acionado de forma que ele percorresse a superfície. Ao final do percurso fez-se a leitura do resultado do coeficiente de atrito medido em seu display digital.

As amostras foram ensaiadas 3 vezes a seco e três vezes a úmido (solução de água + tensoativo), a cada trajeto percorrido pelo aparelho, realizou-se a limpeza do deslizador com o auxílio de uma lixa. Para umedecer as peças utilizou-se um frasco borrifador com a água na qual foi dissolvido o tensoativo, de maneira a formar uma película de água.

Os ensaios foram repetidos 5 vezes em cada amostra, tanto na condição a seco quanto na condição a úmido para se conseguir uma melhor análise de desvio padrão das medidas. O percurso percorrido pelo equipamento foi sempre no centro da amostra.

Figura 30 – Equipamento DS - Dynamic Slip



Fonte: Autora, 2019

#### 4.3.2 Coeficiente de atrito – ANSI A137.1

Para realização do teste utilizaram-se os seguintes equipamentos e materiais:

- BOT – 3000E Digital, marca Regan Scientific Instruments;
- Placa padrão;
- Massa de verificação;
- Deslizadores de Neolite;
- Lixa de 400 grãos;



- Solução de Água deionizada e Lauril Sulfato de Sódio 0,05%;
- Dispositivo de preparação dos deslizadores;
- Álcool etílico comercial;
- Flanela.

O BOT 3000 consiste de um carrinho acionado por motor alimentado por bateria que possui como deslizador ou “pé de teste” uma borracha denominada Neolite que se move a uma velocidade variando entre 0,2 m/s e 0,23 m/s. A Figura 31 mostra o equipamento que foi utilizado nos ensaios:

Figura 31 – Equipamento BOT



Fonte: Autora, 2019

Antes de utilizar o equipamento verificou-se o mesmo por meio de uma massa padrão. Esse processo consiste em uma pré calibração do equipamento.

Para realização do ensaio, as amostras foram limpas e isentas de contaminação, com álcool e flanela. A borracha Neolite foi preparada antes de realizar o ensaio utilizando-se um conjunto composto por um disco e uma lixa.

A medição de coeficiente de atrito dinâmico foi selecionada no equipamento, e o mesmo foi então posicionado sobre a superfície de teste e acionado de forma que ele percorresse a superfície. Ao final do percurso leu-se o resultado do coeficiente de atrito medido em seu display digital.

Para a condição a úmido o ensaio requer uma nova verificação em uma placa padrão, o equipamento deve percorrer a placa padrão e

deve apresentar resultado de coeficiente de atrito dinâmico entre 0,28 e 0,31, caso não se obtenha esses valores, a borracha Neolite deve novamente ser preparada.

O percurso do equipamento foi repetido 5 vezes, sempre no centro da amostra. Para umedecer as peças foi utilizado um frasco borrifador de maneira a formar uma película de água. O resultado final foi expresso como a média aritmética das quatro medições.

Os testes foram repetidos 5 vezes em cada amostra, tanto na condição seca quanto na condição úmida para que se conseguisse uma melhor análise de desvio padrão das medidas.

#### **4.3.3 Coeficiente de atrito - AS 4586**

Para realização do teste foram necessários os seguintes equipamentos e materiais:

Pêndulo de Fricção digital marca Munro;

- Borracha 55 e 96;
- Placas padrões de calibração;
- Água;
- Flanela.

O equipamento que foi utilizado é mostrado na Figura 32.

O pêndulo foi colocado sobre uma superfície rígida e os parafusos de nivelamento foram ajustados. O pêndulo passou por um processo de ajuste de zero, que consiste em verificar se o mesmo, quando oscilando livremente, atinge o zero na escala.

Após essa pré calibração, a borracha do patim foi preparada com lixa e verificada nas superfícies de teste especificadas pelo manual do fabricante. Essa verificação consiste em realizar o ensaio nas superfícies padrão de vidro, película polimérica e placa cerâmica padrão. Essas superfícies possuem valores específicos que devem ser observados nos ensaios realizados. Caso não se obtenha esses valores específicos nos ensaios de qualquer uma das superfícies de teste, a preparação da borracha em lixa deve ser refeita.

Figura 32 – Equipamento Pêndulo Munro



Fonte: Autora, 2019

Para realização do ensaio nas superfícies cerâmicas de teste, posicionou-se a peça e realizou-se o ajuste da distância que a borracha do pêndulo entra em contato com a superfície cerâmica. Essa distância é padronizada e deve ser de 124 mm e a adequação dessa distância é realizada por meio do ajuste da altura do pêndulo. Essa é uma etapa de extrema importância, pois pode influenciar diretamente nos resultados.

Após todos os ajustes e pré verificações, o pêndulo deve ser solto, de forma que a borracha do patim do mesmo entre em contato com a superfície cerâmica.

A posição alcançada pelo pêndulo é exposta no display do equipamento.

Os testes foram repetidos 5 vezes em cada amostra, sempre no centro da mesma, tanto na condição seca quanto na condição úmida para conseguir uma melhor análise de desvio padrão das medidas, apesar da norma em questão especificar que se deve considerar apenas 3 resultados.

#### **4.3.4 Coeficiente de atrito - DIN**

O teste de rampa foi realizado de duas formas, seguindo a DIN51097 e DIN 51130, o ensaio consiste de mensurar o ângulo de escorregamento de uma pessoa que caminha sobre a superfície de teste em uma rampa. A pessoa se move para trás e para a frente numa posição vertical sobre uma rampa de ângulo variável. A rampa é repetidamente ajustada até o menor ângulo em que a caminhada da pessoa se torna instável.

O teste na rampa foi realizado apenas com o revestimento cerâmico nas condições originais, ou seja, sem o desgaste, uma vez que o ensaio requer uma grande área de teste.

#### 4.3.5 Determinação do brilho superficial

O equipamento utilizado é conhecido apenas como medidor de brilho da marca Glossmeter. Para realizar a medição do brilho a superfície em avaliação foi limpa com álcool etílico e flanela de algodão. O medidor de brilho foi previamente calibrado por meio de duas placas padrões que acompanham o equipamento, uma de superfície mate e outra brilhante. A medição é realizada na angulação de 60°, para realizar a medida basta posicionar a abertura da base do equipamento sobre a superfície em que se deseja medir. O equipamento retornará em seu display o valor do brilho expresso em UB (unidades de brilho). Três medições foram realizadas. O brilho da amostra é a média aritmética das três medições. O equipamento é mostrado na Figura 33:

Figura 33 – Medidor de Brilho



Fonte: Autora, 2019

#### 4.3.6 Rugosidade

As medições de rugosidade foram realizadas por meio de perfilômetro de contato mecânico, com rugosímetro sj 210 Mitutoyo, apresentado na Figura 34.

Em cada amostra foram realizadas 6 medidas de rugosidade. A norma utilizada para a determinação da rugosidade foi a ISO 4288:1997.

Os seguintes parâmetros foram avaliados, e as definições seguem o manual Mitutoyo (2018), a figura 35 mostra a representação gráfica dos parâmetros:

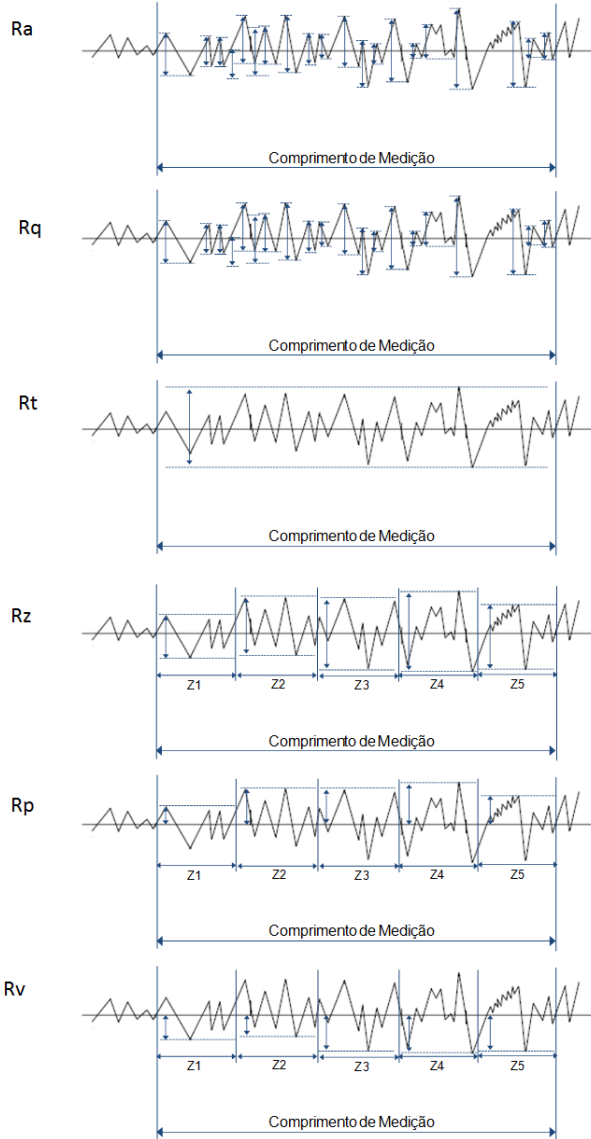
- Ra: é a média aritmética dos valores absolutos dos desvios do perfil de avaliação a partir da linha média;
- Rq: é a raiz quadrada da média aritmética dos quadrados dos desvios a partir da linha média do perfil de avaliação;
- Rz: É a média aritmética dos 5 valores da rugosidade parcial Zi. A rugosidade parcial Zi é definida como a soma dos valores absolutos das ordenadas dos pontos de maiores afastamentos (acima e abaixo da linha média) existentes dentro de um comprimento de amostragem;
- Rp: é a média aritmética de 5 segmentos, o percurso de medição é dividido em 5 partes, esses segmentos representam a distância entre o pico mais alto em relação à linha média;
- Rv: é a média aritmética de 5 segmentos, o percurso de medição é dividido em 5 partes, esses segmentos representam a distância entre o vale mais baixo em relação à linha média;
- Rt: é a soma da distância do pico mais alto em relação à linha média e a distância da base mais baixa em relação à linha média, dentro do comprimento de avaliação.

Figura 34 – Rugosímetro



Fonte: Autora, 2019

Figura 35 – Parâmetros de Rugosidade



Fonte: Autora, 2019

### 4.3.7 Colorimetria

A colorimetria foi realizada com espectrofotômetro da marca Konica Minolta, por meio do qual foram determinadas as coordenadas colorimétricas de cada amostra por meio do sistema CieLab. As medições foram realizadas por três vezes em cada amostra. A Figura 36 mostra o espectrofotômetro utilizado:

Figura 36 – Colorímetro Konica Minolta



Fonte: Autora, 2019

É importante salientar que algumas das superfícies avaliadas possuem grande variação de cor, em especial as pedras naturais, dessa forma, nesses casos é possível que não se tenha uma análise colorimétrica satisfatória.

### 4.3.8 Análise microestrutural

A análise microestrutural da superfície dos corpos de prova cerâmicos e de pedras naturais investigados foram efetuadas por microscopia eletrônica de varredura – MEV, utilizando-se um equipamento Zeiss EVO-MA10 pertencente ao IDT/UNESC.

Amostras da superfície desgastada foram avaliadas com microscopia em três diferentes estágios de desgaste e na superfície original, buscando evidenciar o que acontece a nível de superfície (esmaltada, polida ou natural).

### 4.3.9 Resistência ao Manchamento

A fim de verificar a capacidade de reter sujeiras que as amostras de teste possuem, em especial após o processo de desgaste, as amostras foram submetidas ao ensaio de manchamento, seguindo procedimento

descrito pela ISO 10545-14, em que as amostras devem ser submetidas ao contato com agentes manchantes, verde de cromo, óleo de oliva e iodo alcoólico por 24 h, em seguida os agentes são removidos da superfície por uma série de processos de limpeza, com água quente, detergente neutro, pasta abrasiva e solução de ácido clorídrico. A retenção dos agentes na superfície foi avaliada visualmente após cada um dos processos de limpeza.

Outro procedimento realizado para avaliar a capacidade de retenção de sujeira da superfície foi submeter as superfícies aquecidas a uma mistura de vaselina e corante preto. A vaselina em contato com a superfície quente conduz o corante para o interior da porosidade das superfícies. Após limpeza em água fria, a capacidade de retenção do corante foi avaliada visualmente.

#### **4.3.10 Determinação da profundidade de relevo**

A análise da profundidade do relevo foi realizada apenas na superfície que possui relevo, através de leitura por escaneamento a laser com braço de medição Edge marca Faro. O software utilizado para obtenção dos dados foi o Measurement Faro, o equipamento é mostrado na Figura 37:

Figura 37 – Braço de medição Edge



Fonte: Autora, 2019



### **4.3.11 Determinação da resistência ao escorregamento**

O teste foi realizado com intuito de avaliar na prática quais das superfícies avaliadas possui melhor desempenho quanto à resistência ao escorregamento.

O teste consistiu em formar uma pista plana de dimensões mínimas de 500 mm x 3000 mm com a superfície que se avaliou. Limpou-se a superfície das peças antes de serem ensaiadas com pano e álcool etílico comercial. Um fluxo de água foi inserido sobre a superfície da pista e um indivíduo caminhou sobre as peças úmidas com os pés descalços. Optou-se por realizar o teste com pés descalços para eliminar a possível variabilidade do calçado.

O teste foi realizado por três pessoas diferentes que estabeleceram uma escala de resistência ao escorregamento dos produtos, variando do menos resistente, que oferece menos segurança, para o mais resistente.

## **4.4 DESGASTE**

Inicialmente foi desenvolvida uma metodologia para proporcionar o desgaste sobre a superfície do revestimento cerâmico, a abordagem foi imitar a realidade de uso de um revestimento cerâmico, porém no decorrer das análises exploratórias de desgaste foi verificado que apesar de bem delineado, a superfície das amostras de teste levariam um tempo muito grande para de fato desgastarem.

Devido a isso se optou por utilizar um abrasímetro para realizar o desgaste da superfície de acordo com o especificado pela ISO 10545-7.

### **4.4.1 Sistema desenvolvido**

A Figura 38 mostra o equipamento de desgaste que foi previamente utilizado no trabalho, o equipamento é denominado equipamento de movimento recíproco marca Unisinos, o mesmo possui um braço que realiza movimentos recíprocos de vai e vem sobre uma superfície. Nesse braço foi acoplado em um primeiro momento uma borracha, e em um segundo momento uma borracha que possuía em sua composição coríndon. Na ocasião em que foi utilizada a borracha sem coríndon, introduziu-se na interface entre a borracha e a superfície de teste quartzo.

Nos dois casos foi aplicada uma carga de 20 kg com o objetivo de simular o solado de um sapato.

A amostra de teste foi posicionada sob a borracha, que com uma carga de 20 kg atritava a superfície de teste, com movimentos de vai e vem. O inconveniente encontrado nesse teste é que apesar do movimento intenso e mesmo após mais de 1 h de teste não se obteve mudança na superfície do revestimento cerâmico.

Figura 38 – Equipamento de movimento recíproco



Fonte: Autora, 2019

Além disso, a metodologia desenvolvida mostrou outros pontos desfavoráveis como, por exemplo, o rápido aquecimento da borracha que acabou por inviabilizar o teste.

#### 4.4.2 Abrasímetro

Em virtude do insucesso do método desenvolvido, o desgaste foi realizado em abrasímetro conforme especificação da ISO 10545-7 e NBR 13818.

O teste utiliza como material abrasivo uma composição de esferas de aço de variados diâmetros, coríndon e água.

As amostras de teste já preparadas em formato mínimo de 10 cm x 10 cm foram posicionadas no equipamento de abrasão, conforme Figura 39.

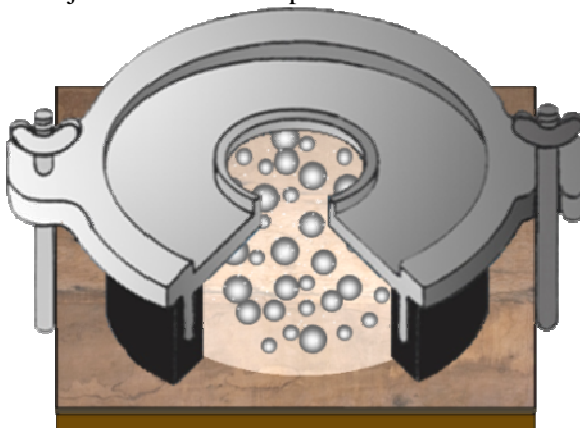
Sobre as amostras foram colocados suportes que as prendem no equipamento e que também serviram de reservatório para o material abrasivo. A Figura 40 mostra o conjunto de amostra mais suporte.

Figura 39 – Abrasímetro Gabrielli



Fonte: Autora, 2019

Figura 40 – Conjunto Amostra + Suporte + Material abrasivo



Fonte: Autora, 2019

Após a preparação do conjunto o abrasímetro rotacionou em movimentos excêntricos, de forma que o material abrasivo presente nos suportes e em contato com a superfície do revestimento cerâmico irá atritar a superfície e provocar o desgaste.

Após esse processo as amostras foram retiradas do equipamento, limpas e secas. O número de vezes que o abrasímetro rotaciona sem que seja promovido efeito visível nas superfícies das amostras é o parâmetro utilizado para a classificação de PEI do produto. A Tabela 5 mostra essa classificação.

Nesse trabalho não foram utilizadas as classes de giros especificadas pela norma, pois elas são muito espaçadas, em especial a diferença entre as classes de PEI 4 e PEI 5.

Tabela 5 – Classes de PEI

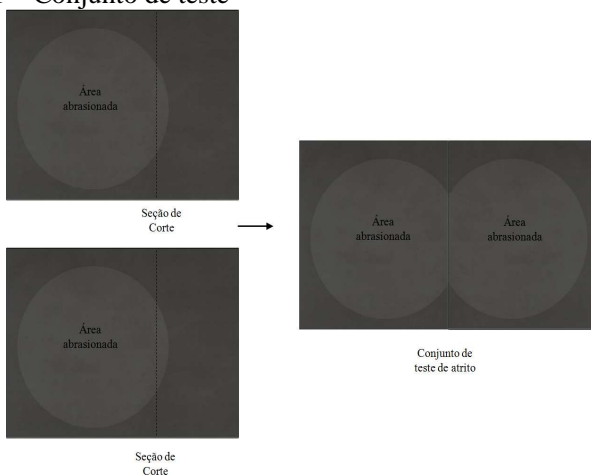
<b>Número de Giros onde o efeito é visível</b>	<b>Classe de PEI</b>
100	0
150	1
600	2
750, 1500	3
2100, 6000, 12000	4
> 12000	5

Fonte: Autora

O número de giros testados foram os seguintes: 100, 200, 300, 400, 500, 1.000, 1.500, 2.000, 3.000, 4.000, 5.000, 6.000, 7.000, 8.000, 9.000, 10.000, 15.000, 20.000. O número de giros serão tratados como ciclos de abrasão, portanto se pode dizer que foram testados 18 ciclos diferentes. Submeteram-se 6 peças de cada superfície a cada um dos ciclos acima descritos. Foram necessários abrasionar 6 corpos de prova pois para realização do ensaio de coeficiente de atrito foi necessário unir duas amostras abrasionadas. Dessa forma cada dois corpos de prova abrasionados originaram uma amostra para realizar o ensaio de atrito.

A Figura 41 mostra uma representação das amostras de teste abrasionadas e como compõem um conjunto para o teste de atrito:

Figura 41 – Conjunto de teste



Fonte: Autora, 2019

Outro fator estudado foi o material abrasivo utilizado no ensaio. Em testes adicionais foi substituído o coríndon que possui dureza Mohs de 9 pelo Quartzo que possui dureza de 7. Os mesmos ciclos de abrasão foram testados com o uso do quartzo em substituição ao coríndon.

#### 4.5 CARACTERIZAÇÃO DAS SUPERFÍCIES

Após serem submetidas ao desgaste, as amostras foram novamente caracterizadas, a fim de verificar o desempenho delas, frente ao desgaste provocado.

Todas as amostras foram submetidas aos seguintes ensaios:

- Coeficiente de Atrito de acordo com a NBR 13818 com DS - Dynamic Slip;
- Coeficiente de Atrito de acordo com a ANSI A137.1 com BOT;
- Coeficiente de Atrito de acordo com a AS 4586;
- Rugosidade por meio de Perfilometria de contato com rugosímetro sj 210 Mitutoyo;
- Determinação do brilho;
- Determinação das coordenadas colorimétricas.

As amostras de algumas superfícies foram submetidas também à análise de microscopia de varredura MEV.

Após todos esses testes foi possível realizar a análise estatística dos dados.

#### 4.6 AVALIAÇÃO DE VARIABILIDADE DOS MÉTODOS

Para avaliar a variabilidade dos métodos, DS - Dynamic Slip , BOT e Pêndulo o coeficiente de variação, expresso na Eq.08, foi analisado utilizando as médias de 132 amostras de cada tipologia de superfície testada. Não foi possível avaliar pelo desvio padrão, pois o Pêndulo utiliza grandeza de valores diferente do BOT e DS - Dynamic Slip .

$$CV = \frac{s}{\bar{x}} \quad \text{Eq.08}$$

Onde:

CV: Coeficiente de Variação;

s: Desvio Padrão da amostra;

$\bar{x}$ : Média da amostra.

No caso do Pêndulo, em que é percebida a interferência humana no teste, acredita-se que possíveis erros estejam associados ao ajuste do espaçamento, no qual a borracha do pêndulo entra em contato com o revestimento cerâmico. Diante dessa suposição foram realizados testes variando essa distância. Um operador treinado realizou o teste ajustando o Pêndulo de forma que a distância em que a borracha do pêndulo entra em contato com a superfície do revestimento cerâmico fosse de 125 mm, um pouco maior, ajustando para 127 mm e um pouco menor, para 123 mm.

Três superfícies foram ensaiadas, acetinada, brilhante e granilhada, por 5 vezes por um operador treinado em momentos distintos e a partir dos resultados obtidos foi realizada uma análise de variância.

Nos testes com DS - Dynamic Slip e BOT não foi necessário realizar essa análise, pois não há interferência humana direta na realização dos ensaios.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados deste trabalho são apresentados e discutidos nos itens subsequentes.

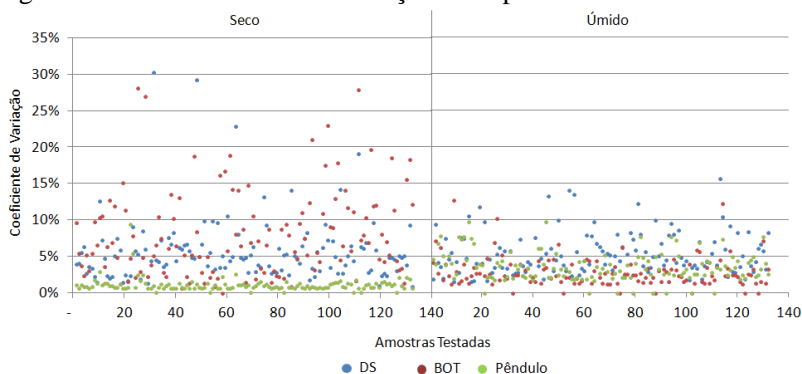
### 5.1 AVALIAÇÃO DE VARIABILIDADE DOS MÉTODOS

As figuras a seguir mostram o coeficiente de variação dos métodos testados, DS - Dynamic Slip , BOT e Pêndulo para cada tipologia de superfície avaliada, foram avaliadas 132 amostras para cada tipo de superfície e cada método. Optou-se por realizar a avaliação de variabilidade por meio do coeficiente de variação, pois a escala dos resultados obtidos com o DS - Dynamic Slip e BOT são diferentes do Pêndulo, o que impossibilita a avaliação com desvio padrão.

Não será avaliada a variabilidade das medições nas pedras naturais, pois elas por si só, pelo fato de serem superfícies naturais já apresentam uma grande variabilidade em termos de textura e aparência, e a variabilidade estaria mais relacionada a variações da superfície do que a variabilidade dos métodos testados.

A Figura 42 mostra o coeficiente de variação da superfície Acetinada com os diferentes métodos utilizados para determinar o coeficiente de atrito.

Figura 42 – Variabilidade das Medições – Superfície Acetinada



Fonte: Autora, 2019

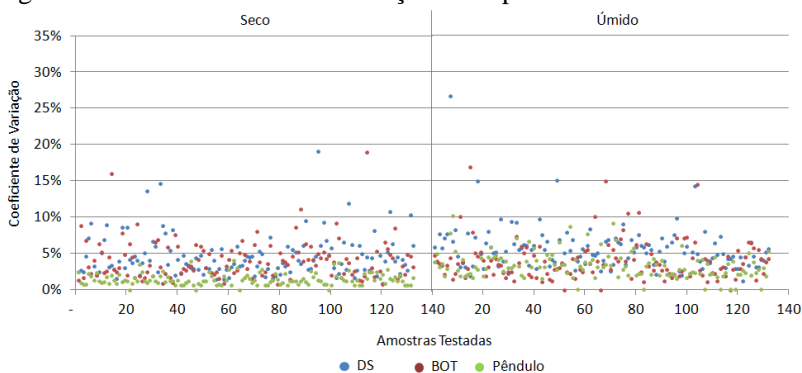
No gráfico é possível verificar que na condição a seco os resultados obtidos com DS - Dynamic Slip e BOT apresentam grande

variabilidade indicada pelo coeficiente de variação elevado, já o Pêndulo mostrou resultados bastante satisfatórios já que seu coeficiente de variação é menor que 5%.

Na condição úmida o Pêndulo apresentou uma variabilidade maior quando comparada com a condição seca, muito próxima a dos demais equipamentos/metodologias.

A Figura 43 mostra a variabilidade dos resultados dos testes realizados com a superfície decorada e natural.

Figura 43 – Variabilidade das Medições – Superfície Decorada Natural



Fonte: Autora, 2019

Assim como na superfície acetinada o Pêndulo apresentou uma baixa variação dos resultados, pois o coeficiente de variação foi inferior a 5%, o DS - Dynamic Slip e o BOT apresentaram variação maior. Na condição úmida, a variabilidade do Pêndulo foi maior comparando com a condição seca, mas ainda assim inferior aos demais métodos.

A Figura 44 mostra a variabilidade dos resultados dos testes realizados com a superfície natural.

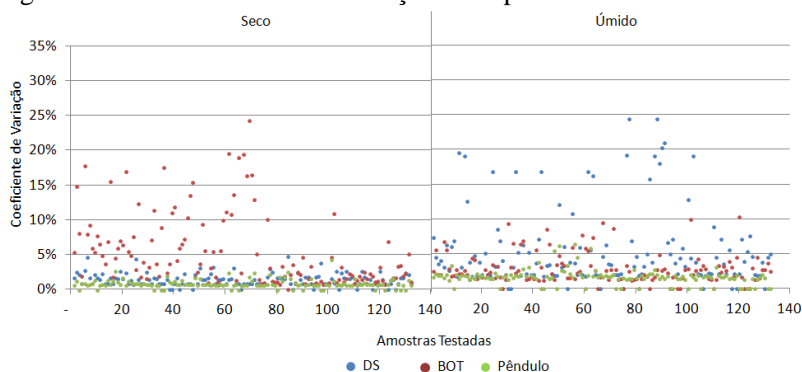
Assim como nas demais superfícies o Pêndulo apresentou menor variabilidade quanto comparado com o DS - Dynamic Slip e BOT. O mesmo também ocorreu quando se compara a condição seca e úmida, pois na condição seca a variabilidade do Pêndulo é menor. O BOT apresentou maior variabilidade na condição seca e o DS - Dynamic Slip na condição úmida.

A Figura 45 mostra a variabilidade das medições na superfície técnica Polida. Observa-se uma situação bastante interessante, pois diferente das outras superfícies o Pêndulo apresentou grande variação na condição úmida. Na condição seca o Pêndulo continua apresentando



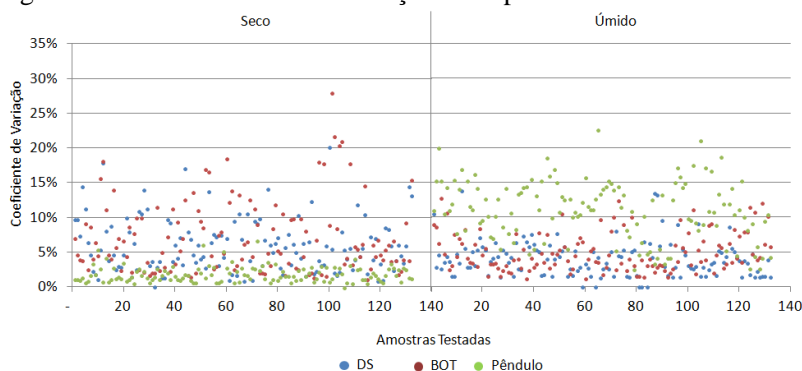
menor variabilidade quando comparado com os demais. Tal situação pode ser explicada devido ao fato dessa superfície apresentar resultados bastante inferiores, em especial na condição úmida, quando se compara com as outras superfícies já apresentadas, e possíveis problemas na preparação da borracha podem ter influenciado na variabilidade dos resultados, e pelo fato de se tratar de valores baixos, pequenas variações resultarão em um grande coeficiente de variação.

Figura 44 – Variabilidade das Medições – Superfície Natural



Fonte: Autora, 2019

Figura 45 – Variabilidade das Medições – Superfície técnica Polida



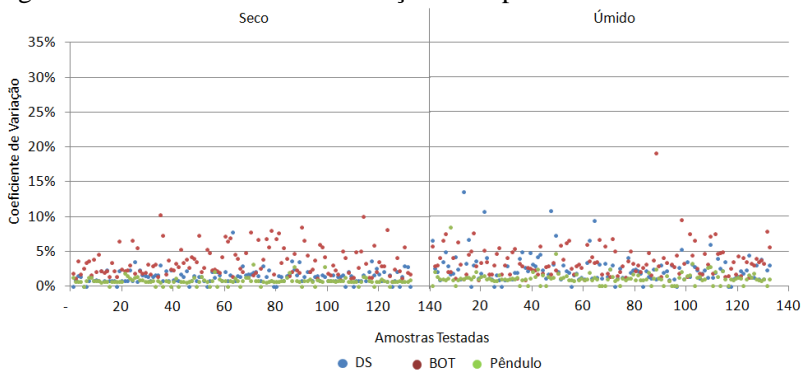
Fonte: Autora, 2019

A Figura 46 mostra a variabilidade da superfície com cobertura de coríndon. Essa cobertura tem a função de elevar a rugosidade da superfície e por consequência o coeficiente de atrito.

Nessa superfície o Pêndulo mais uma vez apresentou menor variabilidade tanto na condição seca quanto na condição úmida. O BOT

apresentou maior variabilidade na condição seca e o DS - Dynamic Slip na condição úmida.

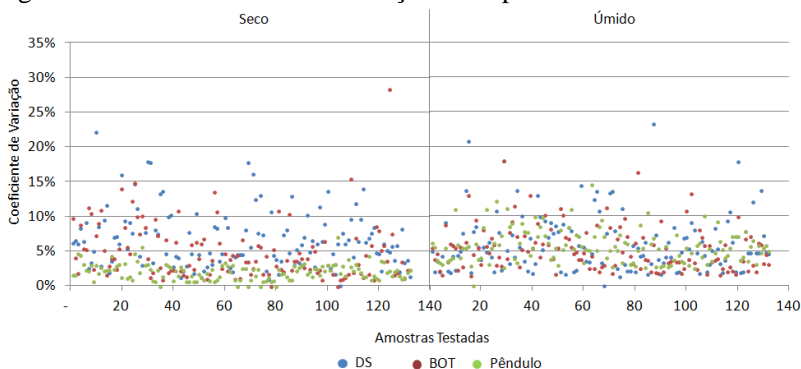
Figura 46 – Variabilidade das Medições – Superfície com Córindon



Fonte: Autora, 2019

A Figura 47 mostra a variabilidade da superfície brilhante. Dentre os métodos testados o pêndulo apresentou menor variabilidade, na condição seca essa variabilidade é ainda menor. O DS - Dynamic Slip e BOT apresentaram comportamento semelhantes.

Figura 47 – Variabilidade das Medições – Superfície Brilhante

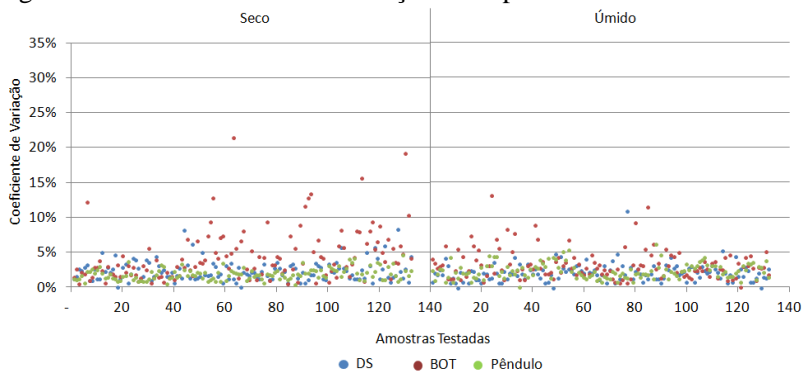


Fonte: Autora, 2019

A Figura 48 representa a variabilidade da superfície granilhada. A granilha é aplicada sobre a superfície para elevar a rugosidade e consequentemente o coeficiente de atrito. O Pêndulo apresentou

resultados satisfatórios tanto na condição seca quanto na condição úmida, com coeficiente de variação inferior a 5% nos dois casos.

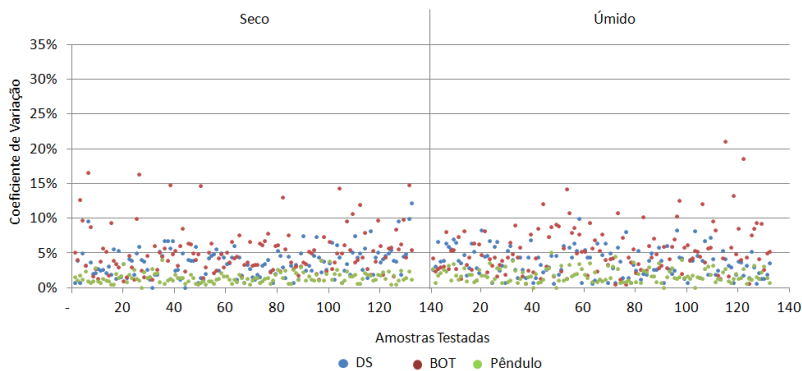
Figura 48 – Variabilidade das Medições – Superfície Granilhada



Fonte: Autora, 2019

A Figura 49 representa a variabilidade da superfície com coríndon e relevo. Para essa condição esperava-se maior variação nos resultados, pois o relevo bastante pronunciado presente na superfície poderia influenciar nos resultados. Entretanto apesar do relevo a variabilidade manteve-se como nas demais superfícies. É importante lembrar que o ensaio foi realizado com o deslizamento sempre no mesmo sentido, fato que pode ter colaborado para variabilidade baixa.

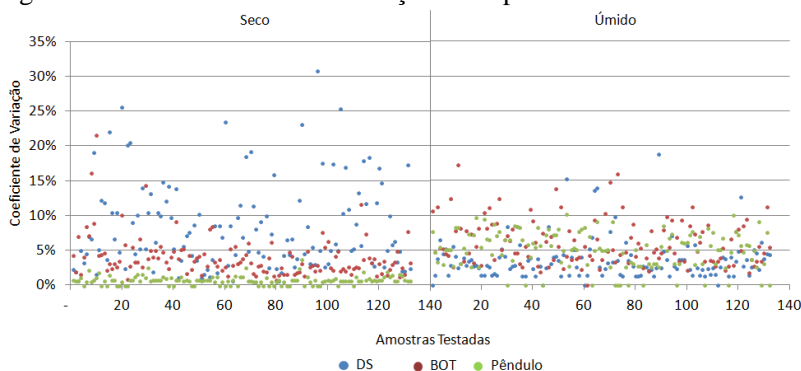
Figura 49 – Variabilidade das Medições – Superfície com Córindon e Relevo



Fonte: Autora, 2019

A Figura 50 representa a variabilidade da superfície esmaltada polida. O comportamento é muito parecido com o comportamento observado na superfície técnica Polida. A variabilidade a seco do Pêndulo é pequena, enquanto que na condição a úmido é consideravelmente maior.

