DESENVOLVIMENTO DE TEXTURA PARA SUPERFÍCIE DE CONCRETO VISANDO A REDUÇÃO DE OCORRÊNCIAS DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA

DAPPER, Silvia Trein Heimfarth[1], KINDLEIN JÚNIOR, Wilson[2], MASUERO, Angela Borges[3]

[1] Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Designer, Mestre em Design, doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação (NORIE), Laboratório de Design e Seleção de Materiais (LdSM), Professora do Centro Universitário Univates, e-mail: silviadesign@gmail.com
[2] UFRGS, Professor Doutor do Programa de Pós-Graduação em Design, LdSM, e-mail: kindlein@portoweb.com.br
[3] UFRGS, Professora Doutora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, NORIE, e-mail: angela.masuero@ufrgs.br

RESUMO

A falta de aderência da argamassa de revestimento em superfícies de concreto nas edificações manifesta-se pelo seu descolamento. Visando aumentar a aderência do revestimento à estrutura de concreto, frequentemente se realiza camada de preparação denominada de chapisco. Entretanto, muitas vezes esta camada não é suficiente para garantir um desempenho adequado do revestimento, seja pela qualidade do material, técnica de execução ou ainda pelas próprias características da base. Assim posto, esse trabalho buscou pela criação de textura para a superfície do concreto, visando eliminar a aplicação do chapisco, ampliando o controle técnico da aderência do revestimento. Para a criação da textura utilizou-se como base o córtex inferior do líquen *Parmotrema praesorediosum*, devido à função de aderência sobre substratos. Foram utilizadas tecnologias de digitalização tridimensional para a aquisição da morfologia dos líquens e usinagem CNC para a confecção do molde do concreto. Foram confeccionadas placas de concreto texturizadas a partir dos moldes de MDF, e placas lisas que receberam chapisco convencional. Todas as placas foram revestidas com argamassa. Foram realizados ensaios de resistência de aderência à tração em conformidade com a NBR 13528, cujos resultados das amostras com a textura do líquen se mostraram significativamente superiores comparados às que receberam o chapisco.

Palavras chave: tratamento superficial; substrato de concreto; resistência de aderência; biônica; líquens.

ABSTRACT

The lack of adherence of covering mortar on building concrete surfaces shows itself by its detachment. To increase the covering mortar adherence to concrete structures, frequently roughcast is done, and its quality depends on the cement:sand ratio and the worker's experience. When the roughcast is not applied with efficiency, pathologies may appear like falling covering. Thus, this research tried to create surface texture on concrete, with the objective of eliminating the roughcast application, increasing the technical control of the roughness and covering's adherence. To create textures it was utilized as inspiration the lichen's lower cortex, because of its adherence function to substrates. Tridimensional digitalization technology was utilized to acquire the morphology of lichens and CNC milling of MDF to build concrete molds. Textured concrete slab were made from the molds milled, and smooth slab which received the normal roughcast. All the slabs were covered with mortar. Adherence test of tensile bond strength were performed according to NBR 13528, whose results samples with lichen texture were significantly superior to the samples which received roughcast.

Keywords: superficial treatment; concrete substrate, adherence strength, bionics, lichens.

1. INTRODUÇÃO

A perda de aderência da argamassa de revestimento sobre substratos de concreto nas edificações manifesta-se pelo seu destacamento ou descolamento. Essas anomalias degradam a qualidade visual da superfície do edifício, constituem em risco para os usuários e população frequentadora dos arredores da edificação, além de prejudicar as funções atribuídas às argamassas, como assegurar a proteção contra as intempéries, ações mecânicas, químicas e biológicas, relevantes na durabilidade dos edifícios (GASPAR, FLORES-COLEN, & BRITO, 2007) (MAGALHÃES, 2002). As argamassas de revestimento ainda desempenham os papéis de vedação das edificações quanto aos isolamentos acústico e térmico e estanqueidade à água (STOLZ, 2011). Todos esses fatores fazem da argamassa de revestimento um dos produtos mais utilizados pela construção civil, implicando na importância do aprofundamento de estudos sobre a sua utilização e durabilidade.