Figura 50 – Variabilidade das Medições – Superfície Esmaltada Polida



Fonte: Autora, 2019

Com os resultados apresentados acima, foi percebido que o Pêndulo é dentre os métodos testados o que apresenta melhor desempenho quando o critério é repetibilidade de resultados em uma mesma amostra, exceto para as superfícies Polidas, em que a variabilidade do Pêndulo é um pouco maior.

Na condição seca o Pêndulo foi a metodologia que apresentou menor variação em todos os testes realizados, com todas as superfícies testadas.

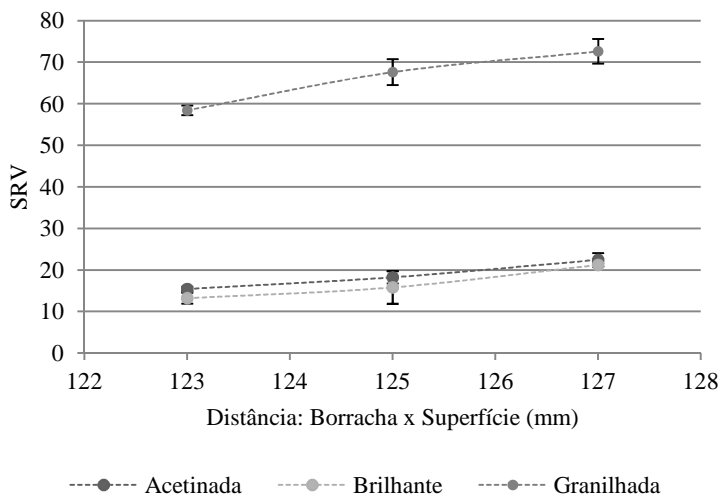
Já na condição úmida, o Pêndulo também apresentou ótimo desempenho, entretanto na superfície técnica polida, apresentou grande variação, assim como já abordado anteriormente. Também na superfície esmaltada polida o Pêndulo não apresentou um desempenho tão bom.

O DS - Dynamic Slip e o BOT apresentam problemas durante a execução do ensaio que estão relacionados a movimentos que o carrinho adquire no decorrer do trajeto sobre a superfície de teste. Esses movimentos são percebidos visualmente e ocorrem em especial em superfície mais lisas como polidas, brilhante e acetinadas. Portanto é bastante razoável afirmar que esses movimentos aumentem a variabilidade dos resultados de ensaio.

A variabilidade dos resultados do Pêndulo pode estar relacionada ao ajuste do espaçamento, no qual a borracha do pêndulo

entra em contato com o revestimento cerâmico. A Figura 51 mostra a variação dos resultados obtidos com o pêndulo realizando variações propositalis da distância de contato entre borracha e superfície:

Figura 51 – Variação de resultados x Distância de contato da borracha



Fonte: Autora, 2019

A seguir estão expressas as tabelas de análise de variância - ANOVA das superfícies testadas. Optou-se por trabalhar com nível de significância de 95%, ou seja, sempre que o valor “P” obtido na ANOVA for inferior a 0,05 será considerado que a distância influenciou de forma significativa no resultado do ensaio.

Dentre os principais pontos a serem avaliados na Anova, pode-se citar o valor de F (fator de Fisher) que é calculado pela divisão entre os quadrados médios para o modelo (*mean squares for the model*, MS<sub>m</sub>) e os quadrados médios residuais (*residual mean squares*, MS<sub>r</sub>). Já o valor de “p”, de um ponto de vista mais prático, pode-se afirmar que representa a chance ou a probabilidade do efeito (ou da diferença) observada entre os tratamentos/categorias ser devido ao acaso, e não aos fatores que estão sendo estudados. Como toda probabilidade, o valor de “p” irá variar entre 0 e 1. Já o parâmetro R<sup>2</sup>, representa a proporção da variabilidade na variável resposta explicada pela variável preditora ou variável explanatória. Também conhecido como coeficiente de determinação. Além disso,

ele dá uma ideia de quão bem se pode prever a variável resposta a partir da(s) variável(eis) preditor(a)s (PACHECO, 2011).

Tabela 6 – Análise de variância – ANOVA – Superfície Acetinada

<b>Fonte</b>	<b>DF</b>	<b>SS</b>	<b>MS</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
Distância	2	124,13	62,07	35,13	0,000
Erro	12	21,20	1,77		
Total	14	145,33			
R <sup>2</sup>	85,41				

Fonte: Autora, 2019

Através do valor “p” expresso na Tabela 6, pode-se afirmar com um nível de confiança de 95% que a distância do contato entre a borracha do Pêndulo e a superfície cerâmica interfere nos resultados do ensaio na superfície Acetinada, para os níveis de variação testados.

Com a análise da Tabela 7, pode-se afirmar com nível de confiança de 95% que a distância influencia nos resultados do Pêndulo na superfície Brilhante, para os níveis testados.

Tabela 7 – Análise de variância – ANOVA – Superfície Brilhante

<b>Fonte</b>	<b>DF</b>	<b>SS</b>	<b>MS</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
Distância	2	166,53	83,27	14,19	0,001
Erro	12	70,4	5,87		
Total	14	236,93			
R <sup>2</sup>	70,29%				

Fonte: Autora, 2019

A Tabela 8 demonstra que também se pode afirmar com 95% de confiança que a distância do contato entre a borracha do Pêndulo e a superfície cerâmica tem influência nos resultados da superfície Granilhada, para os níveis de variação testados.

Tabela 8 – Análise de variância – ANOVA – Superfície Granilhada

<b>Fonte</b>	<b>DF</b>	<b>SS</b>	<b>MS</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
Distância	2	518,8	259,4	39,11	0,000
Erro	12	79,6	6,63		
Total	14	598,4			
R <sup>2</sup>	86,70%				

Fonte: Autora, 2019

## 5.2 RELAÇÃO RUGOSIDADE X ATRITO

Foi realizada análise de variância para verificar quais parâmetros de rugosidade influenciam nos valores de coeficiente de atrito das superfícies. A análise foi realizada em três níveis igualmente espaçados, de cada parâmetro de rugosidade, foram analisados os parâmetros Ra, Rq, Rz, Rp, Rv, Rt e Rk. As análises foram realizadas com nível de significância de 95%, ou seja, com  $\alpha$  igual a 0,05. A Tabela 9 mostra os níveis de cada parâmetro de rugosidade utilizado para confecção da ANOVA.

Tabela 9 – Níveis dos parâmetros Ra, Rq, Rz, Rp, Rv, Rt, e Rk para análise de variância

<b>Ra (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Rq (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Rz (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Rp (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Rv (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Rt (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Rk (<math>\mu\text{m}</math>)</b>
5,000	6,000	28,200	14,200	11,000	46,000	13,000
2,575	3,100	15,100	7,200	6,250	25,000	6,575
0,150	0,200	2,000	0,200	1,500	4,000	0,150

Fonte: Autora, 2019

A Tabela 10 mostra a análise de variância dos parâmetros de rugosidade no resultado de coeficiente de atrito medido pelo DS - Dynamic Slip na condição seca. Pode-se afirmar, portanto com 95% de confiança que os parâmetros Ra, Rq, Rz, Rp e Rv tem interferência no resultado do teste.

Tabela 10 – Análise de variância – ANOVA – Influência dos parâmetros no resultado a seco do DS - Dynamic Slip

<b>Parâmetro Rugosidade</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor P</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>S</b>
Ra	8,600	0,017	0,74	0,128
Rq	5,680	0,041	0,65	0,119
Rz	95,570	0,000	0,97	0,020
Rp	15,950	0,004	0,84	0,069
Rv	14,730	0,005	0,83	0,086
Rt	0,830	0,480	0,22	3,157
Rk	2,080	0,206	0,41	0,207

Fonte: Autora, 2019

A Tabela 11 mostra a análise de variância dos parâmetros de rugosidade no resultado de coeficiente de atrito medido pelo DS - Dynamic Slip na condição úmida. Pode-se afirmar, portanto com 95% de confiança que os parâmetros Ra, Rq, Rz, Rp, Rv e Rk tem interferência no resultado do teste.

A Tabela 12 mostra a análise de variância dos parâmetros de rugosidade no resultado de coeficiente de atrito medido pelo BOT na condição Seca. Apenas os parâmetros Ra, Rp e Rk apresentaram valores de P inferiores a 0,05. A grande variabilidade do método, que já foi explicada anteriormente pode ter influenciado nos resultados da análise de variância e por isso ao contrário do DS - Dynamic Slip nem todos os parâmetros foram influentes.

Tabela 11 – Análise de variância – ANOVA – Influência dos parâmetros no resultado a úmido do DS - Dynamic Slip

<b>Parâmetro Rugosidade</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor P</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>S</b>
Ra	282,910	0,000	0,99	0,026
Rq	172,320	0,000	0,98	0,033
Rz	366,470	0,000	0,99	0,023
Rp	110,710	0,000	0,97	0,040
Rv	466,390	0,000	0,99	0,021
Rt	0,840	0,478	0,22	3,286
Rk	906,110	0,000	1,00	0,015

Fonte: Autora, 2019

Tabela 12 – Análise de variância – ANOVA – Influência dos parâmetros no resultado a seco no BOT

<b>Parâmetro Rugosidade</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor P</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>S</b>
Ra	7,060	0,027	0,70	0,092
Rq	3,180	0,115	0,51	0,088
Rz	2,660	0,149	0,47	0,090
Rp	6,660	0,030	0,69	0,085
Rv	1,010	0,420	0,25	0,109
Rt	0,900	0,455	0,23	3,205
Rk	5,550	0,043	0,65	0,081

Fonte: Autora, 2019



A Tabela 13 mostra a análise de variância dos parâmetros de rugosidade no resultado de coeficiente de atrito medido pelo BOT na condição úmida. Apenas o parâmetro  $R_t$  não apresentou influência nos resultados.

Tabela 13 – Análise de variância – ANOVA – Influência dos parâmetros no resultado a úmido no BOT

<b>Parâmetro Rugosidade</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor P</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>S</b>
Ra	52,100	0,000	0,95	0,057
Rq	120,360	0,000	0,98	0,035
Rz	140,460	0,000	0,98	0,033
Rp	994,960	0,000	1,00	0,014
Rv	162,470	0,000	0,98	0,036
Rt	0,950	0,437	0,24	3,268
Rk	165,200	0,000	0,98	0,036

Fonte: Autora, 2019

A Tabela 14 mostra a análise de variância dos parâmetros de rugosidade no resultado medido pelo Pêndulo na condição seca. Mais uma vez apenas o parâmetro  $R_t$  não apresentou valor de P inferior a 0,05.

Tabela 14 – Análise de variância – ANOVA – Influência dos parâmetros no resultado a seco no Pêndulo

<b>Parâmetro Rugosidade</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor P</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>S</b>
Ra	20,100	0,002	0,87	5,256
Rq	20,720	0,002	0,87	5,232
Rz	32,580	0,001	0,92	4,329
Rp	19,360	0,002	0,87	3,730
Rv	20,780	0,002	0,87	5,172
Rt	4,240	0,071	0,59	18,180
Rk	32,900	0,001	0,92	3,290

Fonte: Autora, 2019

A Tabela 15 mostra a análise de variância dos parâmetros de rugosidade no resultado do Pêndulo na condição úmida. Todos os

parâmetros de rugosidade se mostraram influentes no resultado na condição úmida pelo método do pêndulo.

Tabela 15 – Análise de variância – ANOVA – Influência dos parâmetros no resultado a úmido no Pêndulo

<b>Parâmetro Rugosidade</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor P</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>S</b>
Ra	401,280	0,000	0,99	2,053
Rq	154,500	0,000	0,98	3,860
Rz	388,270	0,000	0,99	2,440
Rp	46,190	0,000	0,94	6,256
Rv	196,060	0,000	0,98	3,314
Rt	49,840	0,000	0,94	6,580
Rk	150,370	0,000	0,98	3,756

Fonte: Autora, 2019

Como análise geral dos resultados apresentados, fica evidente que os parâmetros de rugosidade influenciam no coeficiente de atrito entre duas superfícies. Muitos estudos científicos obtiveram as mesmas conclusões, de acordo com os estudos desenvolvidos por Li et al. (2004), os parâmetros Ra, Rq e outros, apresentam grande correlação com o coeficiente de atrito medido nas condições de superfície úmida e úmida com detergente. De acordo com o estudo de Chang et al. (2010), para fins práticos, o parâmetro de superfície Ra por si só, representa o coeficiente de atrito medido mesmo que não atinja um nível estatisticamente significativo em alguns dos modelos de regressão. Li et. al., (2004), Stevenson et al. (1989) também usaram Ra para avaliar a resistência ao escorregamento de superfícies.

Além de Ra, outros parâmetros de rugosidade também foram discutidos. Harris e Shaw (1988) relataram uma forte correlação entre o parâmetro R<sub>tm</sub> e as opiniões dos usuários quanto à segurança ao escorregamento. Manning, Jones e Bruce (1990) e Manning e Jones (1994) relataram boa correlação entre o atrito medido e R<sub>tm</sub>. Chang (1998) e Chang (2001) também verificou em seus estudos que existe uma forte correlação entre os valores de R<sub>pm</sub> e o coeficiente de atrito estático medido. De acordo com estudo de Chang (2004), três tipos de características geométricas da rugosidade superficial são identificadas como principais para que se tenha maior coeficiente de atrito, R<sub>pm</sub>, Da e R<sub>k</sub>.

### 5.2.1 Correlação entre parâmetros de rugosidade

A Tabela 16 mostra a correlação entre os parâmetros de rugosidade avaliados no trabalho. O coeficiente de Pearson próximo a 1 mostra que os parâmetros de rugosidade medidos se relacionam de forma praticamente linear uns com os outros.

Diante dessa análise a avaliação de correlação entre coeficiente de atrito medido e parâmetro de rugosidade será realizada a seguir avaliando apenas o Ra, pois uma vez que os demais parâmetros têm relação linear entre si, as análises entre coeficiente de atrito e Ra e coeficiente de atrito e qualquer outro parâmetro de rugosidade será semelhante.

Tabela 16 – Matriz de análise de correlação por meio de coeficiente de Pearson

	<b>Ra</b>	<b>Rq</b>	<b>Rz</b>	<b>Rp</b>	<b>Rv</b>	<b>Rt</b>
<b>Rq</b>	0,999					
<b>Rz</b>	0,997	0,998				
<b>Rp</b>	0,990	0,993	0,993			
<b>Rv</b>	0,981	0,980	0,984	0,956		
<b>Rt</b>	0,964	0,970	0,968	0,975	0,932	
<b>Rk</b>	0,991	0,986	0,983	0,964	0,983	0,923

Fonte: Autora, 2019

### 5.2.2 Relação entre atrito e parâmetros de rugosidade

A seguir serão apresentados gráficos que relacionam o parâmetro de rugosidade Ra com o coeficiente de atrito medido para cada método. O Ra foi o parâmetro escolhido, pois é o mais citado em literaturas que estudam relação entre coeficiente de atrito e rugosidade. Os gráficos foram confeccionados tendo como base o valor médio de coeficiente de atrito e Ra medido com 132 amostras de 8 diferentes superfícies. Nessa avaliação optou-se por retirar a superfície com relevo das análises, pois o intuito é avaliar apenas a relação entre rugosidade e atrito, e o relevo da superfície poderia influenciar na avaliação.

Nos gráficos constam linhas vermelhas que indicam o valor mínimo obtido no DS - Dynamic Slip , BOT e Pêndulo na condição úmida, e que são considerados seguros por normas, sendo esses valores iguais a 0,40, 0,42 e 36 para cada equipamento respectivamente.

A Figura 52 mostra que existe uma grande dispersão dos resultados de coeficiente de atrito a seco. Não se consegue estabelecer uma tendência clara sobre como o parâmetro de rugosidade Ra influencia no coeficiente de atrito a seco. Já quanto ao coeficiente de atrito a úmido, é possível observar uma tendência, quanto maior os valores de Ra da superfície, maior o coeficiente de atrito medido com o DS - Dynamic Slip . Essa tendência se assemelha muito a uma equação de segundo grau, com valor de  $R^2$  igual a 0,82.

A Eq.9 mostra a equação de segundo grau obtida:

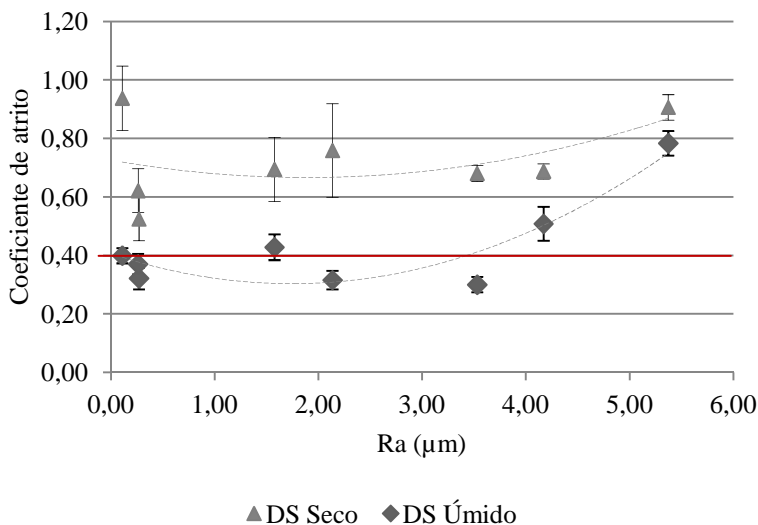
$$\mu_{DS \text{ úmido}} = 0,0338.Ra^2 - 0,1178Ra + 0,4056 \quad \text{Eq. 9}$$

Onde:

$\mu_{DS \text{ úmido}}$ : Coeficiente de atrito a úmido medido pelo DS - Dynamic Slip .

$Ra$ : parâmetro de rugosidade ( $\mu\text{m}$ ).

Figura 52 – Relação entre coeficiente de atrito pelo DS - Dynamic Slip e Ra



A Figura 53 mostra a relação entre Ra e o coeficiente de atrito medido com o BOT.

O gráfico mostra que a relação entre o coeficiente de atrito medido com o BOT também se assemelha a uma equação de segundo grau com valor de  $R^2$  igual a 0,79 para a condição úmida. A Eq.10 mostra a equação de segundo grau obtida:

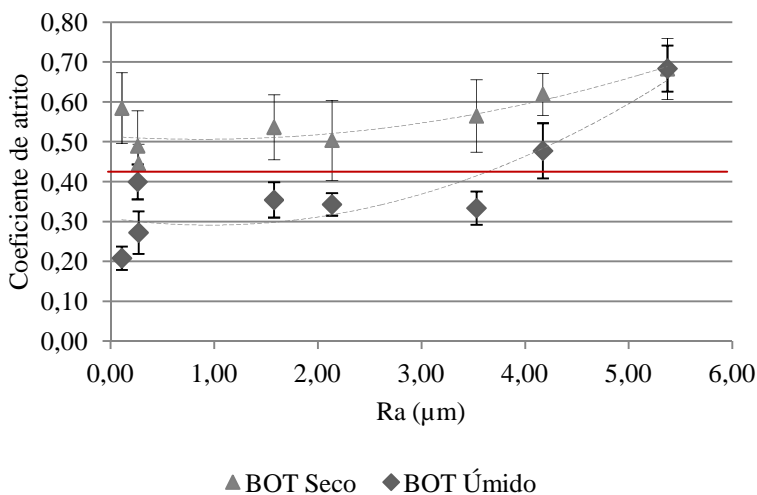
$$\mu_{BOT \text{ úmido}} = 0,0186.Ra^2 - 0,0357Ra + 0,3081 \quad \text{Eq. 10}$$

Onde:

$\mu_{BOT \text{ úmido}}$ : Coeficiente de atrito a úmido medido pelo BOT.

$Ra$ : parâmetro de rugosidade ( $\mu\text{m}$ ).

Figura 53 – Relação entre coeficiente de atrito pelo BOT e Ra



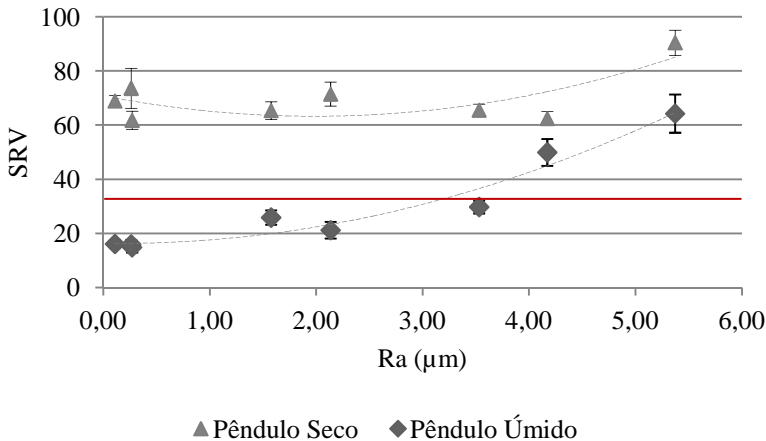
Fonte: Autora, 2019

Uma situação interessante observada tanto nos ensaios com BOT quanto com o DS - Dynamic Slip, é que para produtos com valores de Ra elevados, o coeficiente de atrito medido na condição úmida é muito similar ao da condição seca, para superfícies muito rugosas a água não proporciona o efeito de lubrificante às superfícies como ocorre com as demais. As rugosidades nesse caso servem como meio drenante no

qual a água escoa e portanto, não entra em contato direto com a borracha utilizada no teste.

A Figura 54 mostra a relação entre Ra e o coeficiente de atrito medido com o Pêndulo:

Figura 54 – Relação entre coeficiente de atrito pelo Pêndulo e Ra



Fonte: Autora, 2019

Tem-se o mesmo comportamento já constatado com os demais métodos de ensaios, a condição seca não se ajusta tão bem a um modelo de equação de segundo grau como acontece com a condição úmida. Na metodologia do Pêndulo se obteve valor de  $R^2$  igual a 0,95, a Eq.11 representa o comportamento do gráfico:

$$\mu_{\text{Pêndulo Úmido}} = 1,7605.Ra^2 - 0,4833Ra + 16,341 \quad \text{Eq. 8}$$

Onde:

$\mu_{\text{Pêndulo Úmido}}$ : Coeficiente de atrito a úmido medido pelo Pêndulo.  
 $Ra$ : parâmetro de rugosidade (µm).

Com a análise dos três gráficos e do comportamento semelhante observado nos três, acredita-se que os resultados medidos na condição seca possam não ter se ajustado tão bem devido a maior variabilidade dos resultados, indicados pelas barras de erro.

No presente trabalho se obteve uma tendência de aumento do coeficiente de atrito com relação a valores de Ra muito semelhante a uma equação de segundo grau, já Stevenson et al. (1989) indicaram que o coeficiente de atrito dinâmico em condições contaminadas, aumenta quase linearmente com Ra.

### 5.2.3 Relação entre parâmetros de rugosidade e brilho superficial

Quanto maiores forem os valores dos parâmetros de rugosidade, maior também será a irregularidade da superfície e, portanto, menor o brilho dela. De acordo com Boschi et. al. (2006), a rugosidade superficial afeta diretamente a reflexão da luz incidente. Em função desse fenômeno óptico, o brilho e a nitidez da imagem refletida são alterados pelas reentrâncias e saliências presentes na superfície do produto cerâmico.

Para Kigle-Boeckler (1996), em superfícies lisas de alto brilho, existe uma grande reflexão da luz. A intensidade da luz refletida é dependente do ângulo de incidência e das propriedades do material (índice de refração). Para superfícies rugosas, a luz não reflete apenas na direção especular, reflete difusamente em outras direções. A reflexão analisada diminui drasticamente, pois quanto maior a difusão da luz menor será o brilho que a superfície apresenta.

A Tabela 17 mostra como o brilho superficial pode ser influenciado pela rugosidade da superfície e comprova o fato mencionado, quanto maior a rugosidade, menor o brilho superficial.

Tabela 17 – Análise de variância – ANOVA – Influência dos parâmetros no brilho

<b>Parâmetro Rugosidade</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor P</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>S</b>
Ra	576,060	0,000	0,99	2,826
Rq	410,200	0,000	0,99	3,226
Rz	299,250	0,000	0,99	3,704
Rp	1019,820	0,000	1,00	2,161
Rv	2868,730	0,000	1,00	1,275
Rt	251,220	0,000	0,99	4,118
Rk	15635,800	0,000	1,00	0,559

Fonte: Autora, 2019

Mais uma vez se trabalhou com valor de  $\alpha$  igual a 0,05. Desta forma, pode-se afirmar com 95% de confiança que os parâmetros de rugosidade avaliados interferem no brilho da superfície.

A Tabela 18 mostra o coeficiente de correlação de Pearson entre cada parâmetro de rugosidade e o Brilho da superfície. Todos eles apresentaram valores negativos, o que confirma que quanto maior o valor do parâmetro de rugosidade menor o brilho da superfície, para que se tenha uma superfície brilhante é necessário que se tenha parâmetros de rugosidade pequenos.

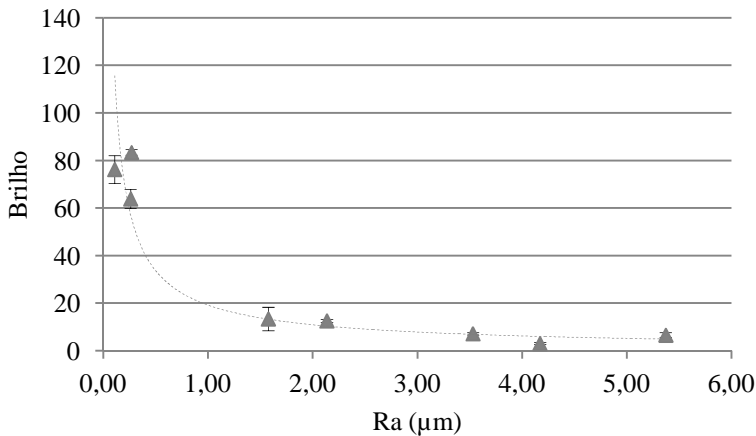
Tabela 18 – Matriz de análise de correlação entre parâmetros de rugosidade e Brilho

	<b>Ra</b>	<b>Rq</b>	<b>Rz</b>	<b>Rp</b>	<b>Rv</b>	<b>Rt</b>	<b>Rk</b>
<b>Brilho</b>	-0,847	-0,839	-0,851	-0,805	-0,897	-0,743	-0,884

Fonte: Autora, 2019

A Figura 55 mostra como o brilho se comporta com relação ao parâmetro Ra de rugosidade.

Figura 55 – Relação entre brilho e Ra



Fonte: Autora, 2019



A partir do gráfico se observou que o brilho é alterado pelo parâmetro Ra de rugosidade de forma exponencial. A Eq. 12 mostra a equação exponencial obtida com valor de R<sup>2</sup> igual a 0,92:

$$\text{Brilho} = 19,18 \cdot Ra^{-0,812} \quad \text{Eq. 9}$$

Onde:

Ra: parâmetro de rugosidade (µm)

### 5.3 RELAÇÃO ENTRE COEFICIENTE DE ATRITO E SEGURANÇA NO USO

Esse quesito foi avaliado com o objetivo de se determinar qual metodologia testada, DS - Dynamic Slip , BOT, Rampa e Pêndulo fornecem resultados mais condizentes com a real percepção de segurança dos usuários que caminham sobre superfícies cerâmicas.

Essa avaliação foi realizada relacionando o coeficiente de atrito medido por cada método: DS - Dynamic Slip , BOT, Rampa e Pêndulo, e uma escala estabelecida por usuários. A relação foi estabelecida por meio do coeficiente de Pearson, quanto mais próximo a 1 for o mesmo, maior é a relação linear entre duas variáveis.

A Tabela 19 mostra que as medidas realizadas na condição úmida se relacionam muito melhor com avaliação sensorial percebida pelos usuários. O Pêndulo e a Rampa na condição úmida foram os métodos que obtiveram melhor correlação com a escala de segurança, com coeficiente de Pearson de 0,946 e 0,970 respectivamente, muito próxima a 1, mostrando que de fato, quanto maior o coeficiente de atrito medido, maior será a resistência ao escorregamento da superfície.

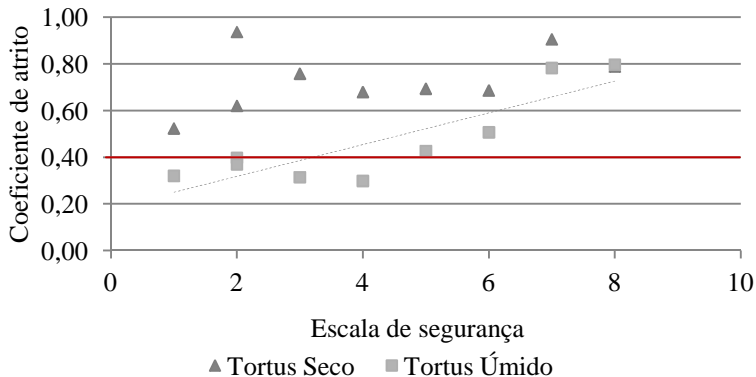
Tabela 19 – Matriz de análise de correlação entre Coeficiente de atrito e Escala de Segurança

	DS		BOT		Pêndulo		Rampa		
	Seco	Úmido	Seco	Úmido	Seco	Úmido	Seco	Úmido	Óleo
<b>Escala Segurança</b>	0,402	0,857	0,820	0,870	0,578	0,946	0,865	0,970	0,913

Fonte: Autora, 2019

A Figura 56 mostra a relação entre a escala de segurança e o coeficiente de atrito medido no DS - Dynamic Slip . Avaliando uma relação linear entre coeficiente de atrito a úmido e Escala de segurança, se obtém um R<sup>2</sup> de 0,74.

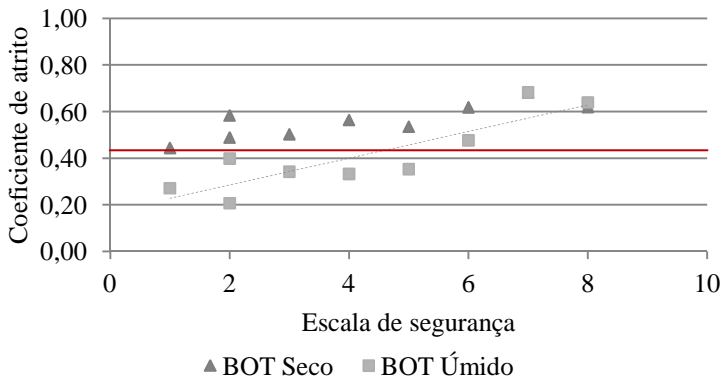
Figura 56 – Relação entre coeficiente de atrito medido no DS - Dynamic Slip e escala de segurança



Fonte: Autora, 2019

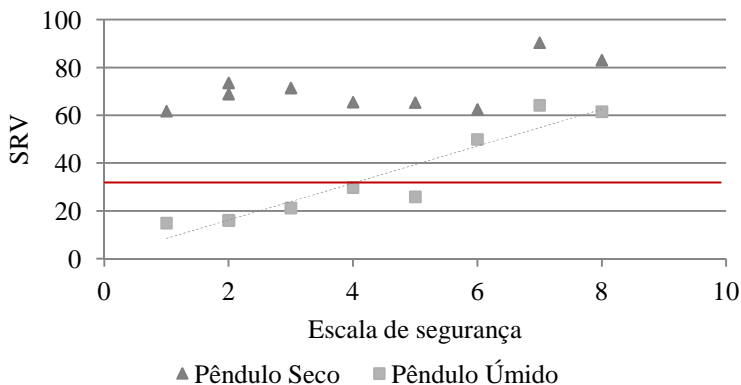
A Figura 57 mostra a relação entre a escala de segurança e o coeficiente de atrito medido no BOT. Avaliando uma relação linear entre coeficiente de atrito a úmido e Escala de segurança, se obtém um  $R^2$  de valor muito próximo ao obtido com o DS - Dynamic Slip, de 0,76.

Figura 57 – Relação entre coeficiente de atrito medido no BOT e escala de segurança



Fonte: Autora, 2019

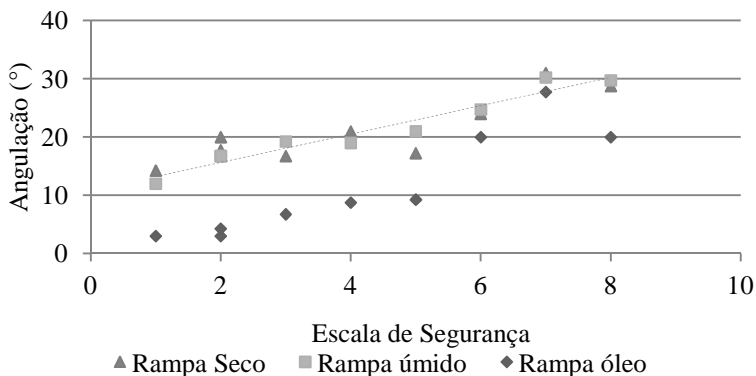
Figura 58 – Relação entre coeficiente de atrito medido no Pêndulo e escala de segurança



Fonte: Autora, 2019

A Figura 58 mostra a relação entre a escala de segurança e o coeficiente de atrito medido no Pêndulo. Conforme já expresso pelo coeficiente de Pearson, os resultados do Pêndulo na condição úmida são uma metodologia de medição que se relaciona muito bem com a avaliação sensorial de usuários. Sendo assim, para uma relação linear entre coeficiente de atrito medido e escala de segurança se obtém valor de  $R^2$  0,90.

Figura 59 – Relação entre coeficiente de atrito medido na Rampa e escala de segurança



Fonte: Autora, 2019

A Figura 59 mostra a relação entre a escala de segurança e a angulação obtida no teste da rampa nas diferentes condições. Tanto o coeficiente de Pearson para a condição úmida em tensoativo que foi de 0,970, quanto o  $R^2$  que foi de 0,94 mostram que o teste na rampa nessa condição possui boa correlação com a avaliação sensorial.

A Tabela 20 mostra a relação entre a escala de segurança estabelecida pelos usuários, os valores de atrito medidos e Rz. A área destacada em cinza mostra as três superfícies de melhor desempenho quanto a resistência ao escorregamento.

Tabela 20 – Relação entre escala de segurança e atrito medido

<b>Superfície</b>	<b>Escala</b>	<b>DS Úmido</b>	<b>BOT Úmido</b>	<b>Pêndulo Úmido</b>	<b>Rz (µm)</b>
Brilhante	1	0,32	0,27	15	1,66
Esmaltada Polida	2	0,40	0,21	16	1,87
Técnico Polido	2	0,37	0,40	16	3,42
Acetinado	3	0,32	0,34	21	11,13
Natural	4	0,30	0,33	30	16,76
Natural Decorado	5	0,43	0,35	26	9,33
Cobertura	6	0,51	0,48	50	21,30
Granilhada	7	0,78	0,68	64	26,96
Cobertura+ Relevo	8	0,80	0,64	62	16,79

Fonte: Autora, 2019

Analisando o equipamento DS-Dynamic Slip e o padrão especificado pela NBR 13818, poder-se-ia dizer que resultados acima de 0,40 são superfícies que poderiam ser utilizados em áreas externas, dessa forma a superfície esmaltada polida e decorada natural poderia ser utilizadas nessas áreas, porém de acordo com a avaliação dos usuários essas superfícies possuem baixíssima segurança para o usuário.

O BOT possui padrão de 0,42, porém esse valor não é específico para uso em áreas externas como ocorre na NBR 13818, é utilizado

apenas como um valor limitante para segurança do usuário. Nesse caso apenas os três produtos destacados em cinza poderiam ser classificados como seguros de acordo com o teste com o BOT, e de fato foi essa a avaliação dos usuários.

A classificação do Pêndulo afirma que superfícies com SRV superiores a 36 devem apresentar baixo potencial de escorregamento. Os resultados mostram que apenas os 3 produtos considerados seguros pelos usuários apresentaram valores superiores a 36.

Analisando o parâmetro Rz de rugosidade, apenas superfícies com valores de Rz superiores a  $20\mu\text{m}$  de acordo com o Guia de Resistência ao Escorregamento do Reino Unido podem ser considerados com baixo potencial de escorregamento. Porém os resultados mostram que a superfície com cobertura e relevo apresentou baixíssimo potencial de escorregamento na avaliação dos usuários, porém o parâmetro Rz foi menor que  $20\mu\text{m}$ , valor especificado pelo guia. Tal avaliação pode estar ligada ao relevo da superfície que contribui muito para aumento da resistência ao escorregamento, porém não pode ser medido por rugosímetros.

## 5.4 EVOLUÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS SUPERFICIAIS COM DESGASTE

A seguir serão discutidos os resultados referentes à evolução das características superficiais das 9 superfícies submetidas ao desgaste e das pedras naturais. Os resultados serão divididos em análise de coeficiente de atrito, parâmetros de rugosidade, brilho superficial e cor. Nas análises de atrito estão destacados por uma linha vermelha o limite de recomendação para segurança para cada método.

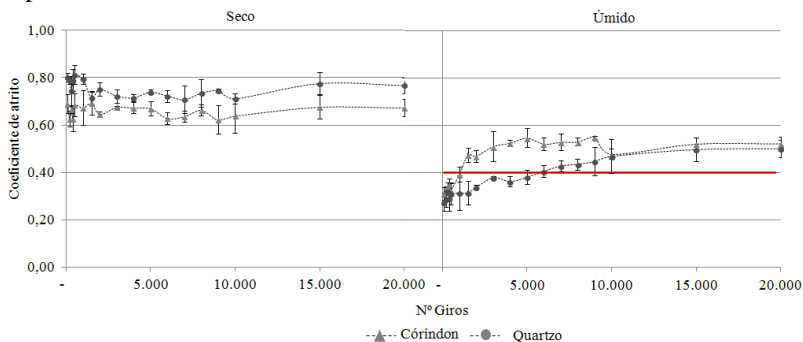
### 5.4.1 Evolução do coeficiente de atrito com desgaste

A seguir serão apresentados os resultados de atrito medidos utilizando DS - Dynamic Slip , BOT e Pêndulo na condição seca e úmida.

A Figura 60 mostra a evolução do coeficiente de atrito medido pelo DS - Dynamic Slip no decorrer do desgaste em superfície acetinada. Na condição seca não se observam grandes alterações de valores, já na condição úmida se percebe claramente que o coeficiente de atrito aumentou no decorrer do desgaste. Esse incremento de atrito

ocorreu de forma mais rápida, ou seja, com menor número de ciclos quando foi utilizado coríndon como material abrasivo. Esse comportamento é decorrente da diferença de dureza entre o quartzo que possui dureza mohs igual a 7 e o coríndon que possui dureza mohs igual a 9, quanto maior for a dureza do abrasivo mais rápido será o desgaste.

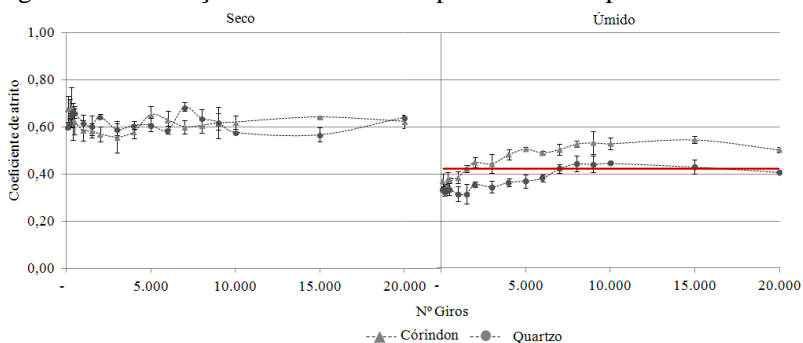
Figura 60 – Evolução do atrito medido pelo DS - Dynamic Slip – Superfície Acetinada



Fonte: Autora, 2019

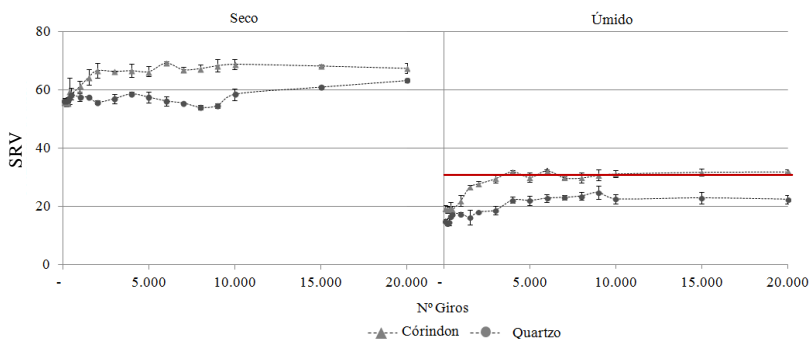
A Figura 61 mostra a evolução do coeficiente de atrito medido com o BOT. A tendência observada é a mesma do DS - Dynamic Slip .

Figura 61 – Evolução do atrito medido pelo BOT – Superfície Acetinada



Fonte: Autora, 2019

Figura 62 – Evolução do atrito medido pelo Pêndulo – Superfície Acetinada



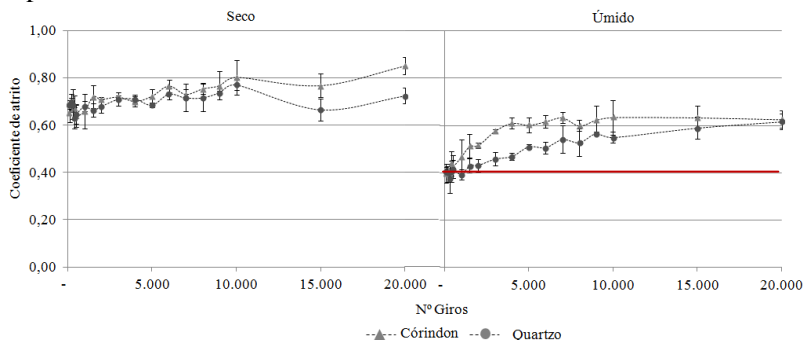
Fonte: Autora, 2019

A Figura 62 mostra a evolução do coeficiente de atrito medido pelo pêndulo no decorrer do desgaste. O coeficiente de atrito na condição úmida apresentou o mesmo comportamento das demais metodologias. Conforme ocorre o desgaste, há um aumento do coeficiente de atrito. Já na condição seca, se observou uma leve tendência ao incremento do atrito medido.

Enquanto o DS - Dynamic Slip e o BOT não possuem sensibilidade suficiente para conseguir detectar diferenças de atrito na condição seca e úmida, se percebe que o pêndulo possui maior sensibilidade, pois foi possível detectar a diferença de atrito.

A Figura 63 mostra a evolução do coeficiente de atrito medido pelo DS - Dynamic Slip no decorrer do desgaste da superfície decorada natural. O comportamento do coeficiente de atrito foi similar ao da superfície acetinada, pois ocorreu um incremento no atrito, em especial na condição úmida. Assim como anteriormente, o acréscimo ocorreu de forma muito mais rápida na superfície desgastada com coríndon, do que na superfície desgastada com quartzo.

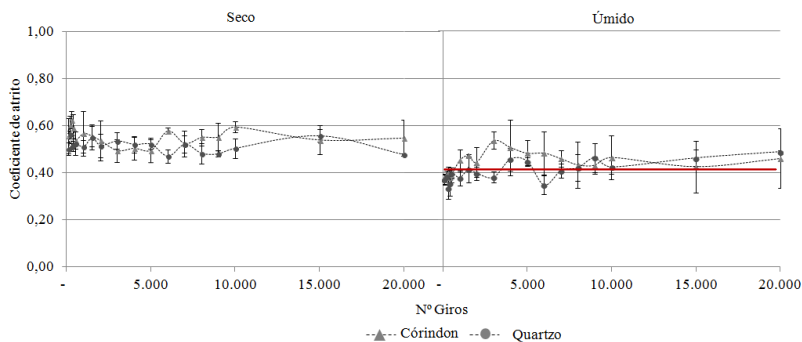
Figura 63 – Evolução do atrito medido pelo DS - Dynamic Slip – Superfície Decorada Natural



Fonte: Autora, 2019

A Figura 64 mostra o coeficiente de atrito medido com o BOT. Apesar de se verificar uma leve tendência ao incremento do coeficiente de atrito no teste com a condição úmida, a variabilidade das medições foi muito grande, o que não permite ter conclusões precisas.

Figura 64 – Evolução do atrito medido pelo BOT – Superfície Decorada Natural



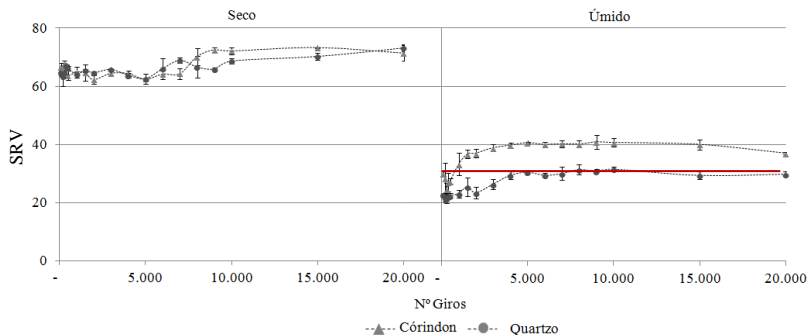
Fonte: Autora, 2019

A Figura 65 mostra a evolução do atrito medido com o Pêndulo. Houve um incremento no valor de atrito medido tanto na condição seca quanto na condição úmida. Mais uma vez é possível afirmar que a alteração da superfície provocada pelo processo de abrasão superficial foi percebida pelo pêndulo tanto na condição seca quanto na condição úmida, fato que serve para corroborar a teoria de que o Pêndulo possui



maior sensibilidade para diferenciar superfícies com características diferentes.

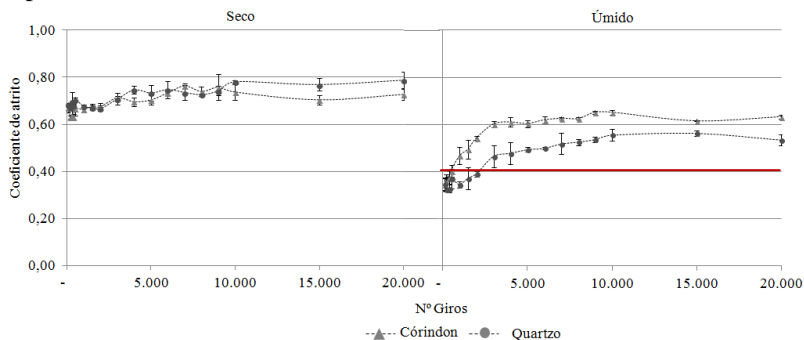
Figura 65 – Evolução do atrito medido pelo Pêndulo – Superfície Decorada Natural



Fonte: Autora, 2019

A Figura 66 mostra a evolução do coeficiente de atrito da superfície natural no decorrer do desgaste. O fenômeno ocorrido nas outras superfícies apresentadas até aqui ocorreu novamente, a mesma sofre um incremento no valor de atrito medido, nesse caso com o DS - Dynamic Slip. Na condição úmida esse incremento é bem definido, enquanto que na condição seca ele é mais discreto.

Figura 66 – Evolução do atrito medido pelo DS - Dynamic Slip – Superfície Natural

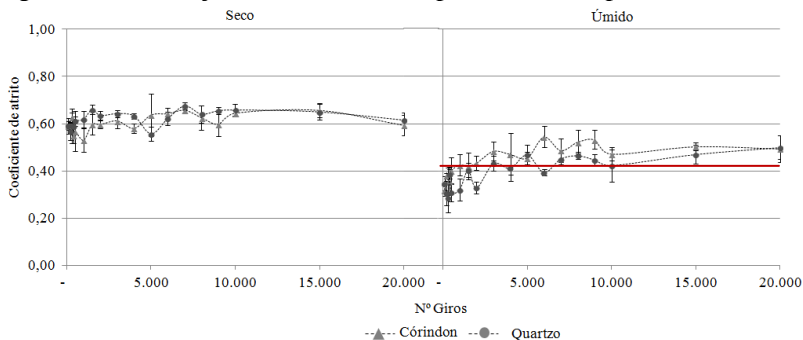


Fonte: Autora, 2019

A Figura 67 mostra a evolução do atrito no decorrer dos desgastes, nela é possível avaliar que houve um incremento na condição

úmida, apesar da grande variabilidade observada nos resultados. Já a condição seca não é possível afirmar que houve grande alteração.

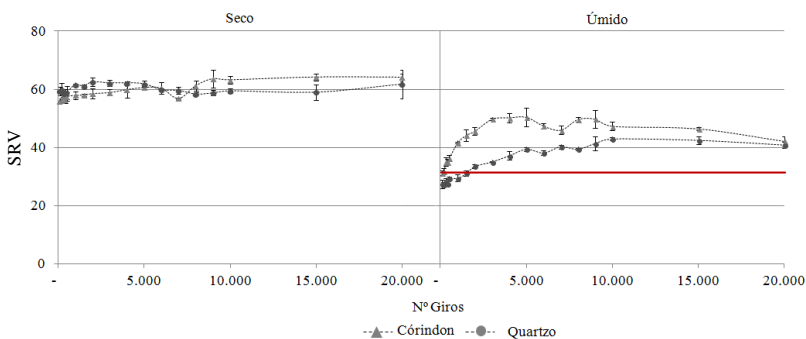
Figura 67 – Evolução do atrito medido pelo BOT – Superfície Natural



Fonte: Autora, 2019

O gráfico da Figura 68 mostra que ocorreu incremento no atrito na condição úmida, porém para o pêndulo o incremento na condição seca foi bastante discreto, apesar de as barras de erro indicarem uma variabilidade pequena dos resultados.

Figura 68 – Evolução do atrito medido pelo Pêndulo – Superfície Natural

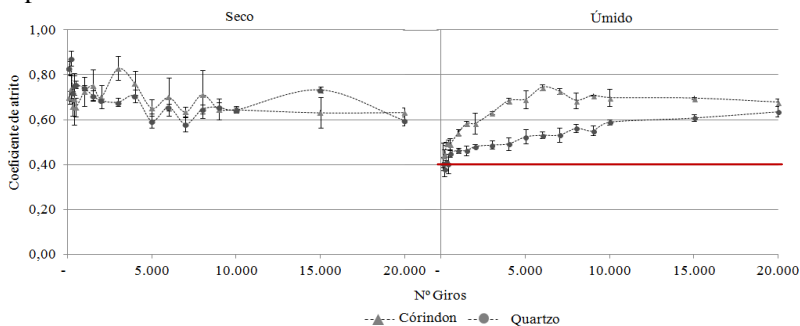


Fonte: Autora, 2019

Na Figura 69 se pode avaliar o comportamento do coeficiente de atrito medido com o DS - Dynamic Slip na superfície Polida. Mais uma vez ocorreu um incremento nos valores de coeficiente de atrito com o aumento do número de giros de desgaste, ou seja, quanto maior o

desgaste da superfície maior o coeficiente de atrito da mesma. Esse comportamento é bastante pronunciado na condição úmida, porém não é observado na condição seca, fato que pode ter sido fortemente influenciado pela grande variabilidade dos resultados, indicados pela barra de erro.

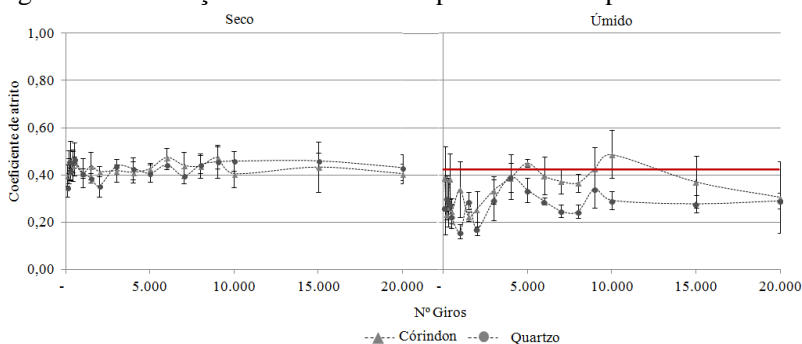
Figura 69 – Evolução do atrito medido pelo DS - Dynamic Slip – Superfície Polida



Fonte: Autora, 2019

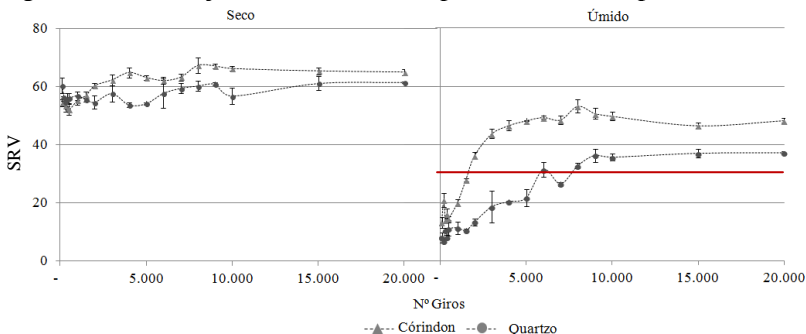
No gráfico da Figura 70 se observa a evolução do coeficiente de atrito medido com o BOT, é possível afirmar que ocorreu um incremento na característica, porém a variabilidade dos resultados foi bastante grande, talvez por isso que esse incremento não seja tão pronunciado.

Figura 70 – Evolução do atrito medido pelo BOT – Superfície Polida



Fonte: Autora, 2019

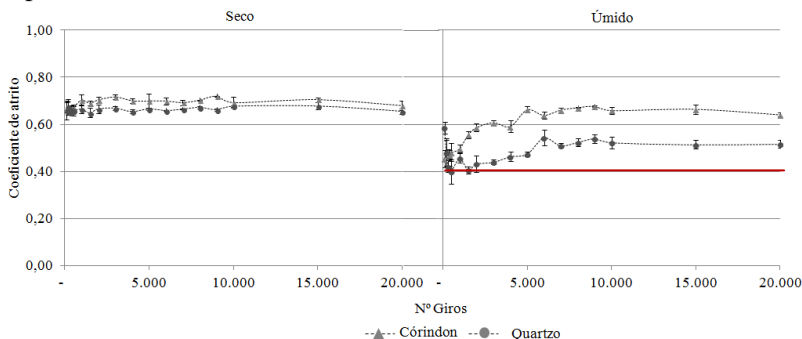
Figura 71 – Evolução do atrito medido pelo Pêndulo– Superfície Polida



Fonte: Autora, 2019

A Figura 71 representa o coeficiente de atrito medido com o pêndulo ainda na superfície Polida, nesse método de ensaio fica fácil de avaliar que ocorre incremento no coeficiente de atrito no decorrer da evolução do desgaste, tanto na condição seca quanto na condição úmida e que é mais pronunciado no desgaste provocado pelo coríndon que possui dureza maior que o quartzo. Mais uma vez é possível perceber que o pêndulo possui maior sensibilidade para perceber diferenças na superfície na condição seca, o que não ocorre com os demais métodos de ensaio.

Figura 72 – Evolução do atrito medido pelo DS - Dynamic Slip – Superfície com cobertura de Coríndon



Fonte: Autora, 2019

Percebe-se na Figura 72 que a variabilidade dos resultados diminuiu consideravelmente para essa superfície, que é mais rugosa por possuir uma cobertura de coríndon que é aplicada antes do processo de

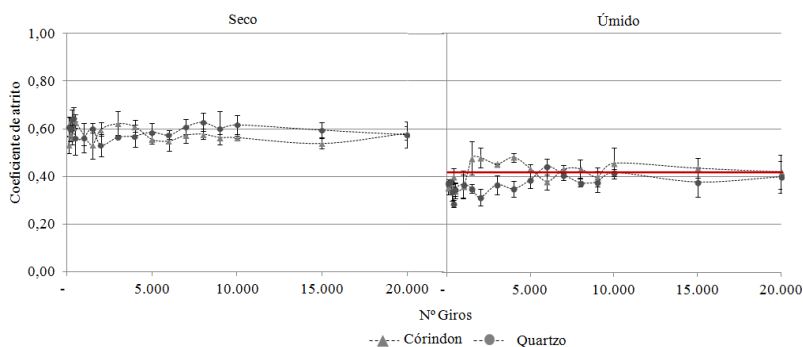
queima e tem por objetivo justamente aumentar a rugosidade da superfície e consequentemente seu coeficiente de atrito.

Nessa superfície em especial o comportamento é diferente das demais apresentadas até o momento, enquanto que nas anteriores se observou um incremento no coeficiente de atrito medido, nessa superfície inicialmente se teve uma leve queda, até os primeiros 1.000 giros, e após o incremento.

A Figura 73 que mostra os resultados com o BOT tem o mesmo comportamento que o explicado na figura anterior, até os primeiros 1.000 giros ocorre a redução do coeficiente de atrito e após o incremento.

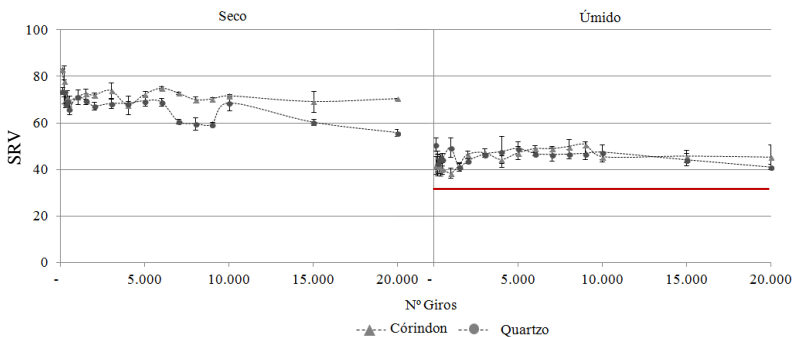
A Figura 74 mostra a evolução do coeficiente de atrito medido com o Pêndulo, o mesmo comportamento é observado. Essa tendência de queda provavelmente está ligada ao desgaste da cobertura de coríndon que é aplicada na superfície do produto antes do processo de queima. Essa cobertura confere maior rugosidade à superfície, o processo de desgaste por abrasão superficial funciona inicialmente como um processo de polimento, retirando a cobertura da superfície do produto, e, portanto, reduzindo seu coeficiente de atrito. Assim que essa cobertura é retirada o processo de desgaste passa a ser semelhante ao que acontece com as demais superfícies apresentadas até aqui, proporcionando o incremento do coeficiente de atrito.

Figura 73 – Evolução do atrito medido pelo BOT – Superfície com cobertura de Córindon



Fonte: Autora, 2019

Figura 74 – Evolução do atrito medido pelo Pêndulo – Superfície com cobertura de Córindon



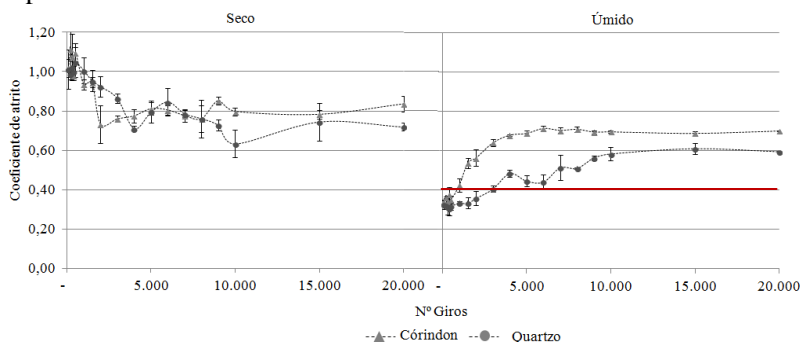
Fonte: Autora, 2019

A Figura 75 mostra a evolução do coeficiente de atrito medido com o DS - Dynamic Slip de uma superfície brilhante. Na condição seca se observa que ocorreu redução no coeficiente de atrito, porém a condição úmida comprova que na realidade ocorre o incremento dessa característica. Os demais resultados com o Pêndulo que serão apresentados a seguir mostram que de fato houve incremento.

O que ocorreu com a condição seca é que durante o procedimento de ensaio em superfícies muito lisas, que é o caso da superfície brilhante, o equipamento por diversas vezes trepida, efeito conhecido como *stick-slip*, e eleva o valor de coeficiente de atrito medido, essa situação é observada em especial na condição seca e sempre que a superfície é muito lisa.

Com a evolução do desgaste a superfície passa a ser mais rugosa, ou seja, menos lisa e esse movimento de trepidação que era observado durante o ensaio passa a não mais acontecer. Portanto na verdade a redução observada no gráfico é decorrência de uma deficiência do equipamento e não de um fenômeno real.

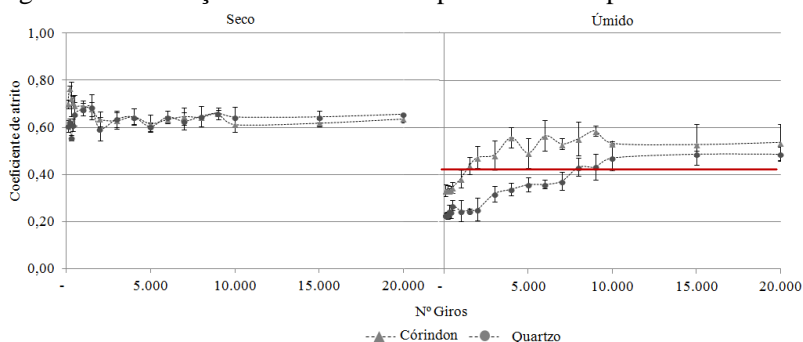
Figura 75 – Evolução do atrito medido pelo DS - Dynamic Slip – Superfície Brilhante



Fonte: Autora, 2019

O comportamento observado na Figura 76 é muito semelhante ao observado no DS - Dynamic Slip, na condição seca ocorre redução do atrito e na condição úmida incremento. Porém a mesma situação de trepidação ocorre na condição seca, mascarando o resultado real.

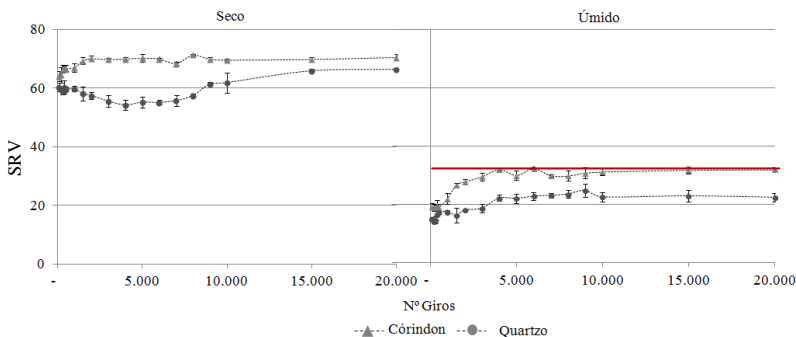
Figura 76 – Evolução do atrito medido pelo BOT – Superfície Brilhante



Fonte: Autora, 2019

A Figura 77 mostra os resultados de coeficiente de atrito medidos com Pêndulo. Percebe-se uma tendência muito semelhante ao que ocorre em superfícies polidas, pois há um acréscimo bastante considerável nos valores de coeficiente de atrito.

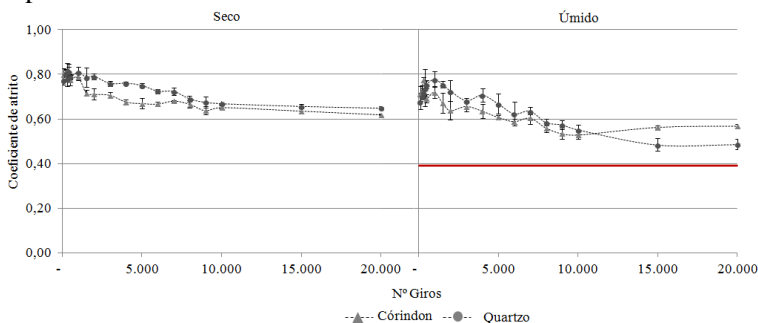
Figura 77 – Evolução do atrito medido pelo Pêndulo – Superfície Brilhante



Fonte: Autora, 2019

A Figura 78 mostra a evolução do coeficiente de atrito medido com o DS - Dynamic Slip com a evolução do desgaste para superfície granilhada. A granilha provoca irregularidades superficiais que têm como objetivo torná-la mais rugosa e, portanto, elevar o coeficiente de atrito. A partir de 1000 giros iniciou um processo de polimento da granilha e iniciou a queda do coeficiente de atrito medido, tanto na condição seca quanto na condição úmida, a diferença é que esse comportamento foi mais pronunciado na condição úmida.

Figura 78 – Evolução do atrito medido pelo DS - Dynamic Slip – Superfície Granilhada

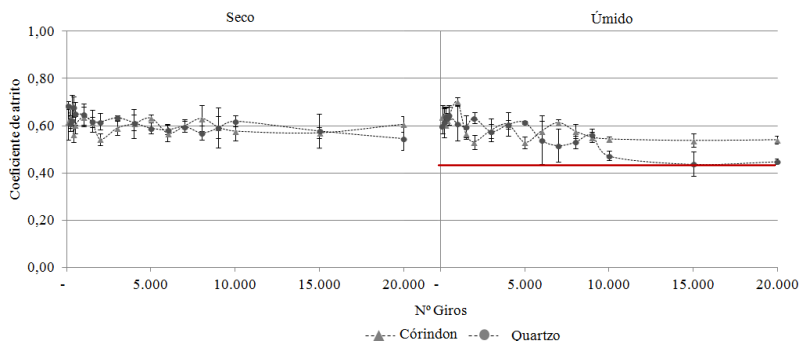


Fonte: Autora, 2019

A Figura 79 confirma o comportamento observado no DS - Dynamic Slip com o uso do BOT, apesar da grande variabilidade dos resultados representado pelas barras de erro, observa-se a tendência de redução do coeficiente de atrito.



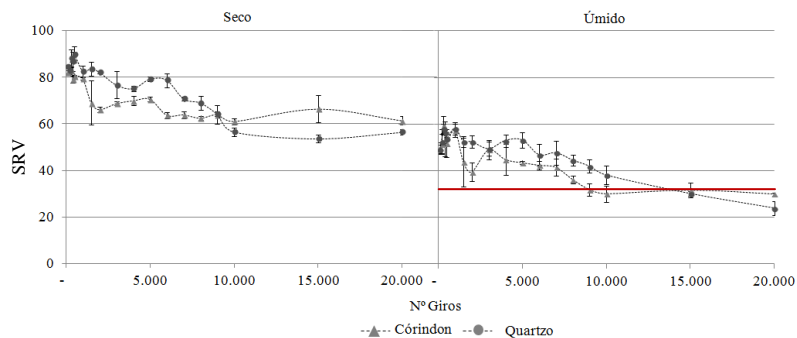
Figura 79 – Evolução do atrito medido pelo BOT – Superfície Granilhada



Fonte: Autora, 2019

A Figura 80 reforça a teoria de polimento da granilha no decorrer do processo abrasivo. O coeficiente de atrito diminui no decorrer da abrasão.

Figura 80 – Evolução do atrito medido pelo Pêndulo – Superfície Granilhada

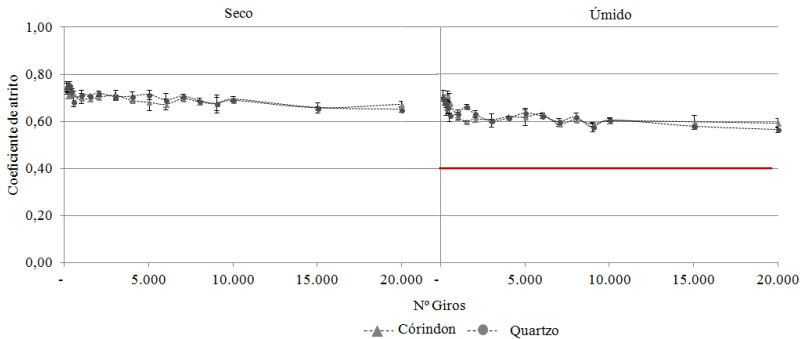


Fonte: Autora, 2019

A Figura 81 mostra o comportamento do coeficiente de atrito em superfície com cobertura de coríndon e relevo. Da mesma forma que ocorreu com a superfície granilhada o coeficiente de atrito reduziu com o passar dos ciclos de abrasão. É importante destacar que em decorrência do relevo bastante pronunciado a abrasão superficial não

ocorre de forma homogênea sobre toda a superfície, mas apesar desse fato, as barras de erro relembram uma pequena variabilidade de resultados.

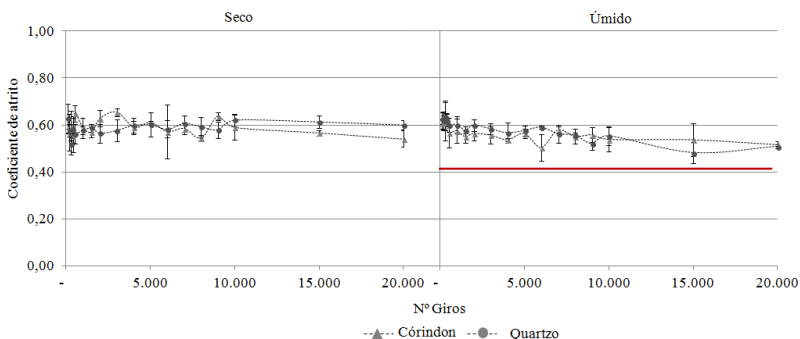
Figura 81 – Evolução do atrito medido pelo DS - Dynamic Slip – Superfície com cobertura de córindon e relevo



Fonte: Autora, 2019

A Figura 82 mostra o comportamento da superfície nos testes com o BOT. Na condição seca não é possível observar grandes alterações no coeficiente de atrito, porém na condição úmida é perceptível que ocorre redução.

Figura 82 – Evolução do atrito medido pelo BOT – Superfície com cobertura de córindon e relevo

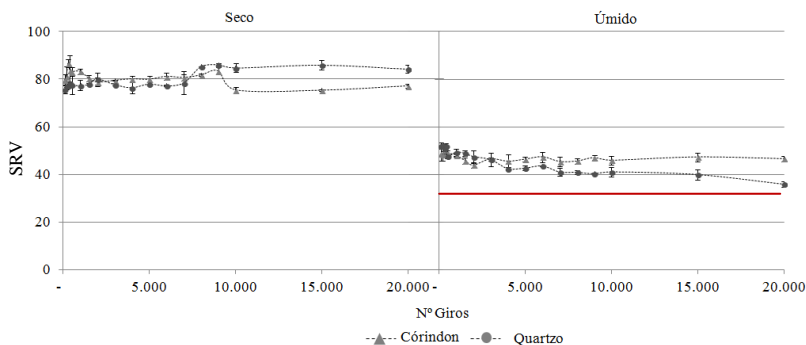


Fonte: Autora, 2019

As medições com o Pêndulo na condição úmida, conforme Figura 83, mostram que ocorre redução no coeficiente de atrito, porém o mesmo não é observado com tanta clareza na condição seca. Essa foi a

única superfície que o pêndulo não conseguiu detectar diferença superficial na condição seca, acredita-se que o relevo da superfície possa ter interferido na realização dos ensaios.