Muitos veículos de comunicação (mídia) noticiam seguidamente que o destacamento da argamassa é um problema recorrente, porém, apesar dos inúmeros incidentes que envolvem o destacamento das argamassas, ainda sim, o conhecimento científico e a prática construtiva não apresentam sintonia na execução de projetos. Isso pode ocorrer, em parte, por uso de conceitos dúbios ou contraditórios assumido por pesquisas eminentemente tecnológicas ou descaso dado ao tema (LEAL, 2003).

A falta de controle tecnológico e conhecimento técnico no desenvolvimento de muitas das edificações resultam no aparecimento de manifestações patológicas e muitos trabalhos nacionais, como o de Stolz (2011), têm voltado os estudos para entender o comportamento mecânico e reológico que caracterizam as argamassas de revestimento. Esses estudos têm como objetivo diminuir as manifestações patológicas e ampliar o desempenho das argamassas de revestimento em situações diferentes de exposição e aplicação (STOLZ, 2011). Para isso, na construção civil, assim como diversos outros setores influenciados pela globalização, tem-se optado por modificações no processo produtivo, no intuito da diminuição de custos e aumento da eficiência e qualidade de produto, possibilitado com o avanço da tecnologia (OLIVEIRA, 2002).

Dessa forma, esse trabalho busca melhorar a aderência das argamassas de revestimentos sobre concretos estruturais, através da aplicação de texturas bioinspiradas, com função aderente, nos moldes dos concretos pré-moldados. Para isso, através de estudos análogos, percebeu-se o comportamento dos líquens, que buscam se fixar em diferentes superfícies para a sua sobrevivência, como rochas, telhas, materiais cerâmicos diversos e cascas de árvores, função similar com a aderência das argamassas em substratos de concreto.

Do ponto de vista ambiental, este projeto auxilia na minimização do consumo de recursos naturais e energéticos. O alto consumo de matéria-prima faz do setor da construção civil um

dos maiores impactantes ambientais. Dentre as vertentes econômicas que este projeto pode beneficiar está a diminuição do tempo de execução de obra. Quanto ao controle tecnológico, a aplicação de uma textura conhecida e estudada na superfície do concreto impedirá que falhas ocorram devido à má aplicação, má qualidade ou incompatibilidade do chapisco.

Assim posto, este artigo está estruturado de forma a abordar revisão bibliográfica sobre a adesão mecânica das argamassas de revestimentos, além de apresentar assuntos pertinentes ao design de superfície e biônica, aprofundando-se sobre as características dos líquens e suas propriedades de fixação. São apresentados os materiais e métodos utilizados nesse estudo e, ao final, são discutidos e apresentados os resultados dos experimentos para a conclusão das técnicas aplicadas.

1.1 Adesão mecânica

O fenômeno de adesão das argamassas de revestimentos sobre superfícies de concreto tem sido um objeto de estudo profundo durante as últimas décadas. Porém, não existe uma teoria unificada para explicar o conjunto do fenômeno, e sim, diferentes teorias aplicadas em casos particulares.

Os modelos de adesão que vem sendo estudados atualmente tratam-se do modelo de adesão mecânica, modelo reológico, modelos de adesão específicas (teoria elétrica, teoria da difusão, teoria de adsorção termodinâmica (atrações intermoleculares), teoria ácido-base e teoria de enlace químico), modelo reológico e modelo de camada interfacial de pobre coesão. Romero (2010), porém, afirma que tratamentos químicos que favorecem o fenômeno de adsorção não chegam a aumentar a adesão em 80%, enquanto um tratamento mecânico que crie uma rugosidade adequada pode melhorar em até 300% quando comparados com superfícies sem tratamento.

O modelo de adesão mecânica é a teoria mais antiga das citadas anteriormente, e se deve à ancoragem da argamassa de revestimento nos poros e rugosidades superficiais do substrato de concreto, ou seja, a adesão mecânica entre a superfície de concreto e a argamassa ocorre quando a argamassa, ainda em estado líquido ou viscoso, penetra nos poros da superfície de concreto e, após o período de cura, assegura um efeito de bloqueio mecânico (COURARD, 1998).