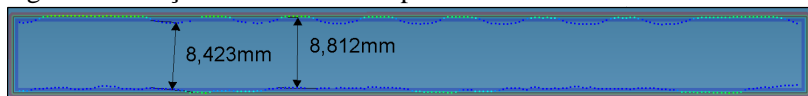
Figura 83 – Evolução do atrito medido pelo Pêndulo – Superfície com cobertura de córindon e relevo



Fonte: Autora, 2019

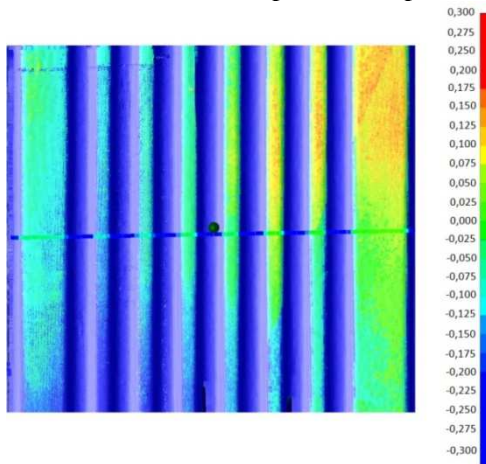
A Figura 84 mostra a seção transversal da amostra, entre o menor relevo e o maior relevo existe uma diferença média de aproximadamente 0,4mm. A Figura 85 mostra a vista superior da superfície com relevo, a escala ao lado da imagem da peça indica a medida do relevo em milímetros. Essa diferença de relevo pode interferir no resultado de coeficiente de atrito medido e também no desempenho do produto em uma situação real de uso. Nessa superfície em especial, quando realizado o teste prático se observou um ótimo desempenho quanto à resistência ao escorregamento, pois o relevo da superfície canaliza a água no momento do teste reduzindo, portanto, a lâmina de líquido formada entre a superfície e o calçado da pessoa que está andando sobre a mesma.

Figura 84 – Seção transversal da superfície com relevo.



Fonte: Autora, 2019

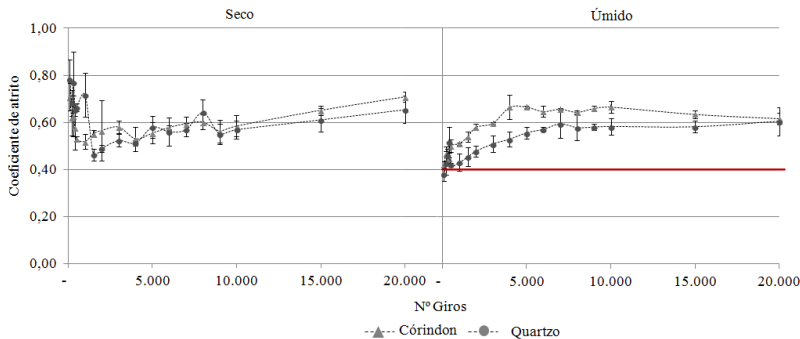
Figura 85 – Gráfico de cores – vista superior da superfície com relevo



Fonte: Autora, 2019

A Figura 86 mostra a evolução do coeficiente de atrito medido com o DS - Dynamic Slip na superfície Esmaltada Polida. O comportamento observado na condição seca é semelhante ao que ocorreu com a superfície Brilhante. Quando a superfície é muito lisa o equipamento trepida e os resultados obtidos não são coerentes. Porém é possível perceber na condição úmida que assim como as demais superfícies, exceto aquelas com cobertura ou granilha, ocorre um incremento no valor de coeficiente de atrito com a evolução do desgaste.

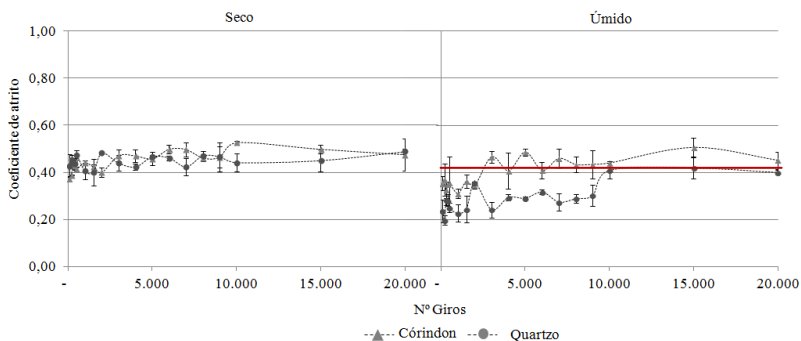
Figura 86 – Evolução do atrito medido pelo DS - Dynamic Slip – Superfície esmaltada Polida



Fonte: Autora, 2019

Apesar da grande variabilidade dos resultados, a Figura 87 mostra que na condição úmida é possível perceber o incremento de atrito.

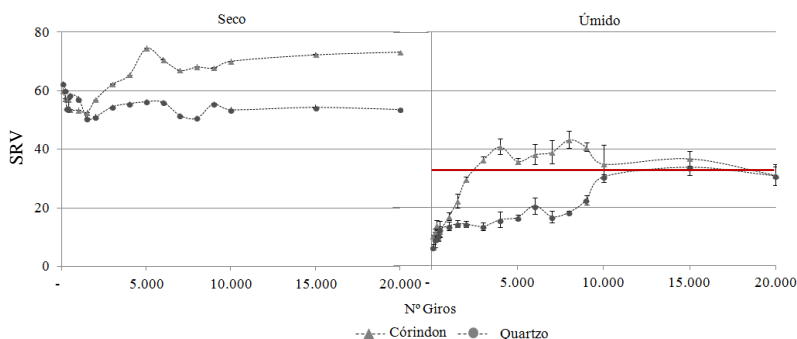
Figura 87 – Evolução do atrito medido pelo BOT – Superfície com esmaltada Polida



Fonte: Autora, 2019

Os resultados do pêndulo, na Figura 88, também mostram que ocorreu incremento nos valores de coeficiente de atrito com o passar do desgaste.

Figura 88 – Evolução do atrito medido pelo Pêndulo – Superfície com esmaltada Polida

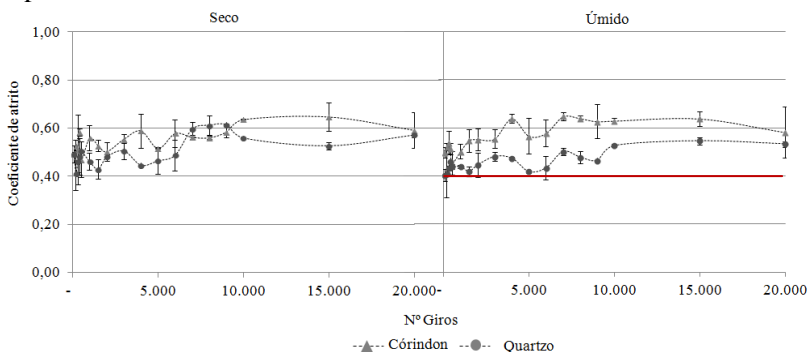


Fonte: Autora, 2019

A Figura 89 mostra a evolução do coeficiente de atrito da pedra polida no decorrer do desgaste. Percebe-se que o desgaste provocado pelo quartzo é mais brando que o desgaste provocado pelo córindon, assim como ocorreu nas superfícies cerâmicas. Também se percebe que no decorrer do desgaste a superfície tende a sofrer um incremento no

coeficiente de atrito, tanto na condição seca quanto na condição úmida. As barras de erro são consideravelmente grandes em virtude da variabilidade natural das pedras utilizadas no teste.

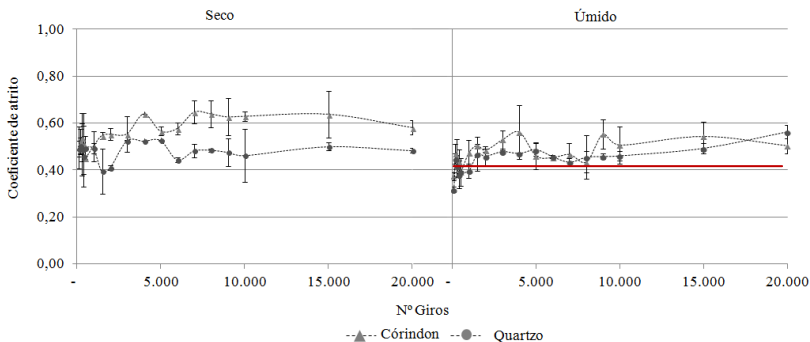
Figura 89 – Evolução do atrito medido pelo DS - Dynamic Slip – Superfície Pedra Polida



Fonte: Autora, 2019

A Figura 90 mostra a evolução do coeficiente de atrito medido no BOT no decorrer do desgaste para a superfície de pedra polida. Os mesmos fenômenos relatados nos resultados com o DS - Dynamic Slip também são observados nesse gráfico. Da mesma forma a variabilidade representada pela barra de erro é grande.

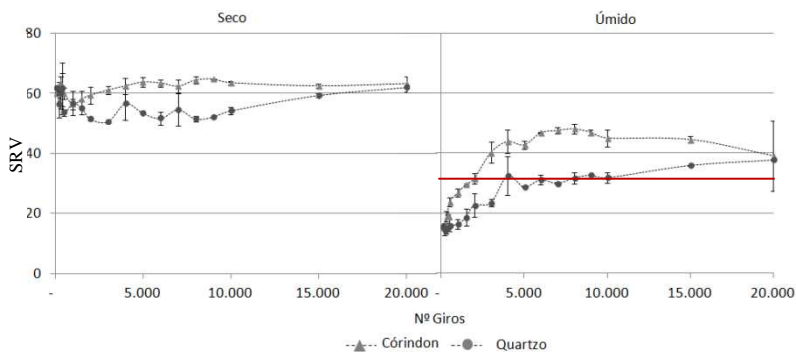
Figura 90 – Evolução do atrito medido pelo BOT – Superfície Pedra Polida



Fonte: Autora, 2019

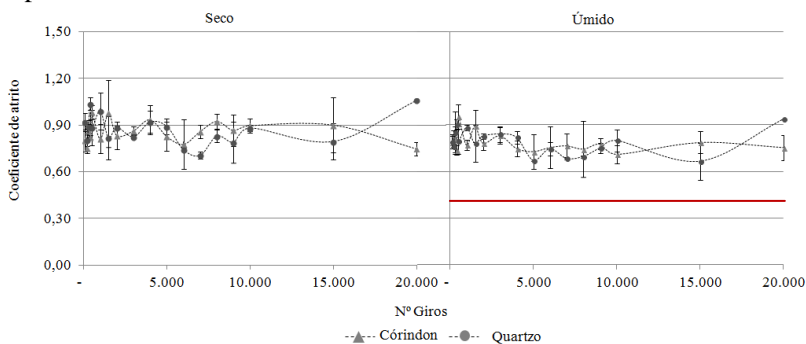
A Figura 91 mostra a evolução do coeficiente de atrito após desgaste com o Pêndulo. Percebe-se novamente um incremento nos valores de coeficiente de atrito com a evolução do desgaste.

Figura 91 – Evolução do atrito medido pelo Pêndulo – Superfície Pedra Polida



Fonte: Autora, 2019

Figura 92 – Evolução do atrito medido pelo DS - Dynamic Slip – Superfície Pedra Miracema



Fonte: Autora, 2019

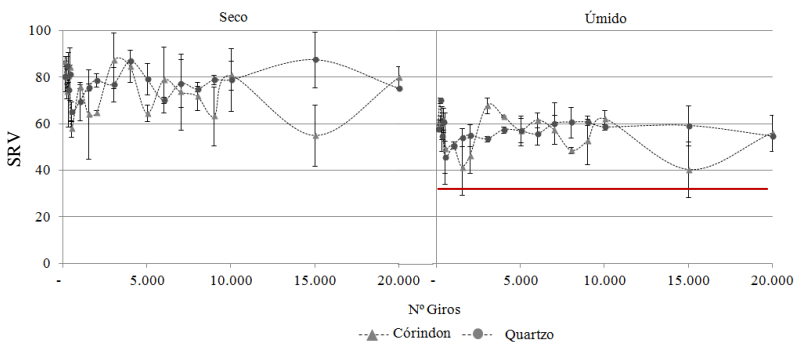
A Figura 92 mostra a evolução do coeficiente de atrito medido com o DS - Dynamic Slip na superfície da pedra Miracema. Nessa superfície em especial não se nota grandes diferenças nos resultados quando se compara o desgaste utilizando córindon e quartzo. Também não é possível determinar que existe uma tendência a ganho ou perda do coeficiente de atrito no decorrer do desgaste. Dentre as superfícies

testadas essa é a superfície mais estável, ou seja, não apresentou modificações consideráveis mesmo após grande desgaste.

Como a pedra miracema apresenta grandes irregularidades superficiais, como diferenças de espessura e relevo, não foi possível realizar as medições com o BOT, uma vez que essas irregularidades poderiam danificar o equipamento.

A Figura 93 mostra a evolução dos resultados de atrito medidos com o Pêndulo no decorrer do desgaste. Os gráficos mostram uma grande variabilidade, e, portanto, não é possível avaliar uma tendência. Essa grande variabilidade está relacionada a grande variação de relevo em uma mesma peça, o que prejudica o ajuste da distância de contato entre a borracha do Pêndulo e a peça, e, portanto, deve interferir de forma determinante no resultado.

Figura 93 – Evolução do atrito medido pelo Pêndulo – Superfície Miracema



Fonte: Autora, 2019

Diante de todas as avaliações percebe-se que entre equipamentos o Pêndulo apresentou melhor desempenho no que diz respeito a sensibilidade de perceber diferenças na superfície em especial na condição seca, enquanto que os demais equipamentos, DS - Dynamic Slip e BOT não apresentam essa sensibilidade.

Pode-se perceber que as superfícies que são originalmente bastante lisas como as Acetinada, Polida, Natural e Brilhante apresentam um incremento de atrito com o passar do desgaste, pois o processo de abrasão remove a película de esmalte que proporciona o estiramento da superfície e o aspecto liso no caso da superfície esmaltada. O desgaste revela irregularidades presentes no interior da camada vítrea ou da massa cerâmica, no caso dos porcelanatos técnicos,



essas irregularidades tornam a superfície mais rugosa e, portanto, com maior coeficiente de atrito.

Assim como ocorreu nas superfícies cerâmicas lisas, também se observou na pedra natural polida um incremento nos valores de coeficiente de atrito medidos pelos diferentes métodos.

Conforme já comprovado a rugosidade influencia de forma direta no coeficiente de atrito medido. Em estudos desenvolvidos por Sariisik (2009) com placas de mármore, foi observado da mesma forma que quanto maior a porosidade do mármore e, portanto, sua rugosidade, maior é o coeficiente de atrito medido e, portanto, maior a resistência ao escorregamento.

As superfícies que já possuem irregularidades como as superfícies granilhadas e com cobertura de coríndon sofreram um processo de polimento, onde as irregularidades foram desbastadas gradualmente, e o coeficiente de atrito reduziu no decorrer do desgaste.

Testes semelhantes realizados por Derler et al. (2015), mostraram que o desgaste mecânico produzido pelo trânsito de pedestres durante um período de um ano afetou a resistência ao deslizamento das diversas superfícies de diferentes maneiras e em graus variados. Nos testes de Derler et al. (2015), as medidas de coeficiente de atrito em superfícies rugosas (resistentes ao escorregamento) geralmente diminuíram com o tempo, assim como discutido e mostrado pelos gráficos do presente trabalho, Deler et al. (2015) também observaram tendência de aumento no coeficiente de atrito para superfícies relativamente lisas, assim como já discutido anteriormente, nas superfícies de teste lisas, se observou incremento nos valores de coeficiente de atrito.

Derler (2015) afirma em seus estudos que o mecanismo de desgaste predominante em superfícies lisas são arranhões na rugosidade da superfície, esses arranhões podem contribuir para o aumento do coeficiente de atrito, já para superfícies rugosas, os mecanismos típicos de desgaste encontrados foram o polimento de superfície e abrasão de grânulos. Acredita-se que o mesmo mecanismo de desgaste tenha ocorrido no presente trabalho, uma vez que os resultados foram muito semelhantes.

#### **5.4.2 Evolução dos parâmetros de rugosidade**

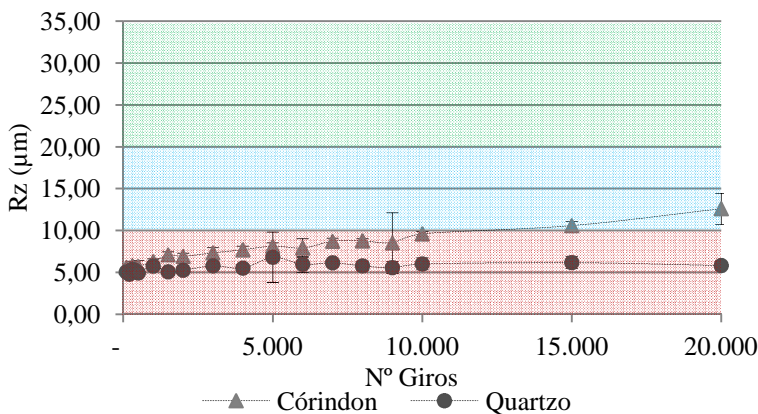
A seguir serão apresentados gráficos do parâmetro de rugosidade  $R_z$ . Não serão apresentados os demais parâmetros visto que conforme apresentado na Tabela 16 os parâmetros de rugosidade  $R_a$ ,

Rq, Rz, Rp, Rv, Rt e Rk mantém entre si uma relação linear, além disso o parâmetro Rz é citado pelo Guia de Resistência ao Escorregamento do Reino Unido que correlaciona padrões de rugosidade Rz com e resistência ao escorregamento de superfícies.

A Figura 94 mostra a evolução do parâmetro Rz no decorrer do desgaste. Assim como esperado, o parâmetro sofre alteração no decorrer do desgaste, quanto maior o desgaste maior o valor de Rz. A superfície inicia com aproximadamente 5  $\mu\text{m}$  e quando a superfície foi desgastada com 20.000 giros com córindon assume valor próximo a 12  $\mu\text{m}$ , e com quartzo próximo a 6  $\mu\text{m}$ . Ou seja, a superfície passou por um processo de desgaste o qual revelou porosidade e irregularidades internas da camada vítrea, consequentemente reduzindo o brilho da superfície, conforme será visto mais adiante. A alteração do parâmetro Rz foi muito mais evidente no desgaste provocado pelo coríndon do que no desgaste comprovado pelo quartzo.

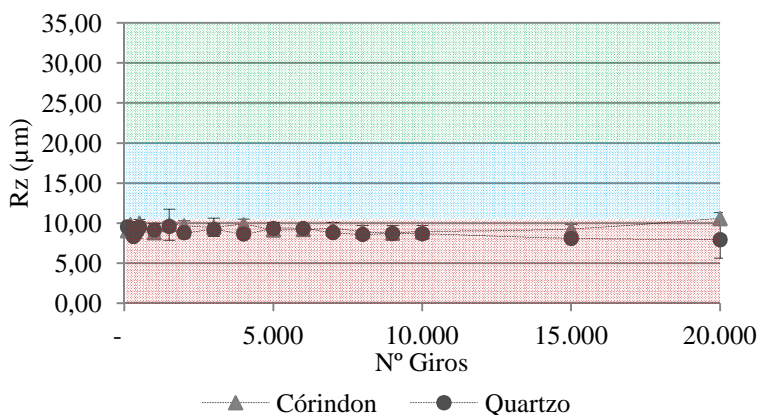
As cores no gráfico indicam o potencial de escorregamento, indicado pelo Guia de Resistência ao Escorregamento do Reino Unido, a área vermelha indica um alto potencial ao escorregamento, a área azul um potencial moderado, e a área verde baixo potencial de escorregamento. Portanto mesmo após o desgaste e o incremento no parâmetro Rz a superfície ainda pode ser considerada de alto potencial a escorregamento.

Figura 94 – Evolução do parâmetro Rz no decorrer do desgaste – Superfície Acetinada



A Figura 95 mostra como evoluiu o parâmetro Rz no decorrer do desgaste na superfície Natural. Conforme observado no gráfico, praticamente não ocorreram modificações nesse parâmetro apesar de conforme apresentado anteriormente o coeficiente de atrito ter sofrido um incremento. O parâmetro Rz fica no limiar da área vermelha e azul, pois apresentou valores de Rz próximos a 10  $\mu\text{m}$ .

Figura 95 – Evolução do parâmetro Rz no decorrer do desgaste – natural Decorada



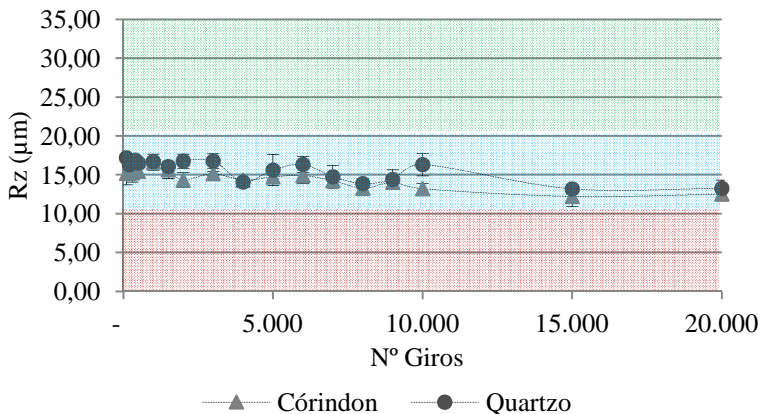
Fonte: Autora, 2019

A Figura 96 mostra a evolução do parâmetro de Rz para a superfície natural, no decorrer do desgaste. O Rz se mantém praticamente estável com pequenas oscilações, porém a superfície mesmo após os desgastes se mantém na área azul, ou seja, possui potencial de escorregamento moderado, mesmo após passar por um intenso processo de desgaste.

A Figura 97 mostra o comportamento do parâmetro Rz no decorrer do desgaste da superfície Polida. Essa superfície parte de valores de Rz próximos a 5  $\mu\text{m}$ , e no decorrer da evolução do desgaste assume valores bem maiores, próximos a 12  $\mu\text{m}$  e 10  $\mu\text{m}$  para o desgaste com córindon e quartzo respectivamente, ao assumir esses valores a superfície deixa a área vermelha destacada no gráfico, área de alto potencial de escorregamento e passa a ficar na área azul, área de potencial de escorregamento moderado.

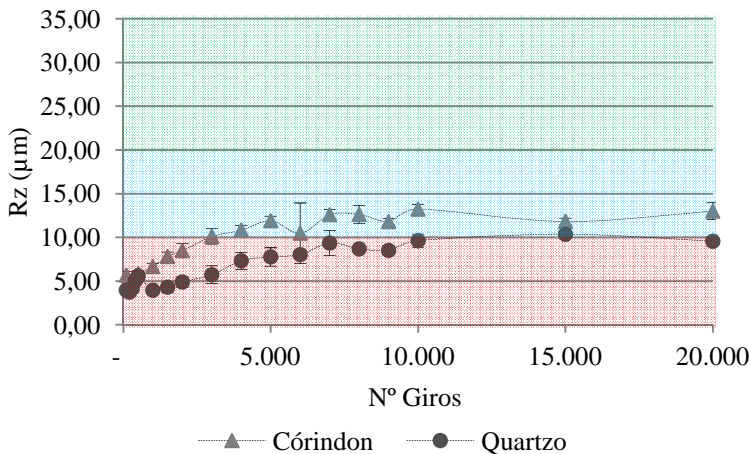
Além do incremento do coeficiente de atrito, também houve uma grande redução no brilho medido, conforme será visto mais adiante. O incremento é maior quando o desgaste é realizado com coríndon por possuir maior dureza que o quartzo.

Figura 96 – Evolução do parâmetro Rz no decorrer do desgaste – Superfície Natural



Fonte: Autora, 2019

Figura 97 – Evolução do parâmetro Rz no decorrer do desgaste – Superfície Polida



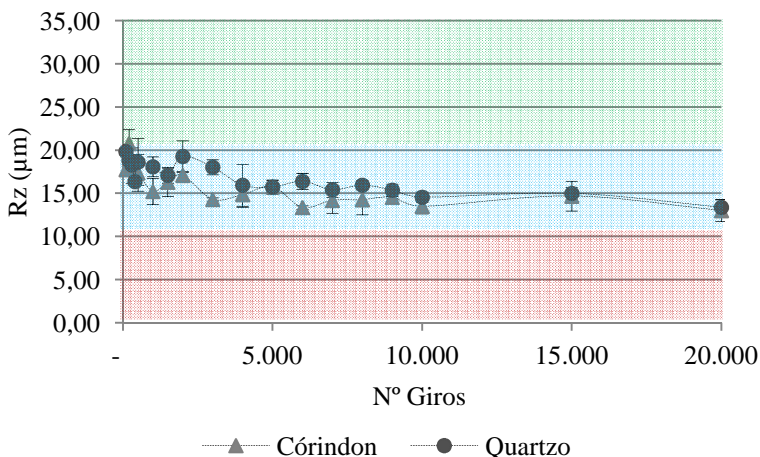
Fonte: Autora, 2019

A Figura 98 mostra a evolução do parâmetro Rz no decorrer do desgaste da superfície com cobertura com coríndon, que diminui no decorrer do desgaste, pois inicia com valor próximo a 18  $\mu\text{m}$  e após 20.000 giros obtém valores próximos a 12  $\mu\text{m}$ . Mesmo com a redução do parâmetro Rz, a superfície se mantém com a mesma classificação de potencial de escorregamento, classificado como moderado.

A Figura 99 mostra a evolução do parâmetro Rz no decorrer do desgaste para superfície Brilhante. A superfície tem um aumento no parâmetro Rz no decorrer do desgaste, assim como também sofre incremento nos valores de coeficiente de atrito e redução do brilho. Com o desgaste as irregularidades e porosidades da camada vítrea são reveladas e, portanto, o brilho reduz, conforme será visto adiante e o coeficiente de atrito aumenta.

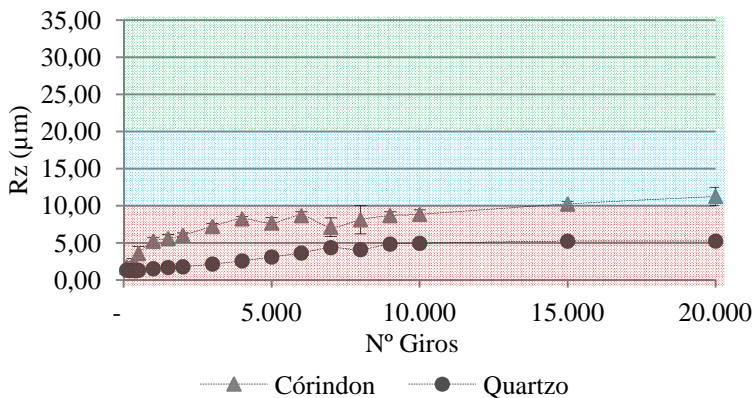
Esse incremento ocorre de forma mais acentuada quando o ensaio é realizado com coríndon, devido a sua dureza ser maior que a dureza do quartzo.

Figura 98 – Evolução do parâmetro Rz no decorrer do desgaste – Superfície com cobertura de coríndon



Fonte: Autora, 2019

Figura 99 – Evolução do parâmetro Rz no decorrer do desgaste – Superfície Brilhante



Fonte: Autora, 2019

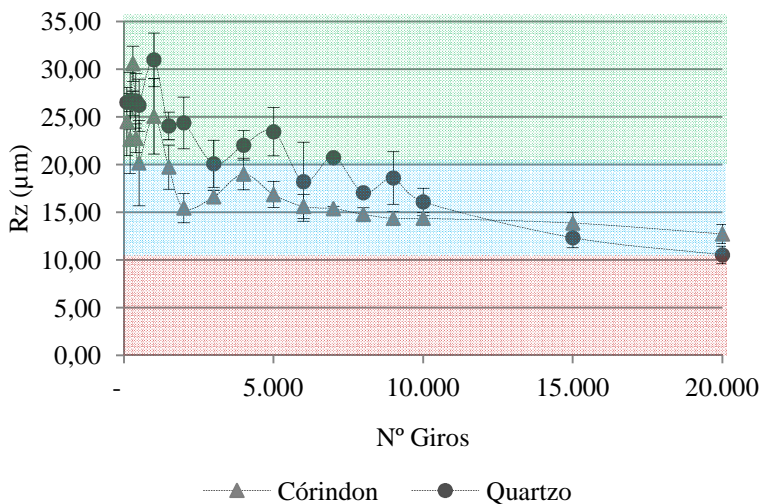
A Figura 100 mostra a evolução do parâmetro Rz na superfície granilhada. Conforme observado com os resultados de coeficiente de atrito, ocorre uma espécie de polimento superficial, onde as irregularidades na superfície granilhada vão sendo eliminadas pelo processo de abrasão e a superfície vai se tornando mais lisa no decorrer do processo.

As barras de erros são maiores na superfície granilhada, pois existe uma maior variabilidade na superfície justamente pela falta de homogeneidade na aplicação de granilha. Observa-se também nesse caso que o coríndon proporciona desgaste maior.

A superfície que inicialmente possui valores bem elevados de Rz, variando entre 25  $\mu\text{m}$  e 30  $\mu\text{m}$ , e, portanto, possui baixo potencial de escorregamento, no decorrer do desgaste tem esse valor reduzido e passa para o potencial de escorregamento moderado.

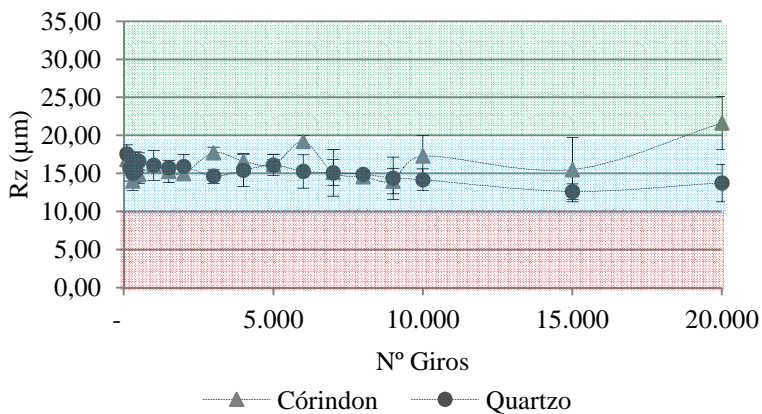
A Figura 101 mostra a evolução do parâmetro Rz da superfície com coríndon e relevo. Observa-se que ocorre uma redução do parâmetro, assim como também ocorreu a redução do coeficiente de atrito medido, exceto para 20.000 giros, onde houve um incremento no parâmetro.

Figura 100 – Evolução do parâmetro Rz no decorrer do desgaste – Superfície Granilhada



Fonte: Autora, 2019

Figura 101 – Evolução do parâmetro Rz no decorrer do desgaste – Superfície com cobertura de coríndon e relevo



Fonte: Autora, 2019

A Figura 102 mostra a evolução do parâmetro Rz na superfície esmaltada Polida. Observa-se um grande incremento no parâmetro, da mesma forma que nos casos anteriores de superfícies lisas, a porosidade presente na camada vítrea é revelada e dessa forma ocorre o aumento do coeficiente de atrito medido, redução do brilho, conforme será discutido a seguir e aumento do parâmetro Rz.

Assim como ocorreu com as demais superfícies as alterações, seja pelo surgimento de irregularidades ou pelo polimento da superfície ocorrem de forma mais intensa quando o coríndon é utilizado como material abrasivo.

A Figura 103 mostra como se comporta o parâmetro Rz na pedra natural polida. Nesse caso espera-se maior variabilidade dos resultados, uma vez que a pedra por si só já apresenta uma superfície pouco homogênea. Percebe-se através do gráfico que ocorre um grande aumento nos valores de Rz no decorrer do desgaste, o mesmo observado com os valores de coeficiente de atrito que aumentam consideravelmente no decorrer do desgaste.

Não foram realizadas medidas de rugosidade com a pedra miracema em decorrência da grande irregularidade da superfície, o que poderia danificar o equipamento de medição.

Figura 102 – Evolução do parâmetro Rz no decorrer do desgaste – Superfície esmaltada Polida

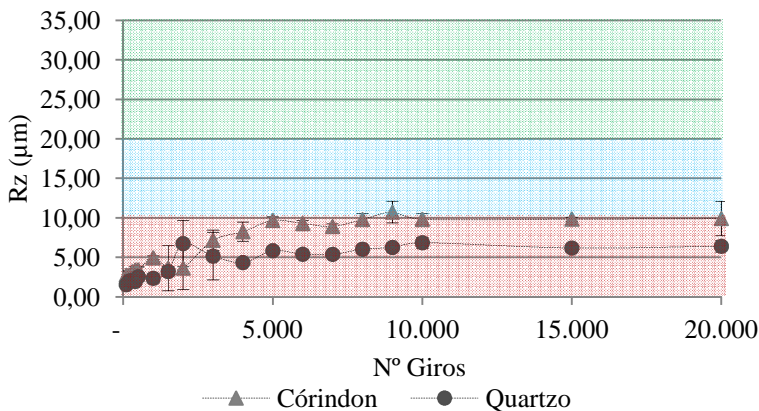
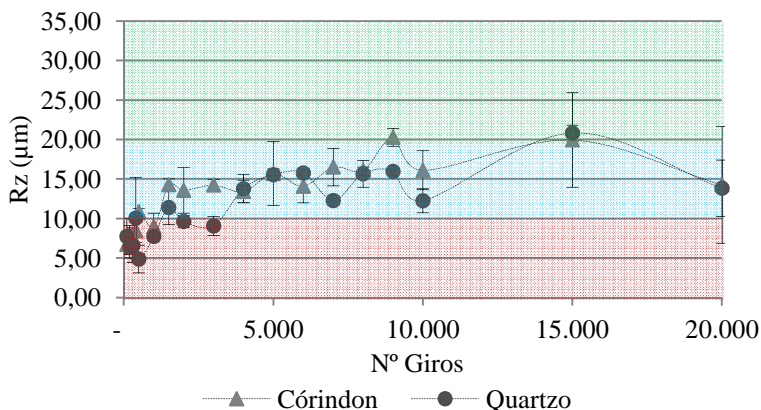




Figura 103 – Evolução do parâmetro Rz no decorrer do desgaste – Pedra Polida



Fonte: Autora, 2019

Após a análise de todas as superfícies ficou evidente que existe relação entre o coeficiente de atrito e os parâmetros de rugosidade, porém essa relação não funcionou muito bem pra as duas superfícies de porcelanato naturais, pois o parâmetro Rz praticamente não se alterou no decorrer do desgaste. Ou seja, apesar de ser um ótimo indicativo sobre o coeficiente de atrito de uma superfície, a medição dessa característica por meio de equipamento adequado, DS - Dynamic Slip, BOT e Pêndulo, não devem ser ignoradas.

Manning e Jones, (2001) afirmam que não é possível, especificar um determinado nível de rugosidade para garantir a máxima segurança, mas a evidência experimental suporta a afirmação de que haverá um maior grau de resistência ao deslizamento em superfícies de grande rugosidade.

Kim e Smith (2000) realizaram estudos analisando a rugosidade de um piso rugoso antes e após processo de desgaste, os resultados indicam que a altura da rugosidade e a profundidade média foram significativamente reduzidas após os testes de desgaste, as análises também mostraram que os parâmetros da superfície sofriam grandes variações inicialmente, mas, posteriormente, essas mudanças foram menos intensas. As discussões realizadas acima com superfícies rugosas, com cobertura e granilhada, mostra que o presente trabalho obteve resultados semelhantes, pois a rugosidade dessas superfícies,

representada pelo parâmetro Rz, reduziu ao longo do processo de abrasão.

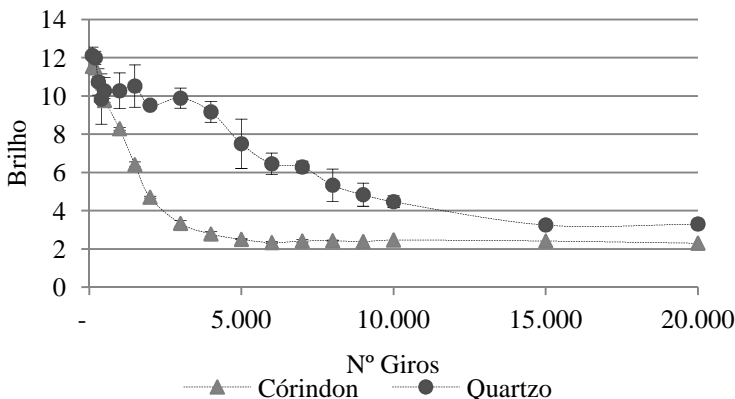
### 5.4.3 Evolução do brilho superficial

Com a evolução do desgaste, ou seja, com o aumento do número de giros ao qual a superfície é submetida, conforme já explicado, ocorre a alteração do coeficiente de atrito da superfície em questão. Porém além do coeficiente de atrito também ocorrem alterações na sua aparência. A seguir serão discutidos e apresentados os resultados referentes a variações no brilho das superfícies.

A Figura 104 mostra a evolução do brilho na superfície acetinada. A superfície que inicialmente possui em torno de 12 pontos de brilho, no decorrer do desgaste tem seu brilho reduzido até atingir e estabilizar em 2 pontos. O desgaste provocado pelo coríndon ocorre de forma muito mais rápida do que o desgaste provocado pelo quartzo. Com o coríndon a superfície atinge seu ponto mínimo de brilho com aproximadamente 5.000 giros, já com o quartzo a superfície fica com aproximadamente 3 pontos de giros somente após 15.000 giros. Portanto mais uma vez se comprova que a dureza do material abrasivo tem grande influência no processo de abrasão superficial.

A superfície acetinada é caracterizada por ser bastante lisa e regular, com o desgaste as irregularidades, porosidades presentes no interior da camada vítrea formada pelo esmalte são reveladas e dessa forma o brilho é diminuído.

Figura 104 – Evolução do brilho – Superfície Acetinada



A Figura 105 mostra a evolução do brilho na superfície natural decorada. O produto inicia com brilho semelhante à superfície acetinada, com aproximadamente 12 pontos, e no decorrer do desgaste ocorre a redução do brilho. Nos testes com coríndon como material abrasivo, a estabilização do brilho ocorre a aproximadamente 5.000 giros, com 2 pontos. Já com a utilização do quartzo essa estabilização ocorre depois dos 20.000 giros.

Apesar dessa superfície ser de porcelanato natural, e, portanto, possuir uma pequena camada vítrea, da mesma forma o interior da massa cerâmica que compõe o porcelanato possui porosidade e irregularidades, com o passar do desgaste essas irregularidades e porosidades são reveladas, tornando a superfície mais irregular e, portanto, reduzindo o brilho.

A Figura 106 mostra o brilho da superfície natural. Apesar dessa superfície possuir menor brilho que as demais superfícies já apresentadas o comportamento também foi bastante semelhante, pois o brilho também se estabilizou próximo a 2 pontos. Nos testes que utilizaram coríndon como material abrasivo a estabilização ocorreu com aproximadamente 6.000 giros. Já com o quartzo a estabilização provavelmente deve ocorrer apenas após 20.000 giros.

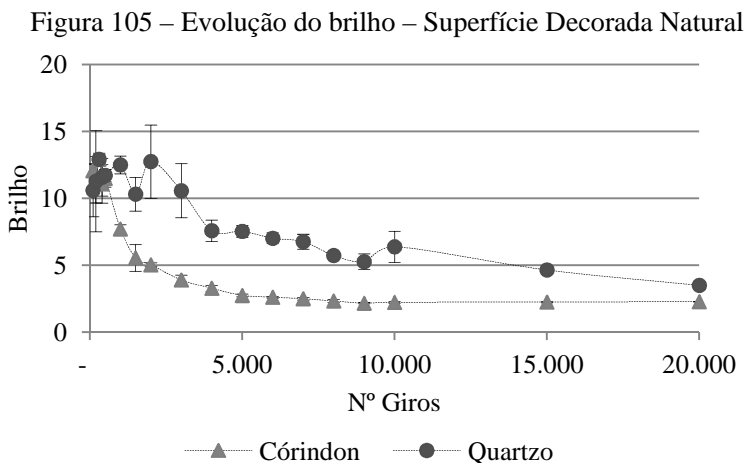
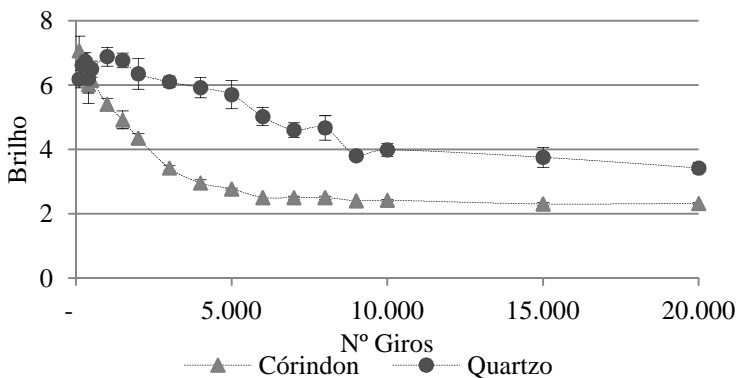


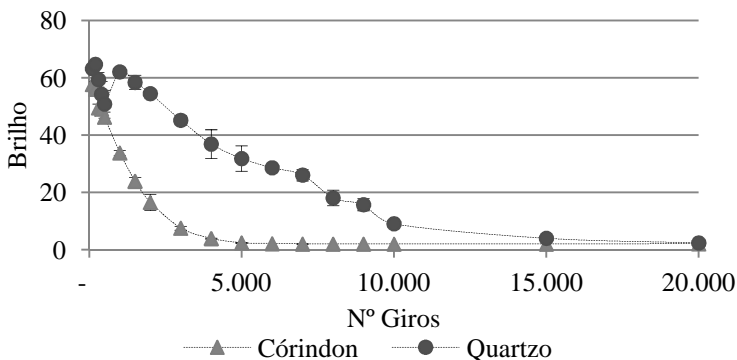
Figura 106 – Evolução do brilho – Superfície Natural



Fonte: Autora, 2019

A superfície Polida é caracterizada pelo grande brilho da superfície, a Figura 107 mostra que a superfície possui aproximadamente 65 pontos de brilho. No decorrer do desgaste as irregularidades internas da massa são reveladas e por isso o brilho diminui. Mais uma vez a estabilização do brilho, em aproximadamente 1 ponto ocorre após 5.000 giros com uso do coríndon e 15.000 com uso do quartzo.

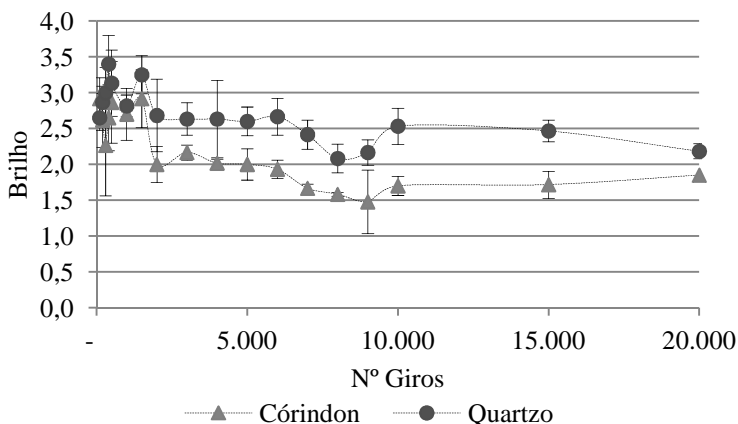
Figura 107 – Evolução do brilho – Superfície Polida



Fonte: Autora, 2019

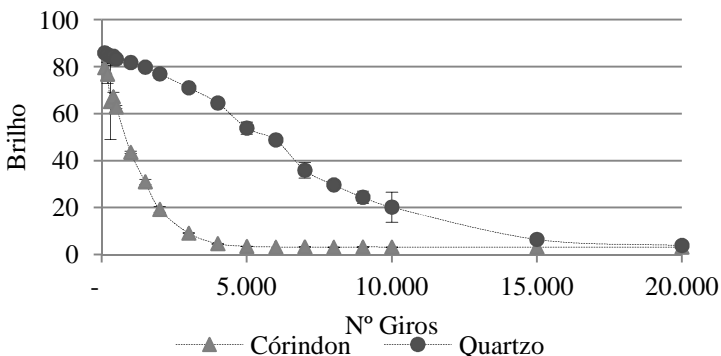
A Figura 108 mostra a superfície com cobertura de coríndon, essa superfície possui inicialmente brilho próximo a 3 pontos, nesse caso a perda de brilho começa a ocorrer apenas após os 2.000 primeiros giros. A perda de brilho nessa superfície não é facilmente observada a olho nu, pois ela já possui pouco brilho. Esse comportamento atípico ocorreu também com o coeficiente de atrito, pois o incremento do coeficiente de atrito iniciou-se apenas após o 1.000 giros.

Figura 108 – Evolução do brilho – Superfície com cobertura de coríndon



Fonte: Autora, 2019

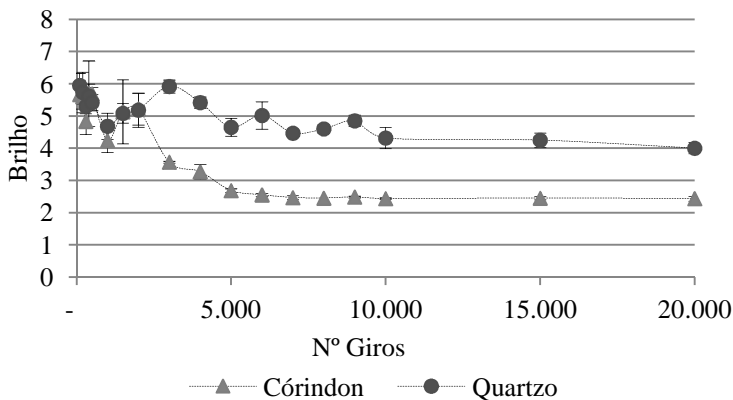
Figura 109 – Evolução do brilho – Superfície Brilhante



Fonte: Autora, 2019

A Figura 109 mostra a perda de brilho da superfície brilhante. Essa superfície é composta por uma camada vítrea estirada e sem irregularidades. Ela possui inicialmente aproximadamente 85 pontos e no decorrer do desgaste perde o brilho até atingir aproximadamente 2 pontos. Utilizando o coríndon como material abrasivo o brilho se estabiliza em aproximadamente 2 pontos em 5.000 giros, com o quartzo em 15.000 giros.

Figura 110 – Evolução do brilho – Superfície Granilhada

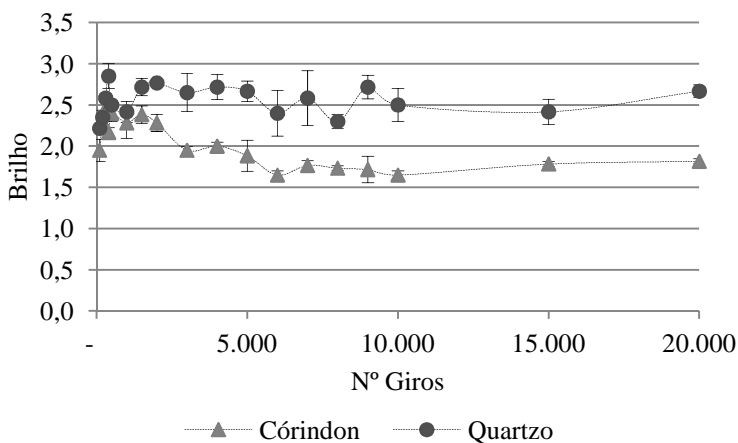


Fonte: Autora, 2019

A Figura 110 mostra a perda de brilho da superfície granilhada. Essa superfície possui grandes irregularidades e com o passar do desgaste essas irregularidades são polidas e eliminadas, tornando a superfície mais regular e dessa forma até 2.000 giros não ocorre perda significativa do brilho.

A Figura 111 mostra a evolução do brilho da superfície com cobertura e relevo. A superfície possui brilho inicial próximo a 3 pontos, e não houve grandes alterações de brilho no decorrer do desgaste. Mais uma vez o relevo da superfície pode ter interferido na precisão dos resultados medidos. Entretanto fica evidente que produtos com pouco brilho sofrem pouca alteração nessa característica no decorrer do desgaste.

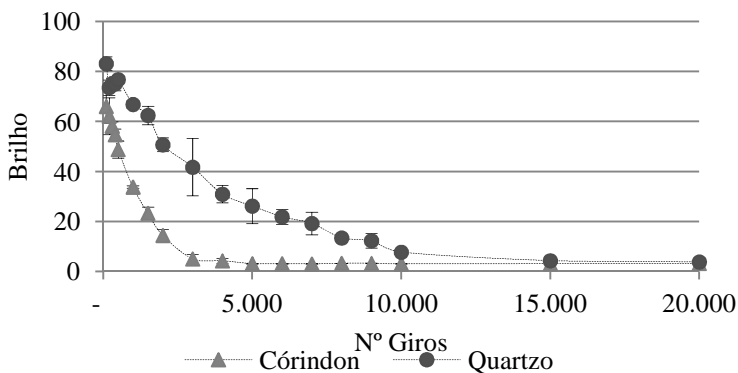
Figura 111 – Evolução do brilho – Superfície com cobertura de coríndon e relevo



Fonte: Autora, 2019

A Figura 112 mostra como ocorreu a perda de brilho na superfície esmaltada polida. O produto que inicialmente possui brilho de aproximadamente 85 pontos perde o mesmo de forma muito rápida, em especial com uso de coríndon como material abrasivo. Com 3000 giros o produto já tem aproximadamente 3 pontos de brilho, quando estabiliza, com uso do quartzo essa estabilização ocorre a 15.000 giros.

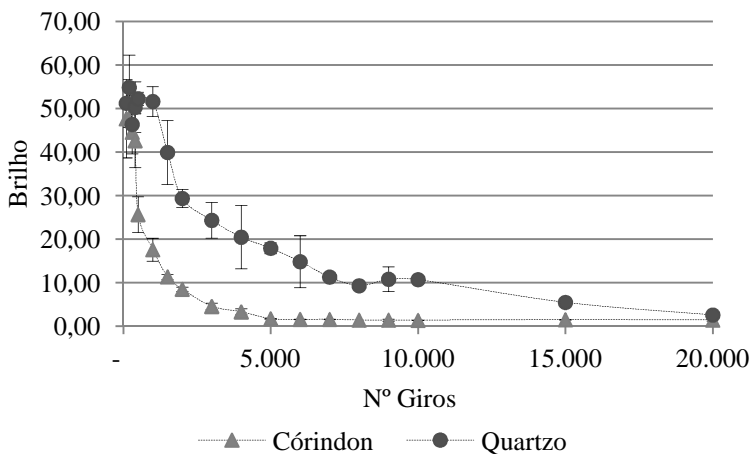
Figura 112 – Evolução do brilho – Superfície Esmaltada Polida



Fonte: Autora, 2019

A Figura 113 mostra a evolução do brilho no decorrer do desgaste da pedra polida, no desgaste com córindon ocorre a perda de brilho até aproximadamente 3.000 giros, após o brilho atinge o seu mínimo e não se modifica mais no decorrer do desgaste. Esse comportamento é muito parecido com o observado na superfície esmaltada polida, pois ocorre a perda de brilho máxima também após 3.000 giros. Se for realizada a comparação com a superfície técnica polida, já é possível perceber diferenças pois na superfície técnica polida a perda de brilho máxima ocorre a 5.000 giros.

Figura 113 – Evolução do brilho – Pedra Polida

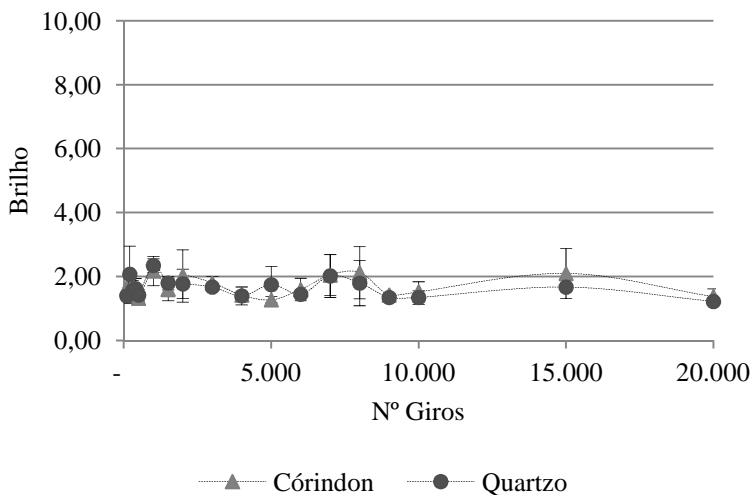


Fonte: Autora, 2019

A Figura 114 mostra a evolução do brilho da pedra Miracema. Conforme pode ser observado, essa pedra já possui brilho muito próximo a zero antes mesmo do processo de abrasão superficial, e, portanto, mesmo com o desgaste o brilho não é alterado.



Figura 114 – Evolução do brilho – Miracema



Fonte: Autora, 2019

### 5.3.4 Evolução da cor

As análises colorimétricas realizadas nas amostras antes e após o desgaste não trouxeram resultados satisfatórios para que se possa realizar uma análise confiável. Isso se deve ao fato de as amostras testadas serem na maioria dos casos decoradas com diferentes desenhos, dessa forma a cor do produto pode variar de acordo com o ponto de medição apontado pelo colorímetro, o que resulta em uma grande variabilidade dos resultados.

Apesar de não ser possível avaliar a diferença de cor com uso de  $\Delta E$ , diferença total de cor, foi possível perceber uma tendência de algumas superfícies de aumentarem o valor da coordenada L, que indica a luminosidade da cor, ou seja, o quanto ela varia entre claro e escuro.

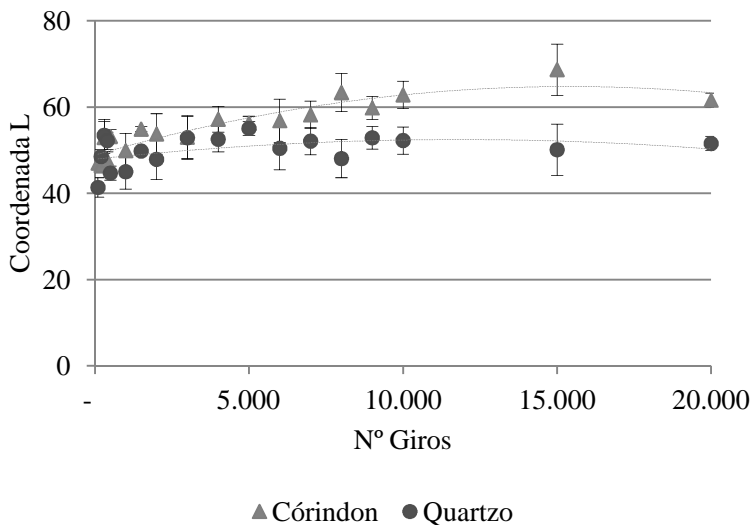
De acordo com o que será exposto a seguir, pode-se afirmar tanto com a análise colorimétrica da coordenada L, quanto com a análise visual que quanto maior o número de giros utilizados para reproduzir o desgaste, mais clara a amostra fica, ou seja, sua coordenada L aumenta. Esse aumento é em especial observado em superfícies de coloração mais escura.

A Figura 115 mostra a evolução da coordenada L no decorrer do processo de abrasão, é importante lembrar que essa superfície possui

decoreção e coloração escura. Assim como observado visualmente, com a evolução do desgaste a superfície se torna cada vez mais branca. Isso se deve ao fato do processo de desgaste retirar a camada superficial de tinta da superfície, que é o que confere a cor e decorção ao produto. Abaixo da camada de tinta, existe a camada vítrea de esmalte que é branca e abaixo ainda da camada de esmalte existe acamada de engobe, também branca. Diante dessa composição de camadas, o produto assume a coloração esbranquiçada no decorrer do desgaste.

Como o coríndon possui maior dureza quando comparado com o quartzo, esse produz a mudança na cor da superfície de forma mais rápida.

Figura 115 – Evolução da coordenada L – Superfície com cobertura de coríndon e relevo

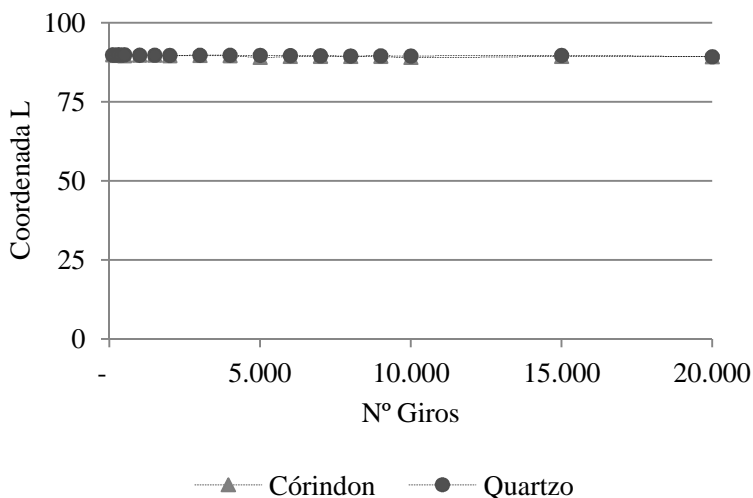


Fonte: Autora, 2019

A Figura 116 mostra o comportamento da coordenada L no decorrer do desgaste. A superfície brilhante tem a coloração completamente branca, sem nenhuma decorção. Nesse caso não ocorreu nenhuma alteração significativa na coordenada L já que apesar do desgaste modificar a superfície não existe nenhuma camada superficial de tinta, dessa forma o desgaste mesmo proporcionando

alterações em outras características, conforme já discutido, não promove a modificação da cor do produto.

Figura 116 – Evolução da coordenada L – Superfície Brilhante



Fonte: Autora, 2019

A Figura 117 e Figura 18 mostram as imagens das superfícies abrasionadas. Com a análise visual é possível perceber a forte influência da cor da superfície na percepção visual do desgaste. Quanto mais escura for a superfície, mais facilmente será possível perceber o desgaste quando se fala em superfícies cerâmicas. Já no caso das pedras naturais, mesmo elas apresentando coloração escura, o desgaste dificilmente é percebido visualmente. Isso se deve ao fato de que a pedra natural possui homogeneidade em toda a sua composição, enquanto que os revestimentos cerâmicos esmaltados possuem a decoração superficial e o esmalte, normalmente branco.

Figura 117 – Evolução visual do desgaste

Nº Giros	Acetinada		Cobertura de Córindon e Relevo		Cobertura de Córindon		Granilhado		Brilhante	
	Córindon	Quartzo	Córindon	Quartzo	Córindon	Quartzo	Córindon	Quartzo	Córindon	Quartzo
100										
200										
300										
400										
500										
1000										
1500										
2000										
3000										
4000										
5000										
6000										
7000										
8000										
9000										
10000										
15000										
20000										

Fonte: Autora, 2019

Figura 118 – Evolução visual do desgaste

Nº Giros	Técnico Polido		Esmaltado Polido		Natural Decorado		Técnico Natural		Granito PO		Miracema	
	Córindon	Quartzo	Córindon	Quartzo	Córindon	Quartzo	Córindon	Quartzo	Córindon	Quartzo	Córindon	Quartzo
100												
200												
300												
400												
500												
1000												
1500												
2000												
3000												
4000												
5000												
6000												
7000												
8000												
9000												
10000												
15000												
20000												

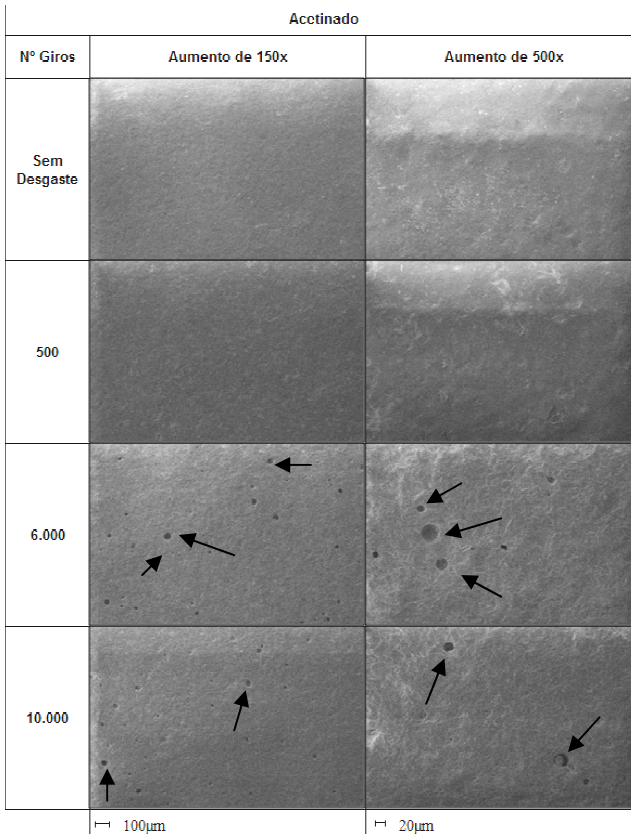
Fonte: Autora, 2019

### 5.4.5 Análise Microestrutural após desgaste

Para realizar a análise microestrutural por meio de microscopia eletrônica de varredura, foram selecionados diferentes ciclos de abrasão superficial. Foram analisadas todas as superfícies estudadas, sendo elas

isentas de desgaste, após 500 giros, após 6.000 giros e após 10.000 giros.

Figura 119 – Microscopia Eletrônica de Varredura - Superfície Acetinada



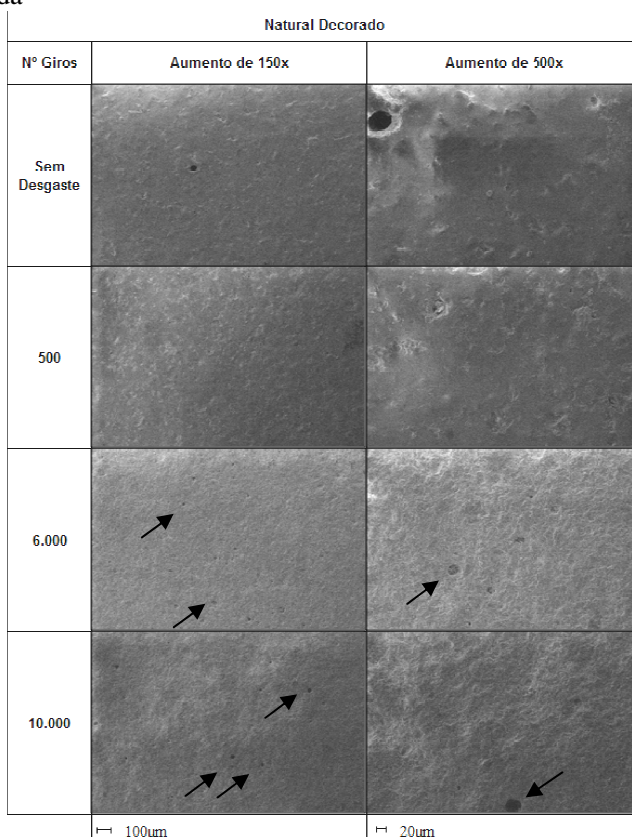
Fonte: Autora, 2019

A Figura 119 mostra o MEV da superfície Acetinada, na superfície sem desgaste se observa uma imagem homogênea. No desgaste com 500 giros, já é possível observar áreas pontuais mais esbranquiçadas, indicando o arrancamento do material provocado pelo processo de abrasão superficial. Com a evolução do desgaste, tanto com 6.000giros, como com 10.000 giros, além de uma mudança muito

drástica no aspecto da superfície, já se observam grande poros arredondados e abertos indicados pelas setas.

Portanto tem-se inicialmente uma superfície homogênea, e, portanto, lisa, com coeficiente de atrito baixo, após o processo de abrasão, a superfície se torna heterogênea com pontos em que parte do material foi arrancado, e, portanto, o coeficiente de atrito sofre um aumento.

Figura 120 – Microscopia Eletrônica de Varredura - Superfície Natural Decorada



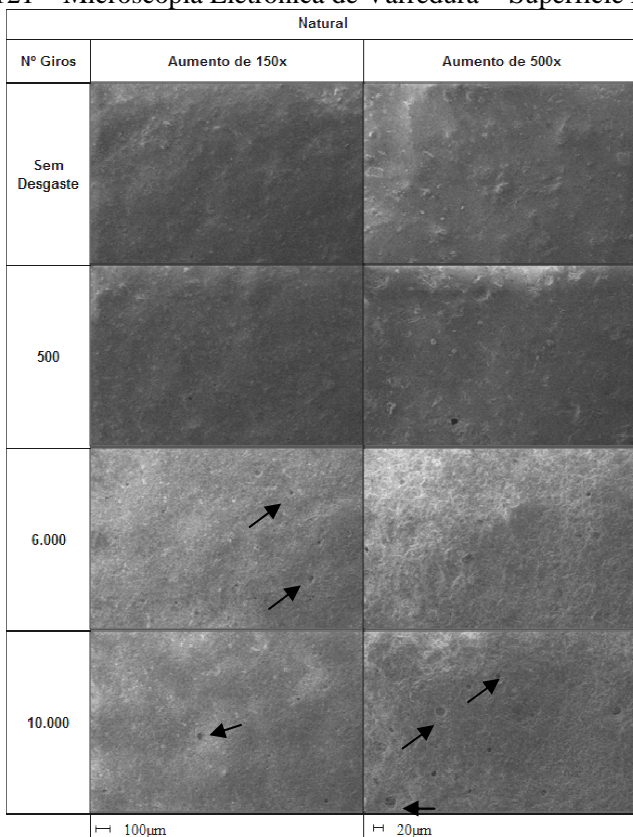
Fonte: Autora, 2019

A Figura 120 mostra a superfície Natural decorada, comparativamente à superfície Acetinada, já não se observa um aspecto

tão homogêneo, o que provavelmente explica o fato do coeficiente de atrito ser mais elevado na superfície natural do que na superfície acetinada. Com a evolução do desgaste áreas brancas surgem na superfície, assim como no caso anterior essas áreas são decorrentes do arrancamento de material provocado pelo processo de abrasão.

Com 500 giros de desgaste as áreas esbranquiçadas são pontuais, com 6.000 giros e 10.000 giros praticamente toda a superfície é tomada por esses pontos, além de ser possível observar que um número relativamente grande de poros, indicados por setas, que foram revelados pelo processo de abrasão superficial. Esses poros são visualmente menores do que na superfície Acetinada.

Figura 121 – Microscopia Eletrônica de Varredura - Superfície Natural



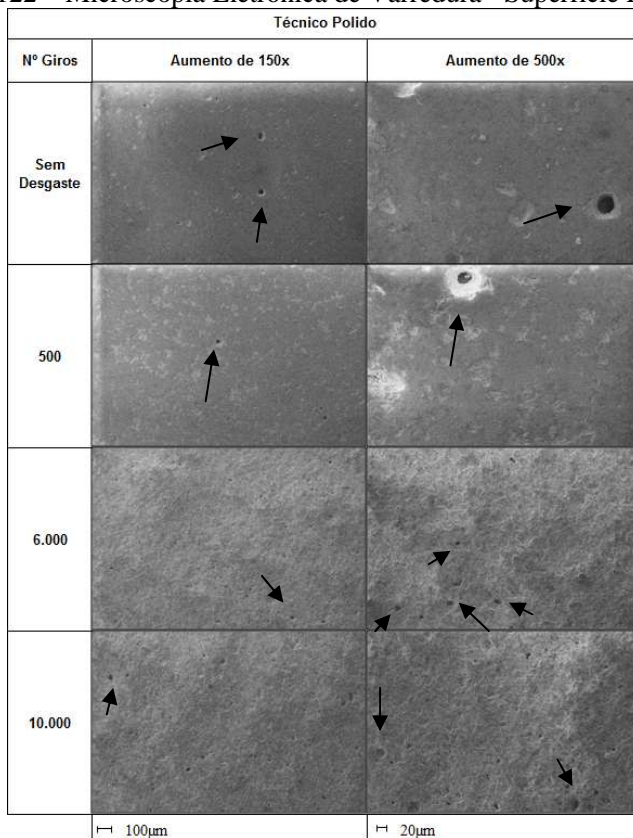
Fonte: Autora, 2019



A Figura 121 que representa a superfície natural apresenta aspecto muito semelhante à superfície natural decorada, uma vez que o processo de fabricação de ambas é muito semelhante.

O comportamento diante a evolução do desgaste também é muito semelhante.

Figura 122 – Microscopia Eletrônica de Varredura - Superfície Polida

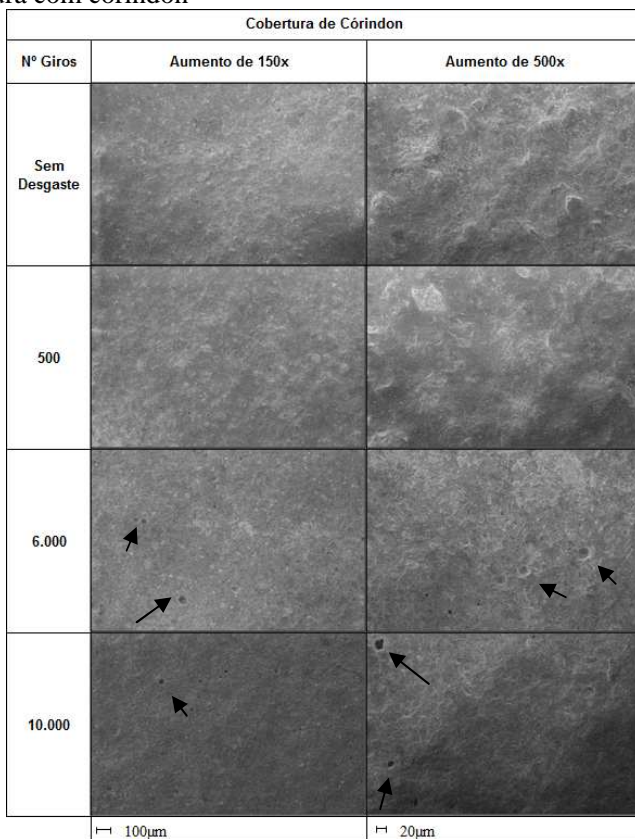


Fonte: Autora, 2019

A Figura 122 mostra a superfície Polida, como era de se esperar, nessa superfície se observa uma grande homogeneidade, exceto pelo fato de existirem pequenos poros abertos, indicados por setas, ainda na superfície sem desgaste. É importante lembrar que nessa tipologia de superfície, a mesma passa por um processo prévio de desgaste que tem

por objetivo conferir o brilho ao produto, de acordo com Alves et al. (2009), esses poros estão originalmente situados no interior da peça, como poros fechados, e são expostos, como poros abertos, durante o polimento. A diferença nesse caso é que o desgaste é intencional e uniforme, conforme pode ser observado pela microscopia, porém existe o inconveniente de revelar a porosidade interna existente no material. Com a evolução do desgaste o número de poros aumenta consideravelmente e assim como ocorre com as demais superfícies, áreas brancas que indicam o arrancamento de material aparecem com 500 giros e tomam conta de quase toda peça com 6.000 giros e 10.000 giros.

Figura 123 – Microscopia Eletrônica de Varredura - Superfície Cobertura com córindon



Fonte: Autora, 2019

A Figura 123 representa a superfície com cobertura de córindon. Comparativamente às demais superfícies, já apresentadas se percebe que há na superfície original, sem desgaste, uma grande irregularidade, com pontos mais altos e pontos mais baixos. Essa irregularidade é proposital e é ocasionada pela cobertura de córindon que foi adicionada com o objetivo de justamente promover irregularidades na superfície e, portanto, elevar o coeficiente de atrito e consequentemente a resistência ao escorregamento. Comparando a microscopia com aumento de 500 vezes da superfície sem desgaste e a microscopia da superfície com 500 giros de desgaste, pode-se perceber que o aspecto das irregularidades é parecido, porém essas irregularidades são atenuadas com o desgaste, o que provoca a redução do coeficiente de atrito.