A penetração da argamassa de revestimento nos poros do substrato proporciona uma área de contato real entre os materiais muito superior ao contato correspondente à superfície aparente. Portanto, rugosidades e poros são fatores importantes para a adesão do revestimento.

Para estruturas de concretos de alta resistência à compressão e baixa porosidade, que apresentam superfícies lisas, de baixa absorção e baixa aderência do substrato de

revestimento, o chapisco desempenha a função de criar microancoragens obtidas pelo transporte de água e dos produtos de hidratação aos poros do substrato, e macroancoragem por ampliar a superfície de contado ao aumentar a rugosidade, ampliando a resistência de aderência da argamassa de revestimento (MÜLLER, 2010).

Tendo em vista que o chapisco desempenha o papel de criar textura na superfície do concreto para garantir a resistência de aderência das argamassas de revestimento, é possível que esse fator também seja conseguido ao se inserir textura na fôrma do concreto, através da reformulação dos moldes. Dessa forma, torna-se pertinente o estudo do design de superfície de cunho estrutural, abordado a seguir.

1.2 Design de superfície

Design de Superfície consiste em uma atividade técnica e criativa para a criação de texturas visuais e táteis, apresentando soluções estéticas, simbólicas e funcionais às superfícies, adequadas às diferentes necessidades ou materiais e processos de fabricação. Dentre as abordagens funcionais, o Design de Superfície trata a superfície como elemento autônomo de projeto dos objetos. A superfície possui um caráter dinâmico, inibidor ou transformador de fluxos entre dois meios, podendo, inclusive, apresentar-se em outras áreas além do design, como a biônica e a engenharia civil. A aparência do objeto será condicionada pela função dominante do produto, tornando-se além de suporte de decoração (SCHWARTZ & NEVES, 2009).

Os autores Ye, et al (1996) abordam os aspectos da superfície funcional afirmando que a qualidade do desenho de superfície funcional é julgado pelo seu desempenho como estrutura funcional, envolvendo medidas físicas, tais como a eficiência energética. Como fonte de inspiração para a criação de superfícies funcionais é interessante observar como a natureza resolveu seus problemas. Na natureza são apresentadas muitas estruturas de interface, como membranas, córtex, etc., com funções que podem ser incorporadas em produtos tecnológicos através do estudo biônico.

1.3 Biônica

Após bilhões de anos de evolução dos seres vivos, a natureza desenvolveu e aperfeiçoou soluções para os desafios que encontrou. Este processo de adaptação resultou na seleção natural das espécies, onde alguns foram extintos e as que permaneceram trouxeram consigo o segredo da sobrevivência. Neste sentido, as espécies suficientemente adaptadas às suas funções e ao meio ambiente sobrevivem ao longo do tempo. A evolução da natureza trouxe,

portanto, o desenvolvimento de mecanismos biológicos altamente eficazes e energeticamente eficientes (BENYUS, 2007) (BAR-COHEN, 2006).

Assim sendo, é percebido que as criações da natureza possuem aptidões e atributos muito desenvolvidos. A descoberta e o aprendizado de suas estratégias permitiriam, portanto, a ampliação das capacidades das invenções humanas. Neste âmbito está inserida a biônica, cujo conceito foca-se basicamente na imitação da forma biológica e estrutura fisiológica dos organismos como base para o desenvolvimento de estruturas e/ou mecanismos artificiais (SOARES, 2008). Dessa forma, percebe-se que a biônica vem a ser uma ferramenta de grande importância para a solução de problemas projetuais, como uma solução de abordagem para o aperfeiçoamento do design convencional. Possui grandes perspectivas de aplicação nos projetos de Design e Engenharia, principalmente, em se tratando da solução de problemas mecânicos.

1.3.1 Os líquens e sua propriedade de fixação

Líquen é um fungo que cresce em simbiose hereditária com uma população de algas ou cianobactérias, e podem ser encontrados em vários ambientes, desde que as condições da atmosfera apresentem ar limpo, o que fazem deles um excelente bioindicador. Os líquens possuem um córtex inferior denso, que possuem protuberâncias denominadas rizinas, responsáveis pela fixação dos liquens em cascas de árvores, muros, rochas, entre outras superfícies (Figura **1**) (FLEIG, GRÜNINGER, MAYER, & HAMPP, 2008). Tendo em vista que essa função é similar à necessidade aderência (fixação) das argamassas em substratos de concreto, a textura do córtex inferior do líquen é uma morfologia interessante para se estudar em substituição ao chapisco na execução de edificações. Essa textura poderá ser repetida em superfícies de concreto, otimizando o tempo e diminuindo custos de obra.

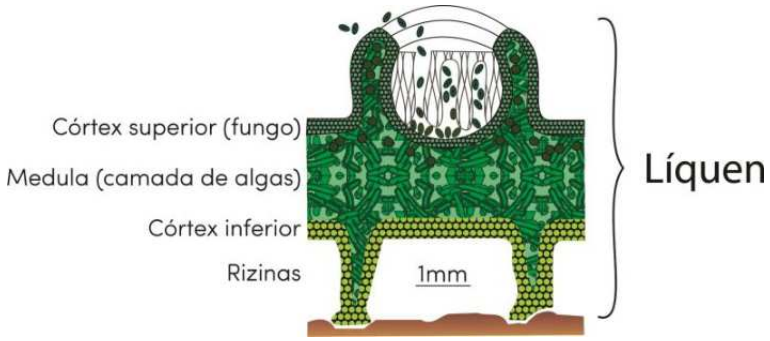

Figura 1: estrutura dos líquens, adaptado de FLEIG, GRÜNINGER, MAYER, & HAMPP (2008).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Inicialmente foram coletados líquens da espécie *Parmotrema praesorediosum*, encontrados em árvores do centro urbano da cidade de Porto Alegre, RS, Brasil, através de extração manual. Logo após, foram digitalizados tridimensionalmente a superfície do córtex inferior, através da utilização do equipamento Digimill 3D da Tecnodrill, com a lente Optimet 150mm, e uma resolução de 0,05mm nos eixos X e Y disponibilizado pelo LdSM/UFRGS (Laboratório de Design e Seleção de Materiais/Universidade Federal do Rio Grande do Sul). Após a digitalização, foi verificada a textura do líquen em um Microscópio estereoscópio Modelo SZX16 da Olympus, com objetiva de 1x e ocular de 10x. Em seguida, o líquen foi submetido à secagem em estufa com temperatura constante em 30ºC por 24 horas, para a visualização no microscópio eletrônico de varredura (MEV) de bancada, modelo TM3000 da marca Hitachi.

Em paralelo com as atividades de microscopia, iniciou-se a manipulação da malha obtida da digitalização tridimensional no software Blender 2.5 (software livre), onde extraiu-se uma parcela da textura do líquen para a confecção de um módulo. Este módulo foi espelhado e repetido diversas vezes. O arquivo obtido das texturas foi convertido para a extensão IGES e importado no software ArtCam® para usinagem, em negativo, em duas chapas de *Medium Density Fiberboard* (MDF), acabamento em material polimérico, com dimensões de 250 x 350 x 20 mm (largura x altura x espessura). A usinagem foi realizada no centro das chapas, sendo que a extensão da usinagem ocorreu numa área de 210 x 310 mm. As ferramentas utilizadas para a usinagem foram uma fresa de topo reto de 6 mm para desbaste e uma fresa de topo esférico de 1,5 mm para acabamento. A fresadora CNC era o modelo Digimill 3D da marca Tecnodrill, com velocidade de rotação de 24000rpm/1.1Kw, utilizada neste projeto, na sua configuração máxima de velocidade.

As placas usinadas foram colocadas no fundo de corpos de prova metálicos para a confecção dos substratos de concreto, junto ao Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (NORIE/UFRGS). Outros dois moldes receberam, também, uma chapa similar às usinadas, em MDF com acabamento superficial polimérico, e mesma dimensão descrita nas chapas utilizadas para a gravação das texturas dos líquens. Após a confecção dos moldes, os substratos de concreto foram executados.