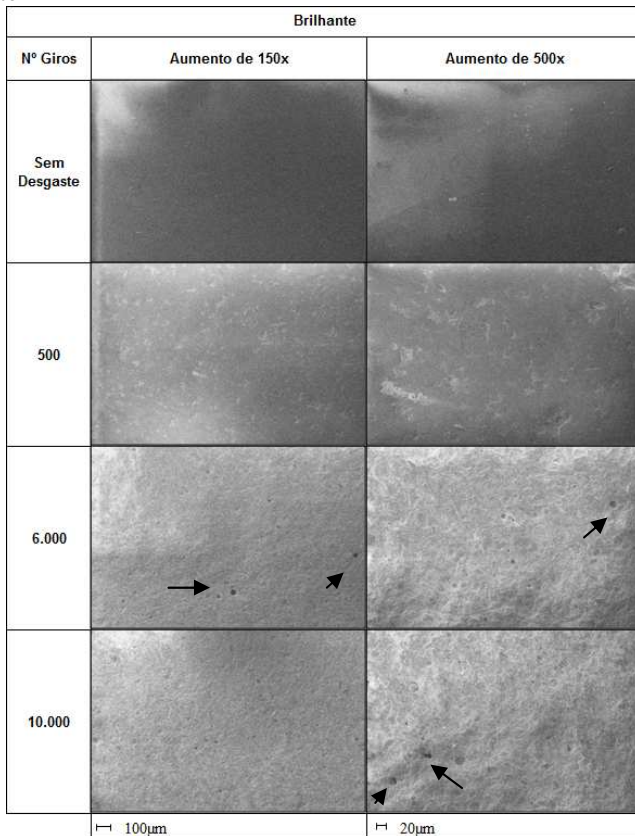
Já com 6.000 giros e com 10.000 giros, essas grandes irregularidades propositas que foram conseguidas por meio da aplicação da cobertura com córindon são eliminadas, em contrapartida novas irregularidades aparecem nas superfícies desgastadas com 6.000 giros e 10.000 giros, essas irregularidades nada mais são do que áreas em que o material foi arrancado em decorrência do processo de abrasão superficial, assim como ocorre com as demais superfícies apresentadas anteriormente. Essa situação explica o fato dessa tipologia de superfície ter apresentado inicialmente redução do coeficiente de atrito e após 1.000 giros incremento. Dessa forma acredita-se que a cobertura de córindon deve ter sido totalmente removida por volta de 1.000 giros.

Da mesma forma que as demais superfícies, com a evolução do desgaste alguns poros, indicados por setas, foram revelados, entretanto em número bem mais reduzido quando se compara com a superfície natural e a superfície polida já mostradas.

A Figura 124 mostra a microscopia na superfície brilhante, é possível observar uma superfície bastante homogênea, o que justifica o coeficiente de atrito baixo. Com 500 giros algumas áreas pontuais esbranquiçadas que remetem à remoção de material ocasionada pela abrasão surgem. Com a evolução do desgaste a quantidade de material removido é maior, e a superfície que inicialmente era homogênea assume um aspecto heterogêneo, o que justifica o incremento do coeficiente de atrito com a evolução do desgaste.

Também ocorre o aumento do número de poros abertos, indicados pelas setas, que ainda assim é inferior em quantidade quando se compara com as superfícies polidas e natural.

Figura 124 – Microscopia Eletrônica de Varredura - Superfície Brilhante



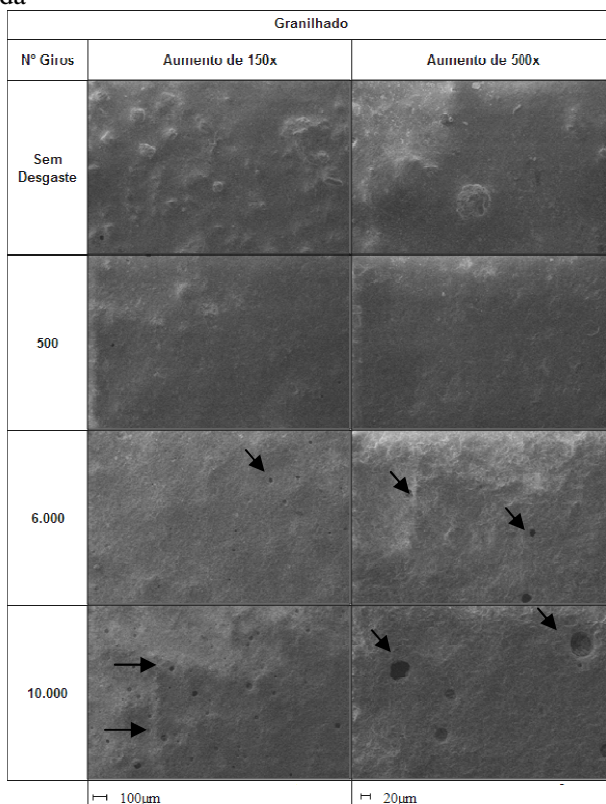
Fonte: Autora, 2019

A Figura 125 mostra a microscopia da superfície com granilha, na superfície sem desgaste se observa a presença de grãos mais superficiais que são justamente a granilha que foi adicionada à superfície com objetivo de torná-la irregular e conseqüentemente elevar seu coeficiente de atrito. Conforme já exposto nos gráficos de coeficiente de atrito, essa superfície de fato é a superfície cerâmica que apresentou maiores valores de coeficiente de atrito.

Com a evolução dos ciclos de desgaste, conforme se observa nas microscopias, com 500 giros se consegue identificar apenas poucos sinais da granilha, mas também ao contrário das demais superfícies com

500 giros, praticamente não se observam pontos ou áreas de arrancamento de material, ou seja, até essa fase o processo de desgaste tem como principal efeito eliminar as irregularidades proporcionadas pela granilha, e praticamente não há dano à camada de esmalte. Porém com 6.000 giros e 10.000 giros, já se observa que não há mais sinais de granilha na superfície e a camada de esmalte já foi drasticamente afetada, além disso também se percebe a presença de numerosos poros, que estão indicados pelas setas, em especial a 10.000 giros, que foram revelados pelo processo de abrasão.

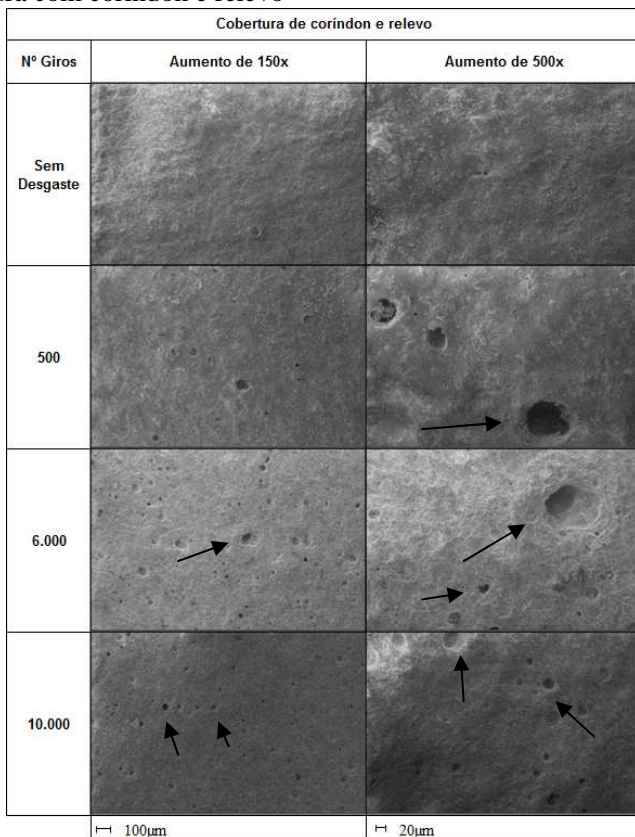
Figura 125 – Microscopia Eletrônica de Varredura - Superfície Granilhada



Fonte: Autora, 2019

A Figura 126 mostra as microscopias da superfície com córindon e relevo, nessa superfície na condição sem desgaste se observa a presença de irregularidades proporcionadas pela cobertura de córindon adicionada no processo de fabricação para elevar o coeficiente de atrito. Nessa superfície se observa uma grande quantidade de porosidade interna que é revelada já após 500 giros de desgaste, fato que não foi observado com as demais superfícies já apresentadas.

Figura 126 – Microscopia Eletrônica de Varredura - Superfície de Cobertura com córindon e relevo

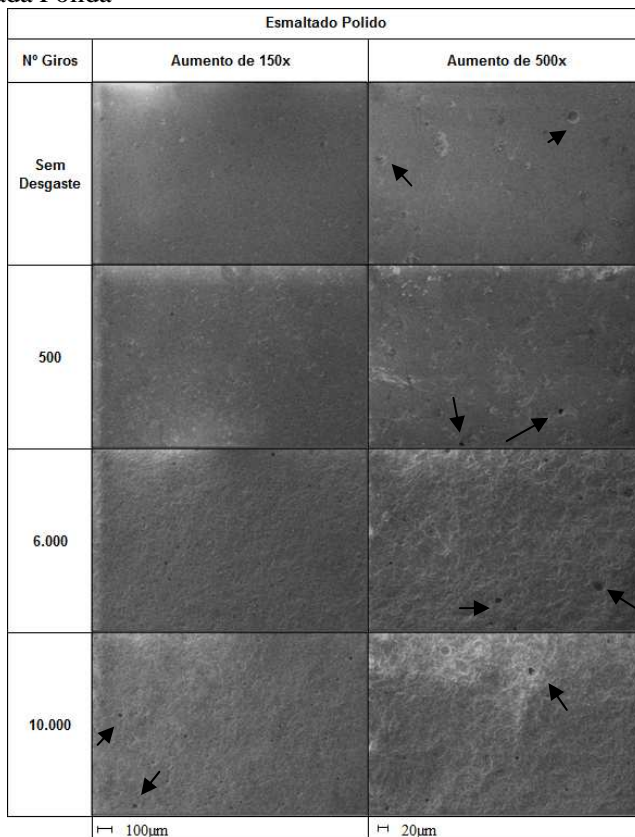


Fonte: Autora, 2019

A Figura 127 mostra a microscopia da superfície esmaltada polida. Na microscopia sem desgaste se observa que a mesma é bastante

regular e homogênea, característica provocada pelo processo de polimento que tem objetivo de torná-la o mais regular possível e, portanto, proporcionar brilho característico de superfícies polidas, também se observa a presença de alguma porosidade, indicada pelas setas, já na condição sem desgaste e aumento deles após desgaste.

Figura 127 – Microscopia Eletrônica de Varredura - Superfície Esmaltada Polida



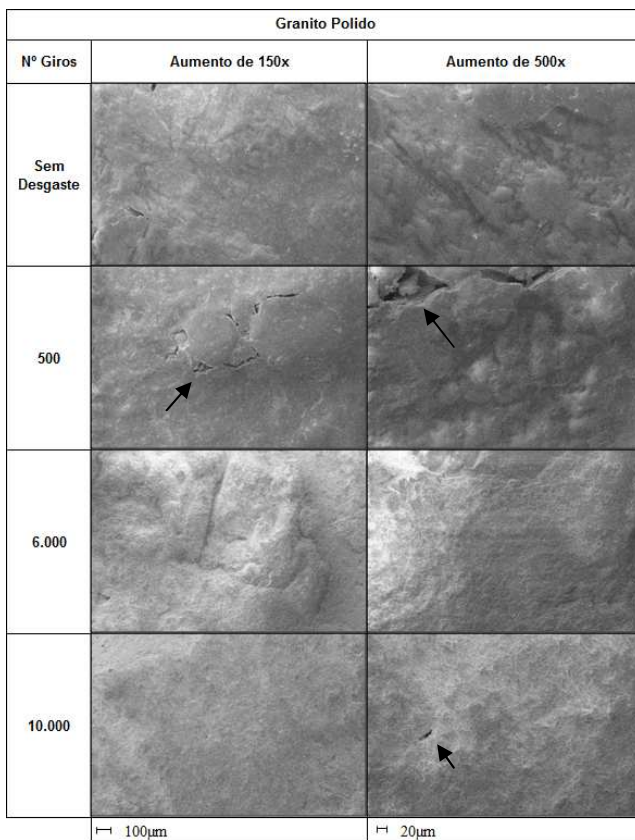
Fonte: Autora, 2019

Com 500 giros já é possível perceber algumas áreas em que ocorreu o arrancamento de material, fazendo com que a superfície se torne mais irregular. Com 6.000 giros e 10.000 giros já se observa completa alteração na aparência da superfície, com grande número de

irregularidades e porosidade, o que justifica que essa superfície tenha seu valor de coeficiente de atrito aumentado com a evolução do desgaste.

A Figura 128 mostra as microscopias do granito polido. Observa-se um aspecto bastante diferente das superfícies de cerâmica. Apesar de ser polida não se tem a mesma homogeneidade quando se compara com as superfícies cerâmicas polidas. Essas irregularidades explicam o fato das superfícies cerâmicas polidas apresentarem valores de coeficiente de atrito inferiores ao granito polido.

Figura 128 – Microscopia Eletrônica de Varredura - Superfície Granito Polido

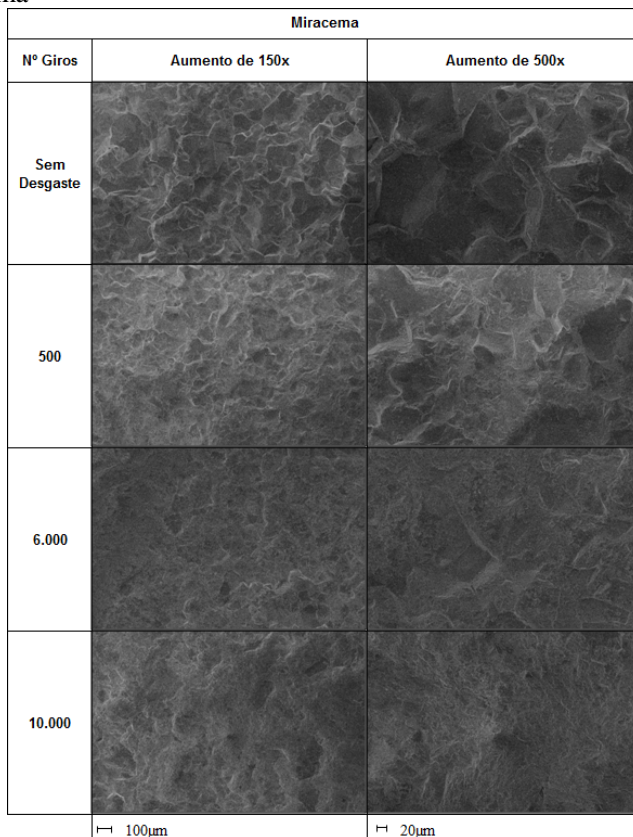


Fonte: Autora, 2019



Assim como nas superfícies cerâmicas a evolução do desgaste provoca o arrancamento de material mudando drasticamente o aspecto da superfície. Não há poros arredondados como ocorre com as superfícies cerâmicas, porém se observa a presença de fissuras na superfície, essas fissuras são indicadas pelas setas.

Figura 129 – Microscopia Eletrônica de Varredura - Superfície Miracema



Fonte: Autora, 2019

A Figura 129 mostra as microscopias da pedra miracema. A estrutura é composta por grandes irregularidades, o que explica os elevados valores de coeficiente de atrito. Mesmo após vários ciclos de abrasão, como 6.000 giros e 10.000 giros, ainda se percebe a presença

de grandes irregularidades, de forma mais discreta do que na superfície sem desgaste, mas elas ainda existem. Dessa forma pode-se presumir que essa pedra sofra menor influência dos processos de desgaste no que diz respeito à alteração dos valores de coeficiente de atrito, e, portanto, resistência ao escorregamento.

De acordo com Oliveira e Alarcon (2014), no caso de cerâmicas submetidas ao desgaste pelo método PEI, método utilizado nesse trabalho, a remoção de material ocorre devido ao movimento de partículas mais duras que o material cerâmico, sob a ação de forças de natureza mecânica normais e paralelas à superfície, produzindo o riscamento e, posteriormente, o lascamento e remoção de material. O processo de fratura frágil, o qual é observado na maioria dos materiais cerâmicos, é um processo no qual a fratura ocorre com pequena ou nenhuma deformação plástica.

De acordo com o citado por Montedo e Oliveira (2007), a teoria acima descrita é reforçada, pois afirmam que o mecanismo predominante de desgaste em superfícies esmaltadas é o processo de fratura que ocorre de maneira frágil, isto é, com pouca ou nenhuma deformação plástica, e em duas etapas: nucleação e propagação da trinca até a fratura final.

Pitaude (2002) também reforça que em materiais frágeis como a cerâmica, o mecanismo de desgaste ocorre pela fratura frágil, devido ao crescimento das trincas devido ao carregamento excessivo da superfície. No desgaste por fratura frágil, partículas são arrancadas da superfície, devido a essa propagação de trincas.

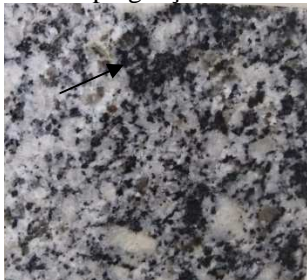
Nas superfícies cerâmicas, e também no granito polido foi possível observar áreas em que ocorreu o arrancamento de material, provocado pelo processo de abrasão, porém na Miracema áreas de arrancamento não foram evidenciadas nas micrografias.

#### **5.4.6 Evolução da impregnação de sujeira e manchamento**

Nos testes de impregnação de sujeira realizados com vaselina e corante preto as duas pedras se destacaram, tanto o granito polido quanto a miracema apresentaram impregnação em todas as amostras avaliadas, independentemente do grau de desgaste provocado pela abrasão superficial. A Figura 130 e Figura 131 mostram imagem das pedras impregnadas por vaselina e corante do Granito Polido e da Miracema respectivamente. No granito polido a visualização da

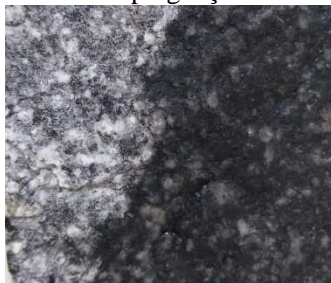
impregnação é dificultada, pois o corante preto que ficou impregnado acaba sendo confundido com a pigmentação natural da pedra.

Figura 130 – Impregnação – Granito polido



Fonte: Autora, 2019

Figura 131 – Impregnação – Miracema



Fonte: Autora, 2019

No caso da Miracema a impregnação é muito acentuada modificando completamente a aparência da superfície. Já no granito polido a impregnação é menos evidente se camuflando em meio às marcas escuras característica da própria pedra. A vaselina e o corante preto se fixam nas fissuras existentes na pedra e demonstradas nas micrografias.

As superfícies acetinadas, granilhadas, com cobertura de córindon não apresentaram impregnação com corante e vaselina em nenhuma das amostras abrasionadas avaliadas. A superfície com cobertura de córindon e relevo apresentou leve impregnação, conforme indicado pela Figura 132, onde é quase imperceptível o corante preto impregnado, já nos últimos ciclos de abrasão, por volta de 8.000 giros, pois quanto maior o número de ciclos, maior será o desgaste provocado e

consequentemente maior será o número de poros revelados e, portanto, a facilidade de que alguma sujidade impregne na superfície.

Figura 132 – Impregnação – Superfície com cobertura e relevo



Fonte: Autora, 2019

A superfície brilhante apresentou intensa impregnação, após 500 giros de desgaste já é possível observar a presença de corante preto que ficou retido na superfície, que se intensifica muito mais logo após 1.500 giros, a Figura 133 mostra a amostras impregnadas. Em geral, produtos esmaltados brilhantes são obtidos a partir de esmaltes mais moles, e que, portanto, são mais susceptíveis ao desgaste. Apesar de outras superfícies terem apresentado maior número de poros nas imagens de microscopia, quando comparada a superfície brilhante é possível que o formato e tamanho dos poros possam interferir na capacidade de retenção da sujeira, fazendo com que na superfície brilhante, mesmo com menor número de poros, a impregnação tenha sido mais intensa.

Figura 133 – Impregnação – Superfície Brilhante



Fonte: Autora, 2019

As duas superfícies naturais, tanto a decorada quanto a sem decoração apresentaram certa impregnação, sendo ela discretamente

aumentada conforme se aumenta o número de ciclos de abrasão. Fato decorrente do aumento do número de poros que são revelados pelo processo de desgaste. A Figura 134 e Figura 135 mostram a impregnação nas superfícies Natural e Natural Decorada respectivamente.

Figura 134 – Impregnação – Superfície Natural



Fonte: Autora, 2019

Figura 135 – Impregnação – Superfície Natural Decorada



Fonte: Autora, 2019

Analisando as duas superfícies polidas, tanto do porcelanato técnico quanto do porcelanato esmaltado, pode-se considerar que, juntamente com a superfície brilhante, foram as que apresentaram piores resultados no quesito impregnação dentre as superfícies cerâmicas testadas, conforme pode ser observado na Figura 136 e Figura 137, que representam a impregnação dos porcelanatos polidos, técnico e esmaltado respectivamente, pois a impregnação percebida foi forte, em especial no porcelanato técnico. As superfícies polidas já passam por um processo de desgaste antes mesmo da comercialização, esse processo de desgaste tem o objetivo de conferir o brilho característico desse tipo de superfície, porém além do brilho, esse processo de desgaste acaba

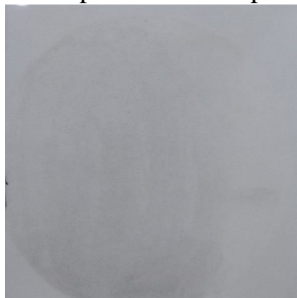
revelando a porosidade interna, o que facilita muito a impregnação de sujeira.

Figura 136 – Impregnação – Superfície Polida porcelanato técnico



Fonte: Autora, 2019

Figura 137 – Impregnação – Superfície Polida porcelanato esmaltado



Fonte: Autora, 2019

De forma geral o mesmo observado com os testes de impregnação com corante e vaselina ocorre no teste de resistência a manchas.

O granito polido e a miracema apresentaram manchas intensas provocadas pelo verde de cromo e principalmente pelo óleo de oliva, praticamente todas as amostras mancharam com esses agentes, e mesmo após todos os procedimentos de limpeza o óleo persistiu em permanecer na superfície. O verde de cromo foi removido com processo de limpeza com uso de detergente neutro e saponáceo abrasivo na maioria dos casos.

As superfícies acetinadas, granilhadas, com cobertura de córindon e com cobertura de córindon e relevo não apresentaram

nenhum manchamento com nenhum agente. Assim como no teste de impregnação com corante e vaselina, essas superfícies também apresentaram ótimo desempenho.

A superfície brilhante que no teste de impregnação apresentou resultados pouco satisfatórios, ou seja, as superfícies mostraram grande facilidade em reter sujidades, nos testes de manchamento apresentou manchas de forma aleatória, tanto de verde de cromo, como de óleo de oliva, como de iodo alcoólico, ou seja, não se pode afirmar que conforme se aumenta o número de ciclos a tendência ao manchamento aumenta. As manchas foram removidas com uso de detergente, saponáceo abrasivo, ou ácido clorídrico.

Já com os porcelanatos técnicos naturais se observou uma forte tendência ao produto sem decoração apresentar maior manchamento, em especial com o óleo de oliva e iodo alcoólico, já que em alguns casos a mancha se mostrou persistente e não foi removida nem com uso de ácido clorídrico.

As superfícies polidas de porcelanato técnico e esmaltado, apresentaram os piores resultados de resistência a manchas dentre todas as superfícies cerâmicas testadas, sendo que a superfície de porcelanato técnico apresentou resultados muito piores que a superfície esmaltada. As manchas que foram principalmente provocadas pelo óleo de oliva e iodo alcoólico em menor quantidade de amostras, sendo que na superfície esmaltada elas foram removidas com uso de detergente ou saponáceo abrasivo, enquanto que na superfície técnica polida, em alguns casos mesmo com uso de ácido clorídrico a mancha não pode ser removida.

De acordo com Cavalcante et al. (2004), durante a etapa de polimento, uma camada superficial de até 1 mm é retirada, deixando exposta à superfície poros que estavam fechados no interior do piso, possibilitando desta forma a intrusão de sujeiras e o surgimento de manchas.

Oliveira e Alarcon (2014) citam que a porosidade dos esmaltes apesar de fechada, se torna aberta à medida que a superfície se desgasta, ocasionando uma perda de aspecto por retenção de detritos. Conforme observado nos testes de impregnação e manchamento, quanto mais intenso é o processo de abrasão, maior é a retenção dos agentes manchantes, justamente pela grande quantidade de porosidade revelada, assim como mostrado anteriormente nas micrografias.

Também foi comprovado por Filiu et al. (1990) que não apenas a quantidade de poros pode estar relacionada a retenção de sujeira na

porosidade, como também e principalmente o seu tamanho, pois poros mais finos impedem que o processo de limpeza seja realizado de forma satisfatória.

## 5.5 COMPARATIVO ENTRE EQUIPAMENTOS PARA MEDIÇÃO DE ATRITO

A tabela 21 a seguir mostra um comparativo entre cada método para determinação do coeficiente de atrito/resistência ao escorregamento, dentre os métodos que serão a seguir discutidos citam-se: DS - Dynamic Slip, Bot, Pêndulo, Rampa, e Rugosímetro.

Após todas as análises fica claro que cada metodologia possui vantagens e desvantagens. Quanto ao equipamento DS - Dynamic Slip, se trata de uma metodologia utilizada unicamente pelo Brasil para determinação da resistência ao escorregamento de superfícies cerâmicas. Apesar de possuir fácil operação e pouca interferência humana, possui como desvantagens a alta variabilidade detectada nos testes e apresentadas neste trabalho por meio do coeficiente de variação, além de apresentar problemas de medição em superfície demasiadamente lisas, pelo aparecimento do efeito *stick-slip*. O equipamento mostrou baixa correlação com a opinião dos usuários em condições práticas de uso, além de possuir valor limite de segurança muito abaixo do ideal para oferecer de fato segurança ao pedestre.

O Bot é um equipamento utilizado para determinação da resistência ao escorregamento nos Estados Unidos. Assim como o DS - Dynamic Slip, o Bot apresentou elevada variabilidade, e problemas de *stick-slip*. Em contrapartida apresenta operação simples e de pouca interferência humana. O Bot também apresentou baixa correlação entre resultados de ensaio e opinião de usuários em condições práticas de uso.

O Pêndulo é uma metodologia utilizada por diversos países, entretanto cada um possui uma normativa diferente, e que portanto poderá influenciar nos resultados finais do ensaio. Apresenta elevada variabilidade para superfícies muito lisas, porém baixa variabilidade nas demais superfícies. Possui elevada correlação com a avaliação dos usuários, porém é um teste de elevada interferência humana, uma vez que alguns ajustes são feitos unicamente pelo operador do equipamento.

A rampa, assim como o pêndulo possui elevada correlação com a avaliação dos usuários, porém para realização do teste é necessário uma grande quantidade de amostras o que pode dificultar a realização do



ensaio. Possui elevada interferência humana no teste, além de ser impossível realizar a análise das superfície in locu.

Quanto ao rugosímetro foi observado que os parâmetros de rugosidade de uma superfície interferem no coeficiente de atrito medido, porém é uma metodologia relativamente nova para o ramo da cerâmica e que portanto necessita de maiores estudos e de uma norma que padronize a avaliação.

Tabela 21 – Vantagens e Desvantagens de cada metodologia

Equipamentos	Vantagens	Desvantagens
DS	Não há interferência humana	Variabilidade elevada
	Fácil/rápida operação	Problemas de trepidação
		Baixa correlação com condição real
		Norma usada apenas no Brasil
Bot	Não há interferência humana	Variabilidade elevada
	Fácil operação	Problemas de trepidação
		Baixa correlação com condição real
		Norma usada apenas no EUA
Pêndulo	Baixa variabilidade exceto em superfície muito lisa	Interferência humana
	Elevada reprodutibilidade das condições reais	Muitas normas diferentes em cada país
Rampa	Elevada reprodutibilidade das condições reais	Necessidade de grande área para realizar teste
		Interferência humana
		Impossibilidade de teste in locu
Rugosímetro	Boa correlação com resultados de atrito	Impossibilita a análise do desempenho da superfície com contaminantes
	Resultados absolutos	Inexistência de norma para cerâmica
	Equipamento compacto	

Fonte: Autora, 2019



## 6 CONCLUSÃO

Após análise dos resultados obtidos no decorrer do trabalho ficou claro que o Pêndulo é o equipamento/metodologia que apresenta menor variabilidade na grande maioria das superfícies testadas, tanto na condição seca quanto na condição úmida, o DS - Dynamic Slip e o Bot apresentaram um desempenho pior. A menor variabilidade ficou comprovada, pois o coeficiente de variação dos testes realizados foi muito inferior no Pêndulo do que nos demais métodos.

Na avaliação da relação entre resultado encontrado com o equipamento e resistência ao escorregamento em condição prática, o Pêndulo também foi o método que apresentou a melhor relação, com coeficiente de Pearson de 0,946, e  $R^2$  de 0,90, junto com a rampa que apresentou coeficiente de Pearson de 0,970 e  $R^2$  de 0,94, entretanto a rampa apresenta a desvantagem de não permitir realizar testes *in loco* e da grande quantidade de amostras necessárias.

Ficou claro que apesar do pêndulo ter se mostrado o melhor método há alguns fatores no ajuste do equipamento antes da realização do ensaio que podem ser melhorados. A variação da distância de contato entre borracha e superfície de teste pode influenciar de forma muito significativa nos resultados de ensaio, portanto o operador do equipamento deverá ser extremamente cuidadoso e treinado.

A análise de variância dos parâmetros de rugosidade mostraram que os parâmetros tem forte influência nos resultados de coeficiente de atrito para todos as metodologias analisadas, avaliando os resultados com nível de significância de 95%. Porém a utilizar unicamente a rugosidade para determinação do potencial de escorregamento de uma superfície pode ser arriscado.

Quanto aos resultados de desgaste ficou claro que dependendo do tipo de superfície ocorre um comportamento diferente do coeficiente de atrito no decorrer do mesmo. Algumas superfícies como a brilhante, acetinada, natural e polida apresentam um incremento nos valores de coeficiente de atrito no decorrer do processo de abrasão, já superfícies granilhadas e com coríndon apresentam um decréscimo nos valores de coeficiente de atrito medidos após o processo de abrasão. Ficou comprovado que materiais de abrasivos de maior dureza provocam desgaste de forma mais rápida ou acentuada.

Os testes mostraram que além da alteração nos valores de coeficiente de atrito o processo de abrasão também promove outras alterações nas superfícies, como a alteração de brilho e de cor. Em geral,

quanto mais brilhante for a superfície mais rápido ela irá perder seu brilho, e quanto mais escura ela for, mais rápido terá sua aparência alterada, visto que existe uma tendência de clareamento na área abrasada em especial em produtos que possuem decoração com tintas.

O processo de desgaste retira material da superfície do produto de forma gradativa e com o passar do tempo acaba revelando as irregularidades e porosidade presentes na camada vítrea composta pelo esmalte. Essa porosidade revelada acaba por facilitar a impregnação de sujeira sobre a superfície, justamente pelo fato da sujeira entrar e ficar retida na porosidade.

Estabelecendo uma comparação entre as pedras naturais, pode-se afirmar que as pedras têm uma tendência ao manchamento e impregnação muito maior que os revestimentos cerâmicos, porém a sua aparência superficial é mantida mesmo após muitos ciclos de desgaste. Quanto ao coeficiente de atrito medido a pedra miracema apresentou ótimo desempenho, pois mesmo após o desgaste ela mantém sua característica resistente ao escorregamento, enquanto que o revestimento cerâmico considerado resistente ao escorregamento acaba perdendo essa característica no decorrer do processo de desgaste.

## 7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Seguem algumas sugestões para trabalhos futuros:

- Assentar peças das mesmas superfícies testadas nesse trabalho para avaliar o desgaste em condição real de uso;
- Realizar testes de atrito e rugosidade nas peças assentadas;
- Otimizar o equipamento de desgaste recíproco para melhor avaliar o desgaste de forma menos agressiva;
- Substituir as esferas de abrasão utilizadas no abrasímetro que realiza o ensaio pelo método PEI por borracha fixada a alguma carga;
- Quantificar o desgaste das amostras por meio de micrografia e software de análise de imagens.
- Avaliar a interferência do comprimento de medição do DS - Dynamic Slip e Bot na variabilidade dos resultados.



## REFERÊNCIAS

- ADACHI, K.; HUTCHINGS, I.m. Wear-mode mapping for the micro-scale abrasion test. **Wear**, [s.l.], v. 255, n. 1-6, p.23-29, ago. 2003. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0043-1648\(03\)00073-5](http://dx.doi.org/10.1016/s0043-1648(03)00073-5).
- ALVES, Helton J. et al. Porosidade Susceptível ao Manchamento em Porcelanato Polido. **Cerâmica Industrial**, São Carlos, v. 1, n. 14, p.21-26, fev. 2009.
- ANSI American National Standards Institute. A137.1: **American National Standard Specifications for Ceramic Tile**. Clemson, 2012. 55 p
- AMINI, S.; HOSSEINABADI, H. Nouri; SAJJADY, S.a. Experimental study on effect of micro textured surfaces generated by ultrasonic vibration assisted face turning on friction and wear performance. **Applied Surface Science**, [s.l.], v. 390, p.633-648, dez. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsusc.2016.07.064>.
- ANDRES, Robert O.; CHAFFIN, Don B.. Ergonomic analysis of slip-resistance measurement devices. **Ergonomics**, [s.l.], v. 28, n. 7, p.1065-1079, jul. 1985. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/00140138508963228>.
- ANNO J.N, WALOWIT, J.A., ALLEN, C.M.. Micro asperity lubrication, *J. Tribol.* 90 (1968) 351–355.
- ANNO J.N, WALOWIT, J.A., ALLEN, C.M.. Load support and leak age from micro asperity lubricated face seals, *Trans. ASMEJ .Lubr. Technol.*(1969)726–731.
- ARNELL, D. Mechanisms and laws of friction and wear. *Tribology and dynamics of engine and powertrain: fundamentals*, *Appl. Future Trends* (2010) 41.
- ASCHAN, Carita et al. Performance of slippery and slip-resistant footwear in different wintry weather conditions measured in situ. **Safety**

**Science**, [s.l.], v. 47, n. 8, p.1195-1200, out. 2009. Elsevier BV.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2009.01.006>.

ASCHAN, Carita et al. Development and validation of a novel portable slip simulator. **Applied Ergonomics**, [s.l.], v. 36, n. 5, p.585-593, set. 2005. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apergo.2005.01.015>.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13818 Anexo N - Determinação do Coeficiente de Atrito: Placa Cerâmicas Para Revestimento - Especificações e Métodos de Ensaios. Rio de Janeiro, 1997. 78 p.

ASTM Standard Test Method F 609-79. Standard test method for using horizontal pull slipmeter (HPS). Philadelphia (PA): ASTM Committee F-13 on Safety and Traction for Footwear, 1979.

ASTM Standard Test Method C-1028. Standard test method for using a horizontal pull dynamometer. Philadelphia (PA): ASTM Committee C-21 on Ceramic Whitewares and Related Products, 1996.

ASTM Standard Test Method F 1677-96. Standard test method for using a portable inclineable articulated strut slip tester (PIAST). Philadelphia (PA): ASTM Committee F-13 on Safety and Traction for Footwear, 1996.

ASTM Standard Test Method F 1679-96. Standard test method for using a variable incidence tribometer (VIT). Philadelphia (PA): ASTM Committee F-13 on Safety and Traction for Footwear, 1996.

ASTM Standard Test Method F 489-77. Standard test method for using a James machine. Philadelphia (PA): ASTM Committee F- 13 on Safety and Traction for Footwear, 1977.

ASTM Standard Test Method D-2047-77. Standard test method for static coefficient of friction of polish-coated floor surfaces as measured by the James machine. Philadelphia (PA): ASTM Committee D-21 on Floor Polish, 1977.

Australian Standard, AS 4586-2013. - Slip resistance classification of new pedestrian surface materials. Sydney, 2013. 65 p.



BAHADUR, Shyam. The development of transfer layers and their role in polymer tribology. *Wear*, [s.l.], v. 245, n. 1-2, p.92-99, out. 2000. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0043-1648\(00\)00469-5](http://dx.doi.org/10.1016/s0043-1648(00)00469-5).

BALL, A.; **Themechanisms of wear, and the performance of engeneering materials**, J.S.Afr. Inst. Min. Metall., v.86, n.1, p.1 – 1, 1986.

BARNETT, Ralph Lipsey. “Slip and Fall” Theory—Extreme Order Statistics. **International Journal Of Occupational Safety And Ergonomics**, [s.l.], v. 8, n. 2, p.135-158, jan. 2002. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/10803548.2002.11076521>.

BASSEVILLE, Stéphanie; HÉRIPRÉ, Eva; CAILLETAUD, Georges. Numerical simulation of the third body in fretting problems. *Wear*, [s.l.], v. 270, n. 11-12, p.876-887, maio 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wear.2011.02.016>.

BESCHORNER, Kurt et al. Modeling Mixed-Lubrication of a Shoe-Floor Interface Applied to a Pin-on-Disk Apparatus. *Tribology Transactions*, [s.l.], v. 52, n. 4, p.560-568, 30 jun. 2009. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/10402000902825705>.

BESCHORNER, Kurt E.; SINGH, Gurjeet. A Novel Method for Evaluating the Effectiveness of Shoe-Tread Designs Relevant to Slip and Fall Accidents. *Proceedings Of The Human Factors And Ergonomics Society Annual Meeting*, [s.l.], v. 56, n. 1, p.2388-2392, set. 2012. SAGE Publications. <http://dx.doi.org/10.1177/1071181312561560>.

BESCHORNER, Kurt E. et al. Effects of slip testing parameters on measured coefficient of friction. **Applied Ergonomics**, [s.l.], v. 38, n. 6, p.773-780, nov. 2007. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apergo.2006.10.005>.

BHUSHAN B. *Modern tribology handbook*, two volume set. CRC Press; 2000.

BLAU, Peter J. The significance and use of the friction coefficient. *Tribology International*, [s.l.], v. 34, n. 9, p.585-591, set. 2001. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0301-679x\(01\)00050-0](http://dx.doi.org/10.1016/s0301-679x(01)00050-0).

BOOR, Udo; MÖLLER, Uwe Jens. **Lubricants in Operation**: A. R. Lansdown, 1996. 400 p.

BOSCHI, Anselmo Ortega et al. Rugosidade Superficial de Revestimentos Cerâmicos. **Cerâmica Industrial**, São Carlos, v. 2, p.15-18, mar. 2006.

BOWMAN, R., (1997). "Slip resistance standards provide no unconditional guarantees", *Tile Today* No. 14, Mar-Apr 1997

BROUGH, R., MALKIN, F., HARRISON, R.. Measurement of the coefficient of friction of floors. **Journal of Physics D** 12, p. 517-528. 1979

BRUNGRABER RG. A new portable tester for the evaluation of the slip resistance of walkway surfaces. In: National Bureau of Standards Technical Note No. 953, 1977.

BRUNGRABER, R.J., 1967. An overview of floor slip-resistance research with annotated bibliography (NBS Technical Note 895). National Bureau of Standards, Washington, DC.

BURAKOWSKI, T., WIERZCHON, T.. *Surface Engineering of Metals: Principles, Equipment, Technologies*, CRC Press, 1998.

CAVALCANTE, Patrícia Maria Tenório et al. Influência das Características Superficiais na Resistência a Manchas do Grés Porcelanato. **Cerâmica Industrial**, São Carlos, v. 5, n. 9, p.29-41, set. 2004.

CHAFFIN, Don B.; WOLDSTAD, Jeffrey C.; TRUJILLO, Anna. FLOOR/SHOE SLIP RESISTANCE MEASUREMENT. **American Industrial Hygiene Association Journal**, [s.l.], v. 53, n. 5, p.283-289, maio 1992. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/15298669291359672>.

CHAM, Rakié; REDFERN, Mark S. Changes in gait when anticipating slippery floors. **Gait & Posture**, [s.l.], v. 15, n. 2, p.159-171, abr. 2002. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0966-6362\(01\)00150-3](http://dx.doi.org/10.1016/s0966-6362(01)00150-3).

CHANG, Wen-ruey et al. Assessing floor slipperiness in fast-food restaurants in Taiwan using objective and subjective measures. **Applied Ergonomics**, [s.l.], v. 35, n. 4, p.401-408, jul. 2004. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apergo.2004.01.006>.

CHANG, Wen-ruey; HIRVONEN, Mikko; GRÖNQVIST, Raoul. The effects of cut-off length on surface roughness parameters and their correlation with transition friction. **Safety Science**, [s.l.], v. 42, n. 8, p.755-769, out. 2004. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2004.01.002>.

CHANG, Wen-ruey. The effect of surface roughness and contaminant on the dynamic friction of porcelain tile. **Applied Ergonomics**, [s.l.], v. 32, n. 2, p.173-184, abr. 2001. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0003-6870\(00\)00054-5](http://dx.doi.org/10.1016/s0003-6870(00)00054-5).

CHANG, Wen-ruey et al. Field evaluation of two commonly used slipmeters. **Applied Ergonomics**, [s.l.], v. 34, n. 1, p.51-60, jan. 2003. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0003-6870\(02\)00074-1](http://dx.doi.org/10.1016/s0003-6870(02)00074-1).

CHANG, Wen-ruey. The effects of slip criterion and time on friction measurements. **Safety Science**, [s.l.], v. 40, n. 7-8, p.593-611, out. 2002. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0925-7535\(01\)00061-3](http://dx.doi.org/10.1016/s0925-7535(01)00061-3).

CHANG, Wen-ruey; MATZ, Simon. The slip resistance of common footwear materials measured with two slipmeters. **Applied Ergonomics**, [s.l.], v. 32, n. 6, p.549-558, dez. 2001. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0003-6870\(01\)00031-x](http://dx.doi.org/10.1016/s0003-6870(01)00031-x).

CHANG, Wen-ruey et al. The role of friction in the measurement of slipperiness, Part 2: Survey of friction measurement devices. **Ergonomics**, [s.l.], v. 44, n. 13, p.1233-1261, out. 2001. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/00140130110085583>

CHANG, Wen-ruey et al. The role of friction in the measurement of slipperiness, Part 1: Friction mechanisms and definition of test

conditions. **Ergonomics**, [s.l.], v. 44, n. 13, p.1217-1232, out. 2001. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/00140130110085574>.

CHANG, Wen-ruey et al. Friction variation in common working areas of fast-food restaurants in the USA. **Ergonomics**, [s.l.], v. 51, n. 12, p.1998-2012, dez. 2008. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/00140130802562641>.

CHANG, Wen-ruey. The effect of surface roughness on dynamic friction between neolite and quarry tile. *Safety Science*, [s.l.], v. 29, n. 2, p.89-105, jul. 1998. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0925-7535\(98\)00011-3](http://dx.doi.org/10.1016/s0925-7535(98)00011-3).

CHANG, Wen-ruey. Preferred surface microscopic geometric features on floors as potential interventions for slip and fall accidents on liquid contaminated surfaces. **Journal Of Safety Research**, [s.l.], v. 35, n. 1, p.71-79, jan. 2004. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsr.2003.09.017>.

CHANG, Wen-ruey et al. Linear regression models of floor surface parameters on friction between Neolite and quarry tiles. **Applied Ergonomics**, [s.l.], v. 41, n. 1, p.27-33, jan. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apergo.2009.03.006>.

CHEN, Ching-chung et al. The Slip-resistance Effect Evaluation of Floor Roughness Under Different Liquid Viscosity. **Procedia Manufacturing**, [s.l.], v. 3, p.5007-5013, 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.665>.

CHEN, Steve; JIN, Janet; LOU, Eva. Toward Slip and Fall Prevention: Exploring the Guidance and Challenges of Anti-slip Footwear. **Procedia Engineering**, [s.l.], v. 43, p.364-368, 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2012.08.063>.

COHEN D.K., Glossary of surface texture parameters, Michigan Metrol. (2004).

COURTNEY, Theodore K. et al. Occupational slip, trip, and fall-related injuries – can the contribution of slipperiness be isolated? **Ergonomics**,

[s.l.], v. 44, n. 13, p.1118-1137, out. 2001. Informa UK Limited.  
<http://dx.doi.org/10.1080/00140130110085538>.

DEMKIN, N.B., The Contacting rough Surfaces, Nauka, Moscow, 1970.

DERLER, S., KAUSCH, F., HUBER, R., 2002. Wirksamkeit und Dauerhaftigkeit von Antirutschbehandlungen für elastische Bodenbeläge. EMPA-Bericht, St. Gallen.

DERLER, S.; KAUSCH, F.; HUBER, R.. Systematic patterns and random fluctuations in time series of coefficients of friction measured on floor surfaces. **Safety Science**, [s.l.], v. 43, n. 10, p.751-770, dez. 2005. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2005.03.002>.

DERLER, S. et al. Influence of surface microstructure on the sliding friction of plantar skin against hard substrates. **Wear**, [s.l.], v. 267, n. 5-8, p.1281-1288, jun. 2009. Elsevier BV.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.wear.2008.12.053>.

DERLER, S. et al. Effectiveness, durability and wear of anti-slip treatments for resilient floor coverings. **Safety Science**, [s.l.], v. 76, p.12-20, jul. 2015. Elsevier BV.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2015.02.002>.

DeutschesInstitut Für Normung. DIN 51130: Testing of floor coverings - Determination of the anti-slip property - Workrooms and fields of activities with slip danger - Walking method - Ramp test. Berlin, 2014.

DeutschesInstitut Für Normung. DIN 51097 Testing of floor coverings - Determination of the anti-slip properties - Wet-loaded barefoot areas; Walking method; Ramp test. Berlin, 2016.

DOWSON, Duncan. **History of Tribology**: Technology & Engineering. London: Wiley, 1998. 768 p.

DURÁ, Juan V. et al. Identification of floor friction safety level for public buildings considering mobility disabled people needs. **Safety Science**, [s.l.], v. 43, n. 7, p.407-423, ago. 2005. Elsevier BV.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2005.08.003>.

DYCK, Tobias; OBER-WÖRDER, Philipp; BUND, Andreas. Calculation of the wear surface and the coefficient of friction for various coated contact geometries. *Wear*, [s.l.], v. 368-369, p.390-399, dez. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wear.2016.10.014>.

ELIANE, Catálogo geral de produtos, 2018.

FILIU, C. et al. Factors degrading tile glazes through abrasion. In: **CONGRESSO MUNDIAL DE CERÂMICA - QUALICER**, 1990, Castellon, Espanha. Anales... Castellón: Cámara Oficial de Comercio, Industria y Navegación, 1990. v. 1, p. 345- 356.

GACHOT, C. et al. A critical assessment of surface texturing for friction and wear improvement. *Wear*, [s.l.], v. 372-373, p.21-41, fev. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wear.2016.11.020>.

GRÖNQVIST, Raoul et al. Human-centred approaches in slipperiness measurement. *Ergonomics*, [s.l.], v. 44, n. 13, p.1167-1199, out. 2001. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/00140130110085556>.

GRÖNQVIST, R., 1995. A dynamic Method for Assessing Pedestrian Slip Resistance. Ph.D. Thesis. People and Work, Research Reports 2. Finnish Institute of Occupational Health, Helsinki.

GRÖNQVIST, Raoul; HIRVONEN, Mikko; TOHV, Asta. Evaluation of three portable floor slipperiness testers. **International Journal Of Industrial Ergonomics**, [s.l.], v. 25, n. 1, p.85-95, jan. 2000. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0169-8141\(98\)00101-2](http://dx.doi.org/10.1016/s0169-8141(98)00101-2).

GRÖNQVIST, Raoul et al. The validity and reliability of a portable slip meter for determining floor slipperiness during simulated heel strike. **Accident Analysis & Prevention**, [s.l.], v. 35, n. 2, p.211-225, mar. 2003. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0001-4575\(01\)00105-1](http://dx.doi.org/10.1016/s0001-4575(01)00105-1).

GRÖNQVIST, Raoul et al. Measurement of slipperiness: fundamental concepts and definitions. *Ergonomics*, [s.l.], v. 44, n. 13, p.1102-1117, out. 2001. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/00140130110085529>.

GRÖNQVIST, Raoul et al. An apparatus and a method for determining the slip resistance of shoes and floors by simulation of human foot motions. **Ergonomics**, [s.l.], v. 32, n. 8, p.979-995, ago. 1989. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/00140138908966859>.

GRÖNQVIST, Raoul. Mechanisms of friction and assessment of slip resistance of new and used footwear soles on contaminated floors. **Ergonomics**, [s.l.], v. 38, n. 2, p.224-241, mar. 1995. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/00140139508925100>.

GRÖNQVIST, Raoul et al. Slip resistance versus surface roughness of deck and other underfoot surfaces in ships. **Journal Of Occupational Accidents**, [s.l.], v. 13, n. 4, p.291-302, nov. 1990. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0376-6349\(90\)90035-](http://dx.doi.org/10.1016/0376-6349(90)90035-)

GRONQVIST, R., ROINE, J., 1993. **Serious occupational accidents caused by slipping**. In: Nielsen, R., Jorgensen, K. (Eds.), *Advances in Industrial Ergonomics and Safety*, V. Taylor and Francis, London, pp. 515±519.

HAMILTON, D. B.; WALOWIT, J. A.; ALLEN, C. M.. A Theory of Lubrication by Microirregularities. **Journal Of Basic Engineering**, [s.l.], v. 88, n. 1, p.177-188, 1966. ASME International. <http://dx.doi.org/10.1115/1.3645799>.

HARPER, F. C.; WARLOW, W. J.; CLARKE, B. L. **The Forces Applied to the Floor by the Foot in Walking. II. Walking on a Slope. III. Walking on Stairs**: Volume 32 of National building studies. Research paper. A: H.m. Stationery Office, 1967. 23 p.

HARRIS, G.w.; SHAW, S.r.. Slip resistance of floors: Users' opinions, Tortus instrument readings and roughness measurement. **Journal Of Occupational Accidents**, [s.l.], v. 9, n. 4, p.287-298, jan. 1988. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0376-6349\(88\)90019-3](http://dx.doi.org/10.1016/0376-6349(88)90019-3).

HOLMBERG, Kenneth et al. Friction and wear of coated surfaces — scales, modelling and simulation of tribomechanisms. *Surface And Coatings Technology*, [s.l.], v. 202, n. 4-7, p.1034-1049, dez. 2007. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.surfcoat.2007.07.105>.

HUGHES, R.c.; JAMES, D.i. The Hughes gauge: a new method for measuring coefficient of friction. **Polymer Testing**, [s.l.], v. 21, n. 1, p.39-42, jan. 2002. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0142-9418\(01\)00042-3](http://dx.doi.org/10.1016/s0142-9418(01)00042-3)

HUNTER, RB. Method of measuring frictional coefficient of walkway materials. Bureau of Standards J Res 1929;5:329-47.

International Organization for Standardization. ISO 10545 Part 17 - determination of coefficient of friction.

IRVINE, C., "Evaluation of Some Factors Affecting Measurements of Slip Resistance of Shoe Sole Materials on Floor Surfaces," Journal of Testing and Evaluation, Vol. 4, No. 2, 1976, pp. 133-138, <https://doi.org/10.1520/JTE10187J>. ISSN 0090-3973

JAMES, SV. What is a safe floor finish? Soap Sanitary Chem 1944;10:111-5.

JAMES, D.i. A standard slider for slip measurements. **Polymer Testing**, [s.l.], v. 8, n. 1, p.9-17, jan. 1988. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0142-9418\(88\)90034-7](http://dx.doi.org/10.1016/0142-9418(88)90034-7).

JOHNSON KL. Contact mechanics. Cambridge, England: Cambridge University Press;1985.

KARACA, Zeki et al. Assessment of the results of the pendulum friction tester (EN 14231) for natural building stones used as floor-coverings. **Construction And Building Materials**, [s.l.], v. 47, p.1182-1187, out. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.06.011>.

KEROPYAN, A.; GORBATYUK, S.. Impact of Roughness of Interacting Surfaces of the Wheel-Rail Pair on the Coefficient of Friction in their Contact Area. Procedia Engineering, [s.l.], v. 150, p.406-410, 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2016.06.753>.



KIGLE-BOECKLER, G., Measurement of gloss and reflection properties of surfaces. *Metal Finishing*, 1995. 93(5): p. 28-31.

KIM, In-ju; HSIAO, Hongwei; SIMEONOV, Peter. Functional levels of floor surface roughness for the prevention of slips and falls: Clean-and-dry and soapsuds-covered wet surfaces. **Applied Ergonomics**, [s.l.], v. 44, n. 1, p.58-64, jan. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apergo.2012.04.010>.

KIM, In-ju. Development of a new analyzing model for quantifying pedestrian slip resistance characteristics: part II—Experiments and validations. **International Journal Of Industrial Ergonomics**, [s.l.], v. 33, n. 5, p.403-414, maio 2004. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ergon.2003.10.011>.

KIM, In-ju. Investigation of Floor Surface Finishes for Optimal Slip Resistance Performance. **Safety And Health At Work**, [s.l.], p.1-8, jun. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.shaw.2017.05.005>.

KIM, In-ju; SMITH, Richard. Observation of the floor surface topography changes in pedestrian slip resistance measurements. **International Journal Of Industrial Ergonomics**, [s.l.], v. 26, n. 6, p.581-601, dez. 2000. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0169-8141\(00\)00024-x](http://dx.doi.org/10.1016/s0169-8141(00)00024-x).

KIM, In-ju. Investigation and Interpretation of Flooring Wear Development for Pedestrian Slip Resistance Assessments. **Tribology Transactions**, [s.l.], p.1-10, 26 jan. 2017. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/10402004.2017.1287318>.

KIM, In-ju. Wear Observation of Shoe Surfaces: Application for Slip and Fall Safety Assessments. **Tribology Transactions**, [s.l.], v. 58, n. 3, p.407-417, 4 fev. 2015. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/10402004.2014.980593>.

KIM, In-ju; SMITH, Richard; NAGATA, Hisao. Microscopic observations of the progressive wear on shoe surfaces that affect the slip resistance characteristics. **International Journal Of Industrial Ergonomics**, [s.l.], v. 28, n. 1, p.17-29, jul. 2001. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0169-8141\(01\)00010-5](http://dx.doi.org/10.1016/s0169-8141(01)00010-5).

KIM, IJ, SMITH, R. In: Marpet M, Sapienza M, editors. Metrology of pedestrian locomotion and slip resistance. USA: ASTM International; 2003. p. 33 e 48. ASTM STP 1424.

KIM, In-ju. Identifying shoe wear mechanisms and associated tribological characteristics: Importance for slip resistance evaluation. **Wear**, [s.l.], v. 360-361, p.77-86, ago. 2016. Elsevier BV.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.wear.2016.04.020>.

KIM, In-ju. Development of a new analyzing model for quantifying pedestrian slip resistance characteristics: Part I–Basic concepts and theories. **International Journal Of Industrial Ergonomics**, [s.l.], v. 33, n. 5, p.395-401, maio 2004. Elsevier BV.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ergon.2003.10.010>.

KIM, Jungsoo. Comparison of Three Different Slip Meters under Various Contaminated Conditions. **Safety And Health At Work**, [s.l.], v. 3, n. 1, p.22-30, mar. 2012. Elsevier BV.  
<http://dx.doi.org/10.5491/shaw.2012.3.1.22>.

KIM, Jung Soo. A Comparison of Slip Resistance Between the Grinded Outsoles and New Ones of Fire Fighter's Shoes. **Procedia Engineering**, [s.l.], v. 45, p.868-874, 2012. Elsevier BV.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2012.08.251>.

KIM, In-ju. A study on wear development of floor surfaces: Impact on pedestrian walkway slip-resistance performance. **Tribology International**, [s.l.], v. 95, p.316-323, mar. 2016. Elsevier BV.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.triboint.2015.11.039>.

KRAGELSKIJ, I.V., MIHIN,N.M.. Unit of the Friction Machine, Guide, Mashinostroenie, Moscow, 1984.

LECLERCQ, S; SAULNIER, H. Floor slip resistance changes in food sector workshops: prevailing role played by “fouling”. **Safety Science**, [s.l.], v. 40, n. 7-8, p.659-673, out. 2002. Elsevier BV.  
[http://dx.doi.org/10.1016/s0925-7535\(01\)00065-0](http://dx.doi.org/10.1016/s0925-7535(01)00065-0).

LECLERCQ, S.; TISSERAND, M.; SAULNIER, H.. Quantification of the slip resistance of floor surfaces at industrial sites. Part II: Choice of optimal measurement conditions. **Safety Science**, [s.l.], v. 17, n. 1, p.41-55, nov. 1993. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0925-7535\(93\)90019-a](http://dx.doi.org/10.1016/0925-7535(93)90019-a).

LECLERCQ, S.; TISSERAND, M.; SAULNIER, H.. Tribological concepts involved in slipping accident analysis. **Ergonomics**, [s.l.], v. 38, n. 2, p.197-208, mar. 1995. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/00140139508925097>.

LECLERCQ, S.. The prevention of slipping accidents: a review and discussion of work related to the methodology of measuring slip resistance. **Safety Science**, [s.l.], v. 31, n. 2, p.95-125, mar. 1999. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0925-7535\(98\)00064-2](http://dx.doi.org/10.1016/s0925-7535(98)00064-2).

LECLERCQ, S.; TISSERAND, M.; SAULNIER, H.. Quantification of the slip resistance of floor surfaces at industrial sites. Part I. Implementation of a portable device. **Safety Science**, [s.l.], v. 17, n. 1, p.29-39, nov. 1993. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0925-7535\(93\)90018-9](http://dx.doi.org/10.1016/0925-7535(93)90018-9).

LECLERCQ, S; ENGLERT, M. Slip prevention: validation of duplicates reproducing industrial floor surface state microgeometry. **Applied Ergonomics**, [s.l.], v. 33, n. 1, p.95-100, jan. 2002. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0003-6870\(01\)00057-6](http://dx.doi.org/10.1016/s0003-6870(01)00057-6).

LI, Kai Way et al. Floor slipperiness measurement: friction coefficient, roughness of floors, and subjective perception under spillage conditions. **Safety Science**, [s.l.], v. 42, n. 6, p.547-565, jul. 2004. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2003.08.006>.

LI, Kai Way; CHANG, Wen-ruey; CHANG, Chien-chi. Evaluation of two models of a slipmeter. **Safety Science**, [s.l.], v. 47, n. 10, p.1434-1439, dez. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2009.04.006>.

LI, Kai Way et al. Relationship between the measured friction coefficients of floors on a horizontal surface and on a 10° ramp. **International Journal Of Industrial Ergonomics**, [s.l.], v. 36, n. 8,

p.705-711, ago. 2006. Elsevier BV.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ergon.2006.05.002>.

LI, Kai Way et al. Friction measurements on ramps using the Brungraber Mark II slipmeter. **Safety Science**, [s.l.], v. 44, n. 5, p.375-386, jun. 2006. Elsevier BV.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2005.11.003>.

LI, Kai Way et al. Friction measurements on three commonly used floors on a college campus under dry, wet, and sand-covered conditions. **Safety Science**, [s.l.], v. 45, n. 9, p.980-992, nov. 2007. Elsevier BV.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2006.08.030>.

LI, Kai Way; YU, Ruifeng; ZHANG, Wei. Roughness and slipperiness of floor surface: Tactile sensation and perception. **Safety Science**, [s.l.], v. 49, n. 3, p.508-512, mar. 2011. Elsevier BV.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2010.11.010>.

LI, Kai Way; CHEN, Chin Jung. Effects of tread groove orientation and width of the footwear pads on measured friction coefficients. **Safety Science**, [s.l.], v. 43, n. 7, p.391-405, ago. 2005. Elsevier BV.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2005.08.006>.

LIU, Liwen et al. Friction measurements on “anti-slip” floors under shoe sole, contamination, and inclination conditions. **Safety Science**, [s.l.], v. 48, n. 10, p.1321-1326, dez. 2010. Elsevier BV.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2010.04.014>.

LOCKHART, Thurmon E. et al. Effects of age related sensory degradation on perception of floor slipperiness and associated slip parameters. **Safety Science**, [s.l.], v. 40, n. 7-8, p.689-703, out. 2002. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0925-7535\(01\)00067-4](http://dx.doi.org/10.1016/s0925-7535(01)00067-4)

LU, Ping et al. The use of anisotropic texturing for control of directional friction. **Tribology International**, [s.l.], v. 113, p.169-181, set. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.triboint.2017.02.005>.

MAEGAWA, Satoru; ITOIGAWA, Fumihiko; NAKAMURA, Takashi. Effect of normal load on friction coefficient for sliding contact between rough rubber surface and rigid smooth plane. **Tribology International**,

[s.l.], v. 92, p.335-343, dez. 2015. Elsevier BV.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.triboint.2015.07.014>.

MANNING, D.p.; JONES, C.; BRUCE, M.. Proof of shoe slip-resistance by a walking traction test. **Journal Of Occupational Accidents**, [s.l.], v. 12, n. 4, p.255-270, jul. 1990. Elsevier BV.  
[http://dx.doi.org/10.1016/0376-6349\(90\)90050-6](http://dx.doi.org/10.1016/0376-6349(90)90050-6).

MANNING, D.p; JONES, C. The effect of roughness, floor polish, water, oil and ice on underfoot friction. **Applied Ergonomics**, [s.l.], v. 32, n. 2, p.185-196, abr. 2001. Elsevier BV.  
[http://dx.doi.org/10.1016/s0003-6870\(00\)00055-7](http://dx.doi.org/10.1016/s0003-6870(00)00055-7).

MANNING, Derek P et al. The Surface Roughness of a Rubber Soling Material Determines the Coefficient of Friction on Water-Lubricated Surfaces. **Journal Of Safety Research**, [s.l.], v. 29, n. 4, p.275-283, dez. 1998. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0022-4375\(98\)00053-x](http://dx.doi.org/10.1016/s0022-4375(98)00053-x).

MANNING, D.p.; JONES, C.. The superior slip-resistance of footwear soling compound T66/103. *Safety Science*, [s.l.], v. 18, n. 1, p.45-60, ago. 1994. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0925-7535\(94\)90040-x](http://dx.doi.org/10.1016/0925-7535(94)90040-x).

MANNING, D.p. et al. The incidence of underfoot accidents during 1985 in a working population of 10,000 Merseyside people. *Journal Of Occupational Accidents*, [s.l.], v. 10, n. 2, p.121-130, ago. 1988. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0376-6349\(88\)90026-0](http://dx.doi.org/10.1016/0376-6349(88)90026-0).

MARPET, Mark I. Problems and progress in the development of standards for quantifying friction at the walkway interface. **Tribology International**, [s.l.], v. 34, n. 9, p.635-645, set. 2001. Elsevier BV.  
[http://dx.doi.org/10.1016/s0301-679x\(01\)00056-1](http://dx.doi.org/10.1016/s0301-679x(01)00056-1).

MATZ, Simon; GRÖNQVIST, Raoul. Comparing two methods of data collection for walkway friction measurements with a portable slip meter and a force platform. **Safety Science**, [s.l.], v. 42, n. 6, p.483-492, jul. 2004. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2003.08.001>

MILLER, B.C., 1999. Slip resistance standards: sorting it all out. *Safety and Health*, p. 62.

MILLS, R.; DWYER-JOYCE, R.s.; LOO-MORREY, M.. The mechanisms of pedestrian slip on flooring contaminated with solid particles. **Tribology International**, [s.l.], v. 42, n. 3, p.403-412, mar. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.triboint.2008.07.013>.

MONTEDO, Oscar Rubem Klegues; OLIVEIRA, Antonio Pedro Novaes de. Relação entre Desgaste Abrasivo Superficial e Brilho em Porcelanato Esmaltado. **Cerâmica Industrial**, São Carlos, v. 12, p.14-21, set. 2007.

MOORE, Desmond F. **The friction and lubrication of elastomers**. Oxford: Pergamon, 1972. (International series of monographs on materials science and technology, vol. 9).

MOORE, Caitlin T. et al. Analysis of Shoe Friction During Sliding Against Floor Material: Role of Fluid Contaminant. *Journal Of Tribology*, [s.l.], v. 134, n. 4, p.041104-041111, 2012. ASME International. <http://dx.doi.org/10.1115/1.4007346>.

MYUNG, Rohae; SMITH, James L.; LEAMON, Tom B.. Subjective assessment of floor slipperiness. **International Journal Of Industrial Ergonomics**, [s.l.], v. 11, n. 4, p.313-319, jul. 1993. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0169-8141\(93\)90081-n](http://dx.doi.org/10.1016/0169-8141(93)90081-n).

NOVELLI, L.A., **Contribuição aos estudos dos mecanismos de interação das partículas abrasivas com as microestruturas de ferros fundidos em processo de desgaste**. 2004. p.1-101. Dissertação (Mestrado em engenharia de materiais). Rede Temática em Engenharia de Materiais, UFOP-CETEC-UEMG, Ouro Preto.

NIKOOFARD, H.; FARAHANI, S. Vasheghani; JAFARI, G.r..Dependence of the friction coefficient between two rough surfaces on their reciprocal correlation function. *Physica B: Condensed Matter*, [s.l.], v. 452, p.71-73, nov. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.physb.2014.07.011>.

OLIVEIRA, Antonio Pedro Novaes de; ALARCON, Orestes Estevam. Desgaste por Abrasão de Esmaltes Cerâmicos. **Cerâmica Industrial**, São Carlos, v. 16, p.17-24, maio/jun. 2011.

PACHECO, Juliano Anderson. **Análise estatística usando o statistica**. Universidade federal de santa Catarina. Florianópolis – SC. Junho 2011.

PINTAUDE, G. **Análise dos regimes moderado a severo de desgaste abrasivo utilizando ensaios instrumentados de dureza**. Tese apresentada a escola Politécnica da universidade de São Paulo. São Paulo, 2002.

PERKINS, P. J.; WILSON, M. P.. Slip resistance testing of shoes — new developments. **Ergonomics**, [s.l.], v. 26, n. 1, p.73-82, jan. 1983. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/00140138308963314>.

PERKINS, Pj. Measurement of Slip Between the Shoe and Ground During Walking. **Walkway Surfaces: Measurement of Slip Resistance**, [s.l.], p.71-71, 1978. ASTM International. <http://dx.doi.org/10.1520/stp28738s>.

POWERS, C., KULIG, K., FLYNN, J., BRAULT, J., "Repeatability and Bias of Two Walkway Safety Tribometers," **Journal of Testing and Evaluation**, Vol. 27, No. 6, 1999, pp. 368-374, <https://doi.org/10.1520/JTE12164J>. ISSN 0090-3973

PRESTON, Jay W..**SLIP TESTING**. Disponível em: <<http://www.safetybiz.com/Sliptest.htm>>. Acesso em: 13 set. 2017.

PROCTOR, Thomas D.; COLEMAN, Victor. Slipping, tripping and falling accidents in Great Britain — Present and future. **Journal Of Occupational Accidents**, [s.l.], v. 9, n. 4, p.269-285, jan. 1988. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0376-6349\(88\)90018-1](http://dx.doi.org/10.1016/0376-6349(88)90018-1).

REDFERN, Mark S. et al. Biomechanics of slips. **Ergonomics**, [s.l.], v. 44, n. 13, p.1138-1166, out. 2001. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/00140130110085547>.

REDFERN, M.S., BIDANDA, B., 1991. Programmable shoe/floor tester to evaluate floor slipperiness. In: Karwowski, W., Yates, J.W. (Eds.),

Advances in Industrial Ergonomics and Safety III. Taylor and Francis, London, pp. 387–390.

RICHARDSON, M.T., 1996. A correlation study between cleanability and roughness characteristics of surfaces. HSL Internal Report IR/L/PE/96/7, Health and Safety Laboratory, Sheffield, UK.

RICOTTI, R.; DELUCCHI, M.; CERISOLA, G.. A comparison of results from portable and laboratory floor slipperiness testers. **International Journal Of Industrial Ergonomics**, [s.l.], v. 39, n. 2, p.353-357, mar. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ergon.2008.07.004>.

SARIISIK, Ali. Safety analysis of slipping barefoot on marble covered wet areas. **Safety Science**, [s.l.], v. 47, n. 10, p.1417-1428, dez. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2009.03.006>.

SARIISIK, A.; GURCAN, S.; SENTURK, A.. Description of slipping test methods and application study on travertine by ramp slip meter. **Building And Environment**, [s.l.], v. 42, n. 4, p.1707-1710, abr. 2007. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.01.020>.

SATRA, Slip resistance guide safety, protective and occupational footwear supplied into the European market. 2012

SKIBA, R., KUSCHEFSKI, A., CZIUK, N.. *Entwicklungs eines normgerechten Prüfverfahrens zur Ermittlung der Gleitsicherheit von Schuhsohlen. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz, Dortmund, Fb Nr 526, 1987*

SKIBA, R., 1996a. Möglichkeiten zur nachträglichen Verbesserung der Rutschhemmung von Fußböden. *Arbeitsschutz aktuell* 1996/5, 17–20.

SMITHELLS, C. J. Friction and wear. **Smithells Metals Reference Book**, [s.l.], p.25-1, 2004. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-075067509-3/50028-2>.

SPIJKER, Peter; ANCIAUX, Guillaume; MOLINARI, Jean-françois. Relations between roughness, temperature and dry sliding friction at the



atomic scale. *Tribology International*, [s.l.], v. 59, p.222-229, mar. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.triboint.2012.02.009>.

Standards Australia. AS/NZS 3661.1:1993: Slip resistance of pedestrian surfaces Requirements.1993

STEVENSON, M.G. & HOANG, K & BUNTERNGCHIT, Y & LLOYD, DAVID. (1989). Measurement of slip resistance of shoes on floor surfaces, Part 1: Methods. **Journal of Occupational Health and Safety** - Australia and NZ. 5. 115-120.

STRANDBERG, Lennart; LANSHAMMAR, Håkan. The dynamics of slipping accidents. *Journal Of Occupational Accidents*, [s.l.], v. 3, n. 3, p.153-162, set. 1981. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0376-6349\(81\)90009-2](http://dx.doi.org/10.1016/0376-6349(81)90009-2).

STROBEL, Caitlin Moore et al. Analysis of the Contribution of Adhesion and Hysteresis to Shoe–Floor Lubricated Friction in the Boundary Lubrication Regime. *Tribology Letters*, [s.l.], v. 47, n. 3, p.341-347, 5 jun. 2012. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s11249-012-9989-5>

SURFTEST SJ-210: Medidor de Rugosidade Superficial Modelo SJ-210. Kanagawa: Mitutoyo Corporation, 2018.

TISSERAND, M.. Progress in the prevention of falls caused by slipping. **Ergonomics**, [s.l.], v. 28, n. 7, p.1027-1042, jul. 1985. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/00140138508963225>.

TRAVAIL ET SECURITE, 1969. Les accidents de plain-pied dans les professions de l'industrie chimique. mai: 273-280 .

TRAVAIL ET SECURITE, 1972. Les accidents de plain-pied dans les usines de fabrication du papier .mai : 281-285 .

TSAI, Yi-ju; POWERS, Christopher M.. Increased shoe sole hardness results in compensatory changes in the utilized coefficient of friction during walking. **Gait & Posture**, [s.l.], v. 30, n. 3, p.303-306, out. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gaitpost.2009.05.019>

UK SLIP RESISTANCE GROUP (Reino Unido). Uk Slip Resistance Group. **The Assessment of Floor Slip Resistance: The UK Slip Resistance Group Guidelines**. 5. ed. Reino Unido: Uk Slip Resistance Group, 2016. 36 p.

VLĂDESCU, Sorin-cristian et al. Lubricant film thickness and friction force measurements in a laser surface textured reciprocating line contact simulating the piston ring–liner pairing. **Tribology International**, [s.l.], v. 98, p.317-329, jun. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.triboint.2016.02.026>.

WILDBRETT, G., SAUERER, V. 1992, Reinigungsverhalten von Edelstahl und Kunststoffrohren. **SO“ FW Journal**, 118, Jahrgang, 15/92.

WILLIAMS, W.D., SMITH, J.A., DRAUGELIS, F.J., 1972. TOPAKA: Newdevice and method for measuring slip resistance of polished floors. Proceedings of the 58th mid year Meeting of Waxes, Polishes and Floor Finishes Division, Chemical Specialties Manufacturers Association, NewYork.

YI, Zhengkun; ZHANG, Yilei; PETERS, Jan. Bioinspired tactile sensor for surface roughness discrimination. **Sensors And Actuators A: Physical**, [s.l.], v. 255, p.46-53, mar. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.sna.2016.12.021>.

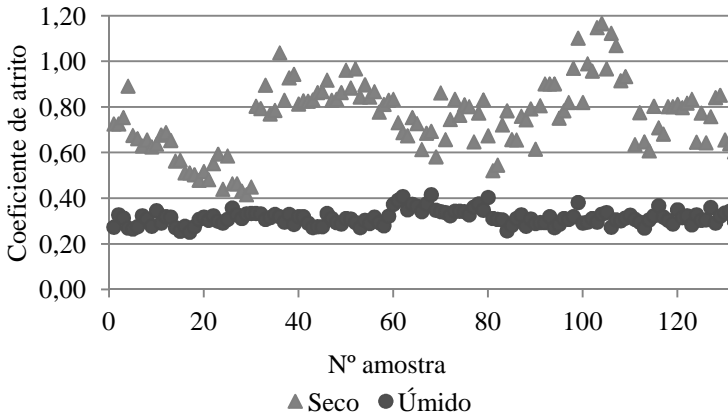
ZAMORA, Tomás et al. Existence of an optimum dynamic coefficient of friction and the influence on human gait variability. *International Journal Of Industrial Ergonomics*, [s.l.], v. 41, n. 5, p.410-417, set. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ergon.2011.05.004>.

ZHAO, Q; BAHADUR, S. The mechanism of filler action and the criterion of filler selection for reducing wear. *Wear*, [s.l.], v. 225-229, p.660-668, abr. 1999. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0043-1648\(99\)00023-x](http://dx.doi.org/10.1016/s0043-1648(99)00023-x).

## **APÊNDICE**

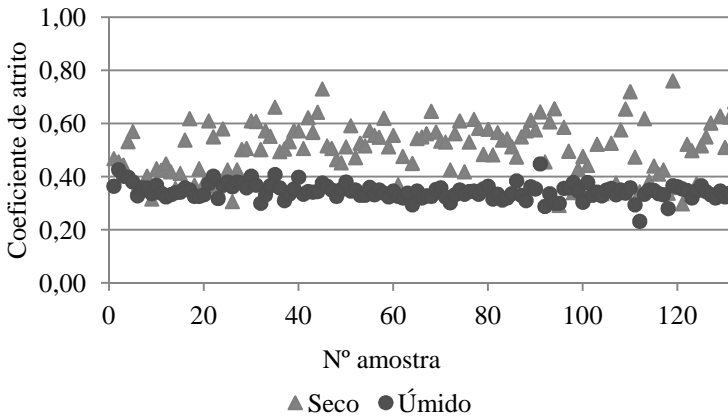
**APÊNDICE A - RESULTADOS DE ATRITO INDIVIDUAIS ANTES DA ABRASÃO**

Figura 138 – Coeficiente de Atrito DS - Dynamic Slip - Superfície Acetinada



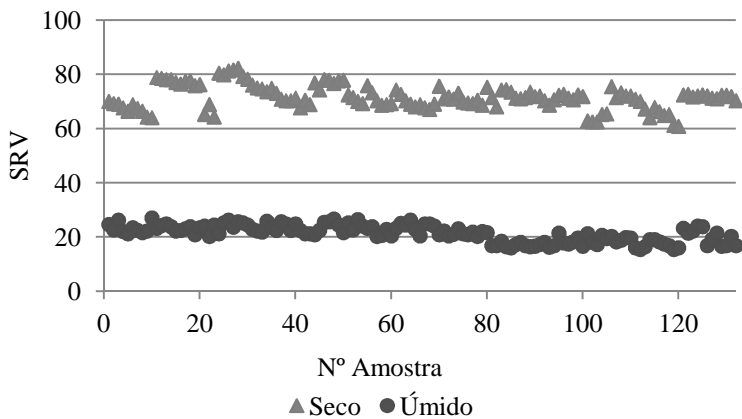
Fonte: Autora, 2019

Figura 139 – Coeficiente de Atrito BOT - Superfície Acetinada



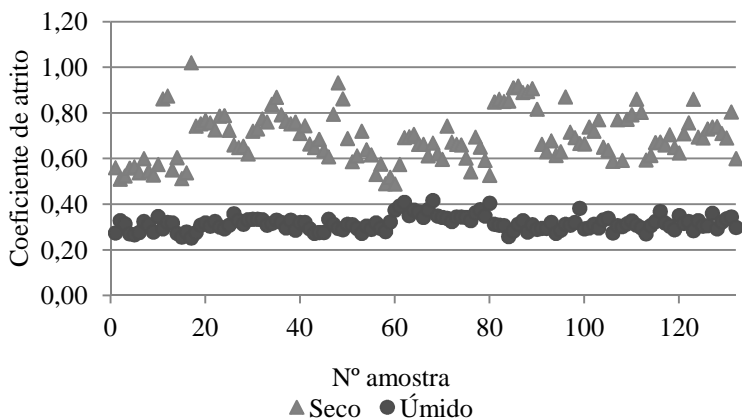
Fonte: Autora, 2019

Figura 140 – SRV Pêndulo - Superfície Acetinada



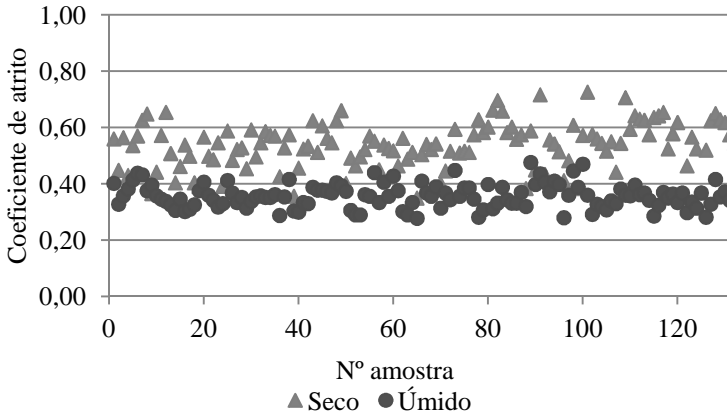
Fonte: Autora, 2019

Figura 141 – Coeficiente de Atrito DS - Dynamic Slip - Superfície Natural Decorada



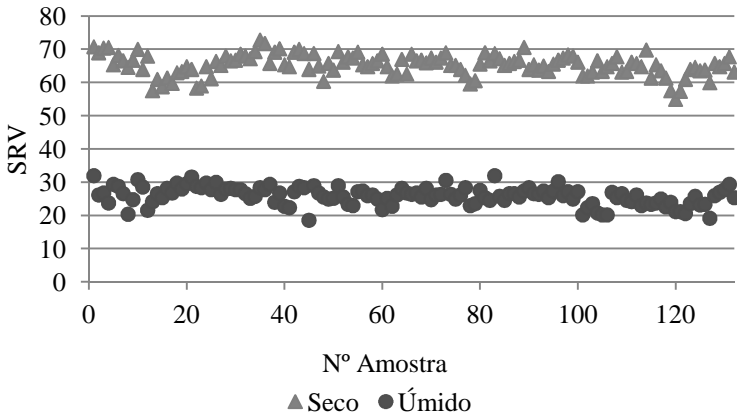
Fonte: Autora, 2019

Figura 142 – Coeficiente de Atrito BOT - Superfície Natural Decorada



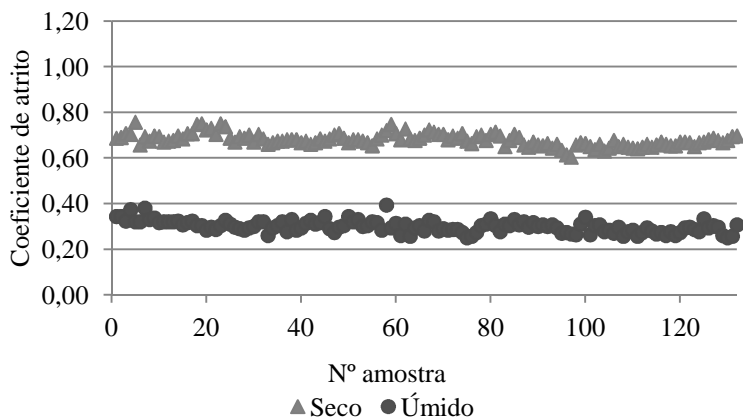
Fonte: Autora, 2019

Figura 143 – SRV Pêndulo - Superfície Natural Decorada



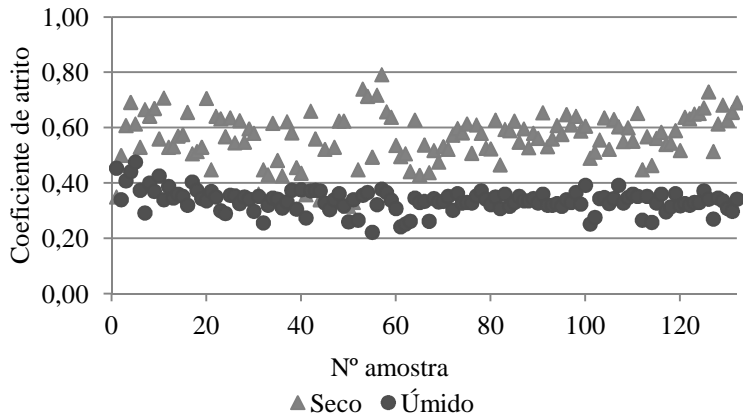
Fonte: Autora, 2019

Figura 144 – Coeficiente de Atrito DS - Dynamic Slip - Superfície Natural



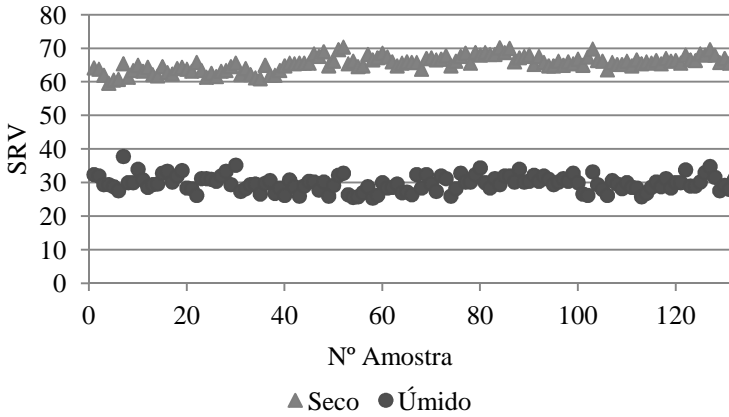
Fonte: Autora, 2019

Figura 145 – Coeficiente de Atrito BOT - Superfície Natural



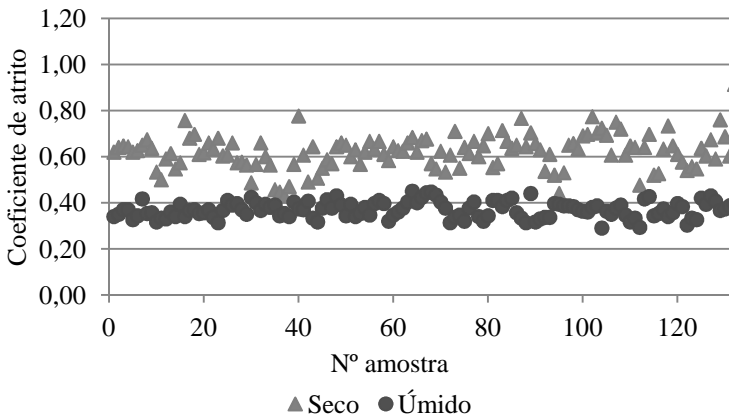
Fonte: Autora, 2019

Figura 146 – SRV Pêndulo - Superfície Natural



Fonte: Autora, 2019

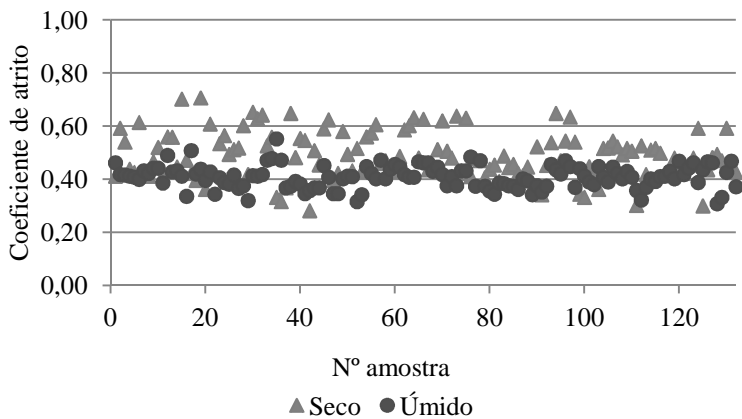
Figura 147 – Coeficiente de Atrito DS - Dynamic Slip - Superfície Polida



Fonte: Autora, 2019

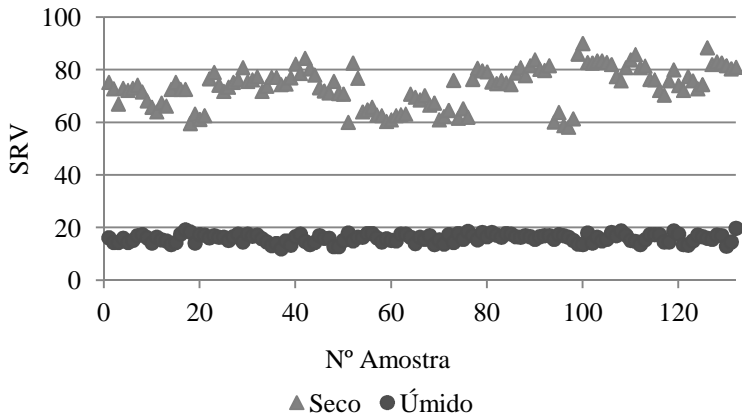


Figura 148 – Coeficiente de Atrito BOT - Superfície Polida



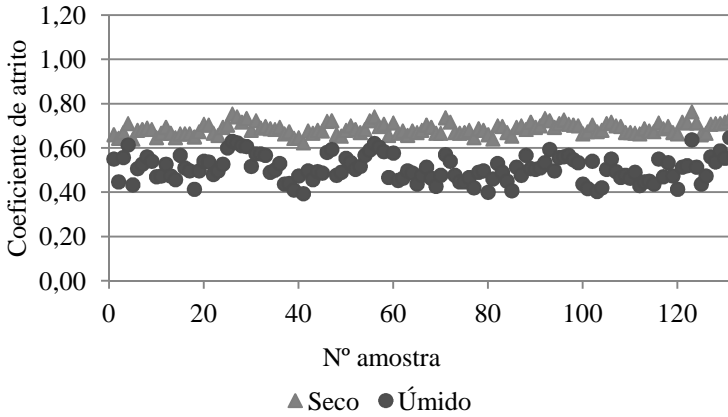
Fonte: Autora, 2019

Figura 149 – SRV Pêndulo - Superfície Polida



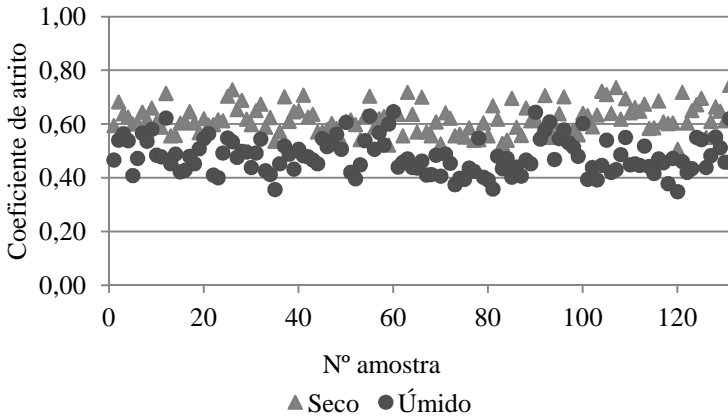
Fonte: Autora, 2019

Figura 150 – Coeficiente de Atrito DS - Dynamic Slip - Superfície com Cobertura de Córindon



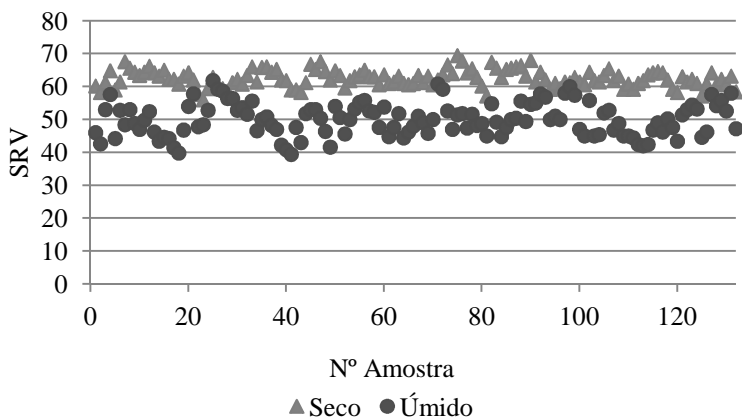
Fonte: Autora, 2019

Figura 151 – Coeficiente de Atrito BOT- Superfície com Cobertura de Córindon



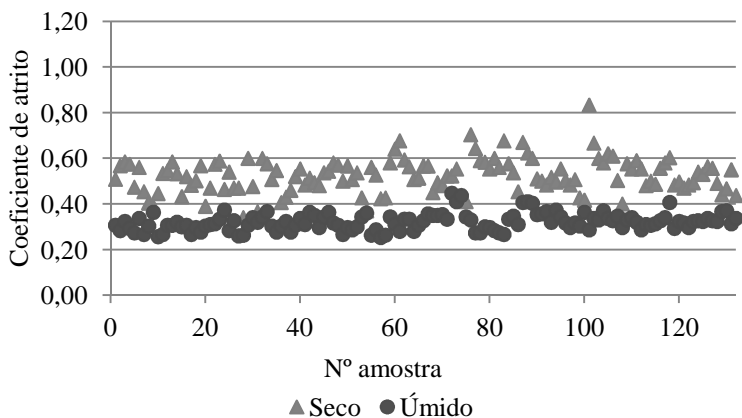
Fonte: Autora, 2019

Figura 152 – SRV Pêndulo - Superfície com Cobertura de Córindon



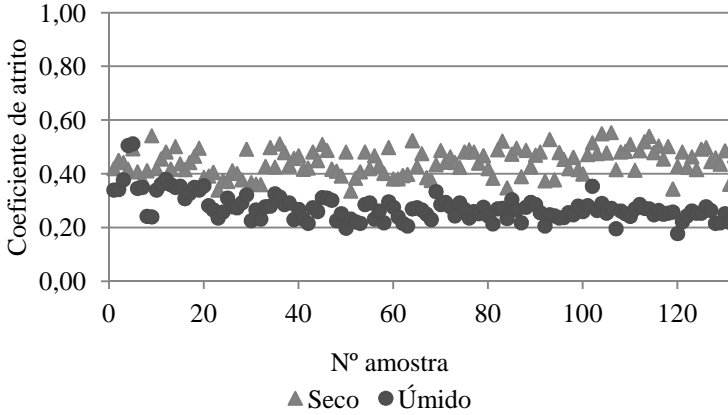
Fonte: Autora, 2019

Figura 153 – Coeficiente de Atrito DS - Dynamic Slip - Superfície Brilhante



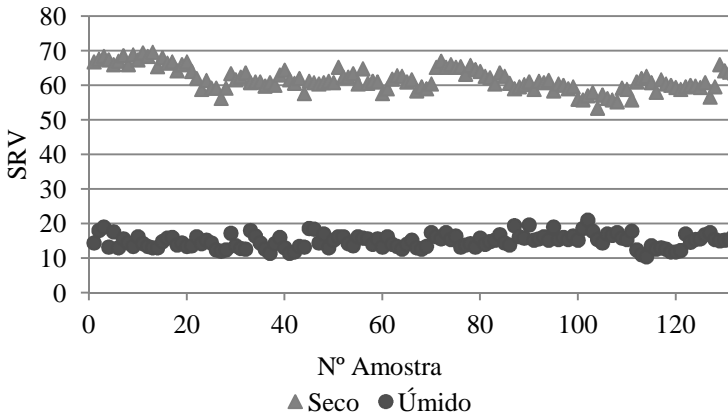
Fonte: Autora, 2019

Figura 154 – Coeficiente de Atrito BOT - Superfície Brilhante



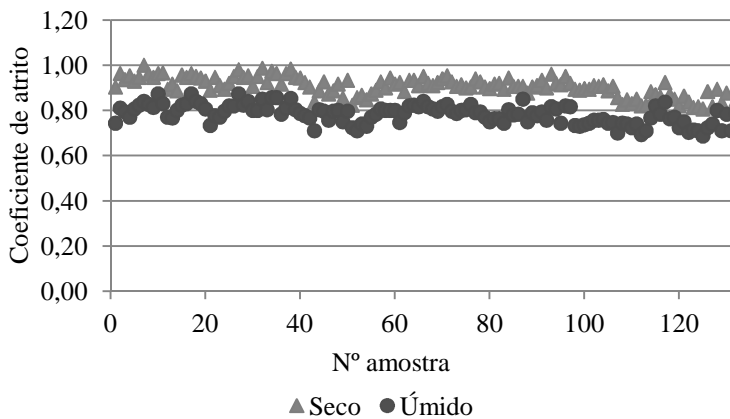
Fonte: Autora, 2019

Figura 155 – SRV Pêndulo - Superfície Brilhante



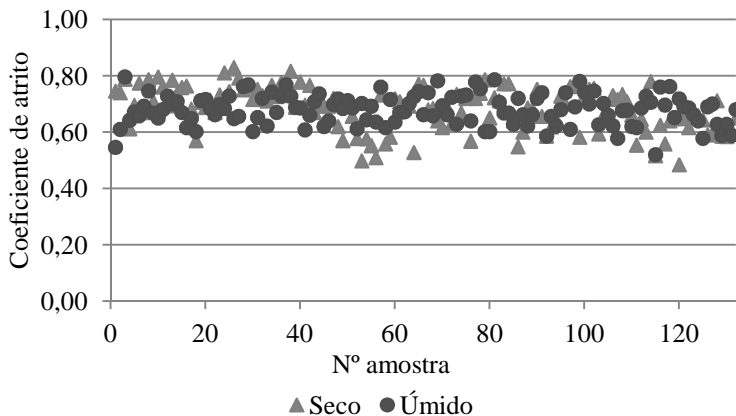
Fonte: Autora, 2019

Figura 156 – Coeficiente de Atrito DS - Dynamic Slip - Superfície Granilhada



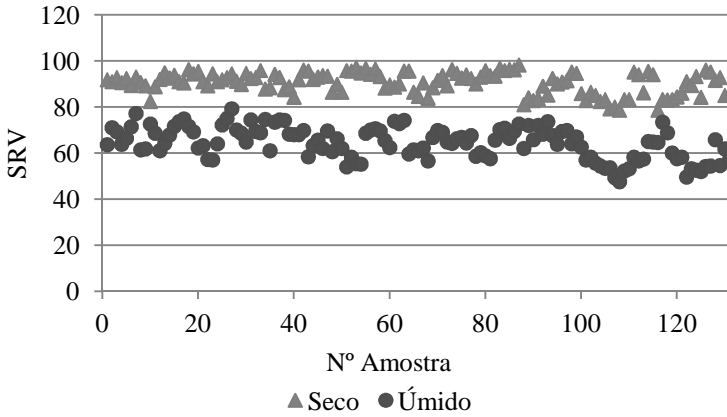
Fonte: Autora, 2019

Figura 157 – Coeficiente de Atrito BOT - Superfície Granilhada



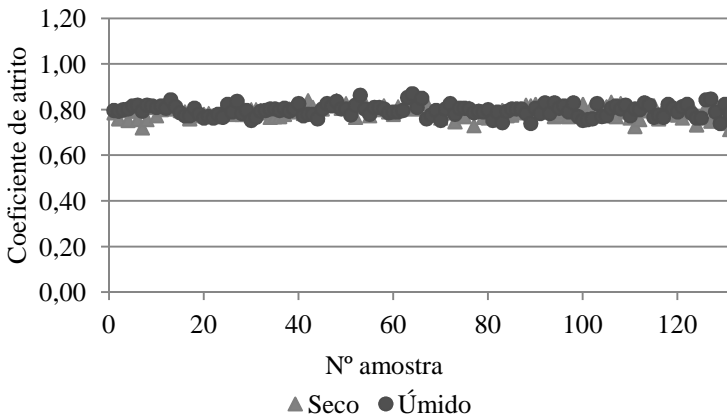
Fonte: Autora, 2019

Figura 158 – SRV Pêndulo - Superfície Granilhada



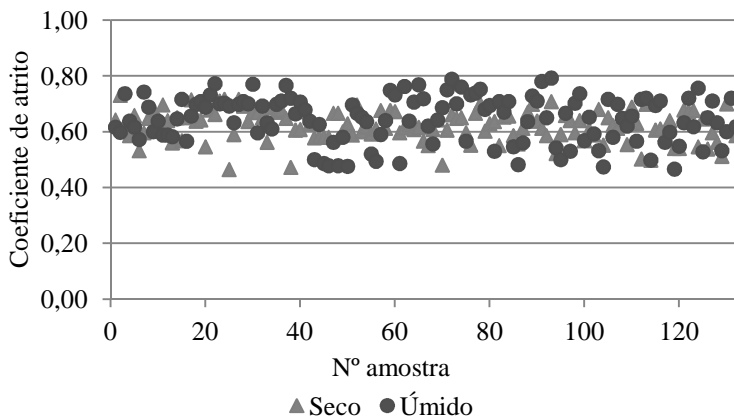
Fonte: Autora, 2019

Figura 159 – Coeficiente de Atrito DS - Dynamic Slip - Superfície com Cobertura de Córindon + Revelo



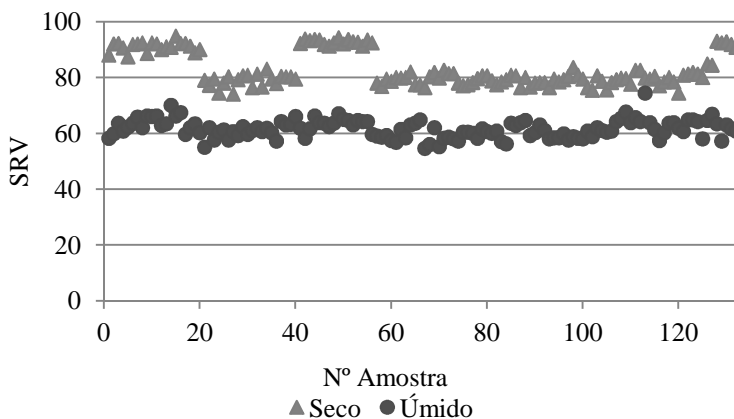
Fonte: Autora, 2019

Figura 160 – Coeficiente de Atrito BOT - Superfície com Cobertura de Córindon + Revelo



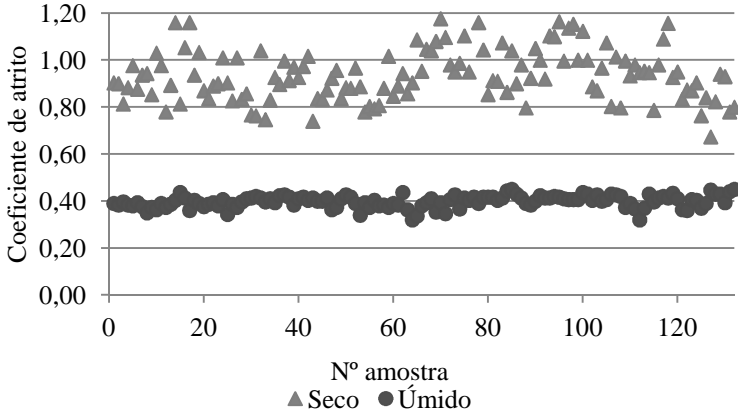
Fonte: Autora, 2019

Figura 161 – SRV Pêndulo - Superfície com Cobertura de Córindon + Revelo



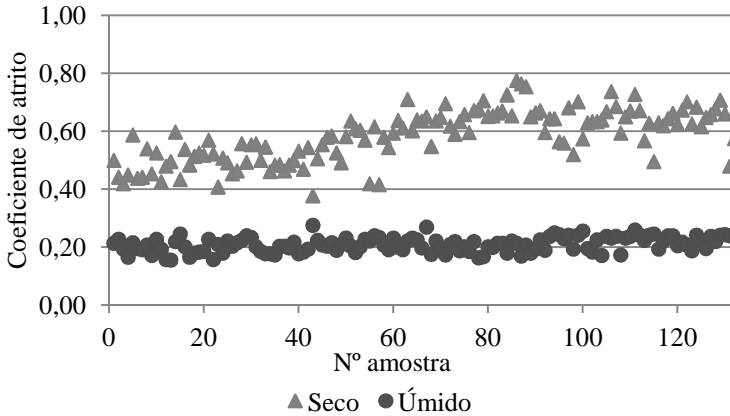
Fonte: Autora, 2019

Figura 162 – Coeficiente de Atrito DS - Dynamic Slip - Superfície Esmaltada Polida



Fonte: Autora, 2019

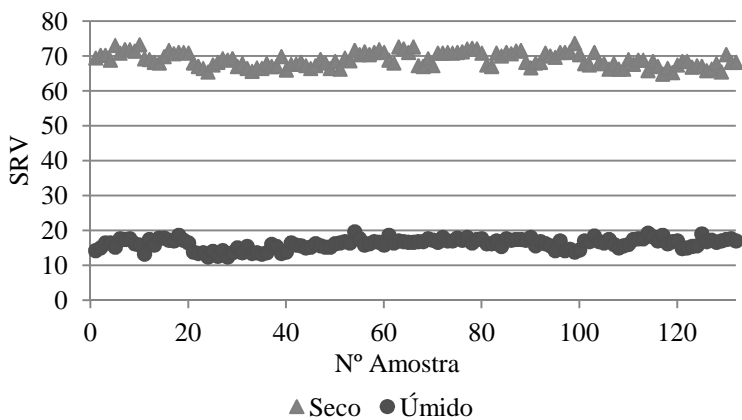
Figura 163 – Coeficiente de Atrito BOT - Superfície Esmaltada Polida



Fonte: Autora, 2019

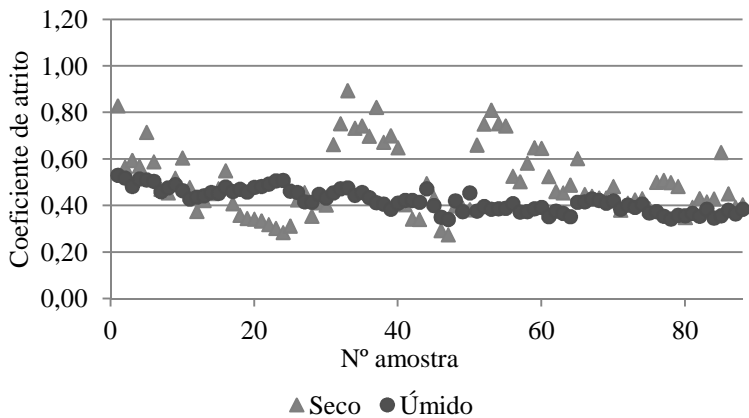


Figura 164 – SRV Pêndulo - Superfície Esmaltada Polida



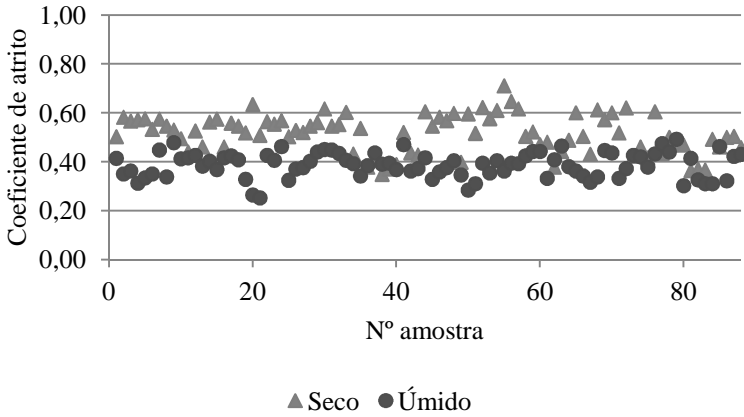
Fonte: Autora, 2019

Figura 165 – Coeficiente de Atrito DS - Dynamic Slip - Granito Polido



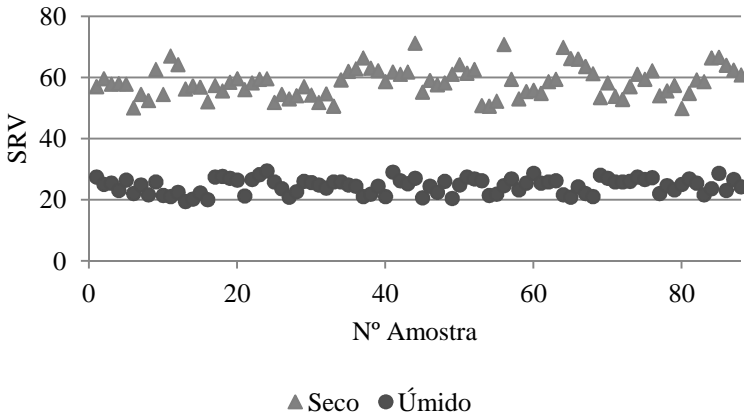
Fonte: Autora, 2019

Figura 166 – Coeficiente de Atrito BOT - Granito Polido



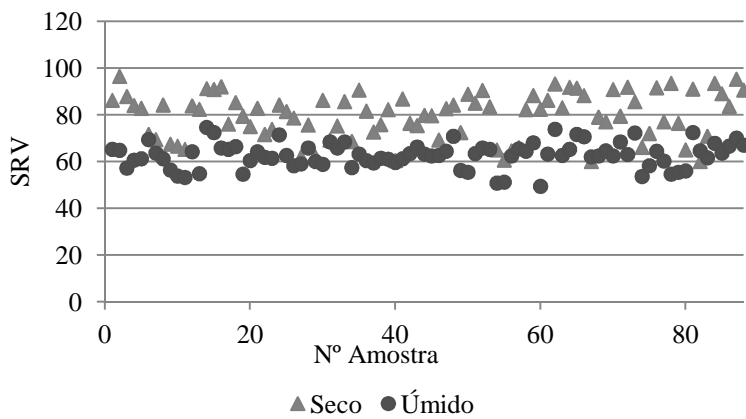
Fonte: Autora, 2019

Figura 167 – SRV Pêndulo - Granito Polido



Fonte: Autora, 2019

Figura 168 – SRV Pêndulo - Miracema



Fonte: Autora, 2019