O cimento utilizado para o concreto foi do tipo CPII-Z. O proporcionamento do concreto foi de 1:3,5 (cimento : agregados), sendo o traço unitário, em massa, de 1:1,52:1,98. O agregado graúdo era basáltico, com módulo de finura de 7,11, dimensões variando entre 9,5 – 25 mm, massa específica de 2,98g/cm³ e massa unitária de 1,38g/cm³ e agregado miúdo quartzoso com módulo de finura de 2,26, com diâmetro máximo de 2,4mm, massa específica de 2,64g/cm³, massa unitária de 1,5g/cm³ e absorção de água de 1,05%. Foram moldados, além dos substratos, seis corpos-de-prova cilíndricos para controle de resistência à compressão,

executados aos 28 dias. O adensamento dos prismas e dos corpos-de-prova foi realizado através de uma mesa vibratória, padronizado através de controle com cronômetro de 15 segundos.

Após moldados, os substratos e corpos-de-prova foram cobertos com sacos plásticos, permanecendo no ambiente de laboratório durante as primeiras 24 horas. Após esse período fez-se a desforma das amostras que foram submetidas ao processo de cura de 28 dias em câmara úmida de temperatura controlada idade controladas.

No 25º dia de cura, as placas prismáticas lisas foram submetidas ao acabamento superficial de chapisco, confeccionado com cimento Portland CPIV, em conformidade com a NBR 5736 (ABNT, 1991). O traço foi definido em 1:3 (cimento:areia) em massa e água suficiente para resultar em um chapisco com consistência de 340 mm.

Após os 28 dias de cura do substrato de concreto, os prismas receberam a argamassa confeccionada com cimento CP V-ARI, designado um cimento Portland de alta resistência inicial, em conformidade com a NBR 5733 (ABNT, 1991), areia seca média, de origem quartzosa, proveniente do Rio Jacuí/RS e água. A argamassa foi confeccionada a partir do traço de 1:1:4 (cimento : cal : areia) em volume seco, em uma argamassadeira universal com turbilhonador da marca Betomac, modelo MT-40, com capacidade de 40 litros e rotação de 50 rpm, disponível no NORIE/UFRGS. Ao total, foram utilizados 4,16kg de cimento, 4,16kg de cal e 16,66kg de areia, misturados em 4,82kg de água. A escolha de um traço rico da argamassa foi feita com vistas a minimizar a ocorrência de uma ruptura coesiva do material.

A aplicação da argamassa sobre o substrato foi realizada através da utilização de um dispositivo denominado caixa de queda, a uma altura de queda de 1 m, determinada por Pagnussat (2008), o qual obteve esta altura de lançamento pela comparação da densidade de massa de uma argamassa aplicada por um funcionário experiente de forma manual.

A fim de se obter uma padronização da espessura da argamassa assentada, foram utilizados gabaritos de madeira que fixavam a espessura do assentamento em 20 mm. Após 24 horas, os prismas com a adição da argamassa foram desmoldados.

Para controle da argamassa, foram confeccionados corpos de prova para a realização de ensaios mecânicos de flexão a três pontos e compressão, moldados nas dimensões 40x40x160 mm.

Depois de terminada a confecção e assentamento das argamassas sobre os substratos de concreto, os prismas retornaram à câmara de temperatura controlada a 23° (±2°) e umidade a 60±5% para mais 28 dias de cura da argamassa.

Após os 28 dias de cura da argamassa foram realizados os ensaios de resistência de aderência à tração das argamassas de revestimento sobre o substrato de concreto, conforme preconiza a

NBR 13528 (ABNT, 2010). Foram realizados 12 arrancamentos para cada uma das três rugosidades estudadas. Decorrido o tempo de cura dos prismas, foram executados cortes na superfície da argamassa até o alcance do substrato de concreto, com serra copo de 50 mm. Para a colagem das pastilhas utilizou-se cola à base de resina epóxi. O ensaio de resistência de aderência à tração foi realizado com o equipamento Positest AT-A – Autamatic Adhesion Tester da DeFelsko® disponibilizado pelo NORIE.

Após o ensaio de resistência de aderência à tração, foi realizada a limpeza dos prismas e peças retiradas com o auxílio de um aspirador de pó. Os prismas foram cortados para a observação da interface substrato/argamassa, com o auxílio do microscópio estereoscópico Modelo SZX16, com objetiva de 1x e ocular de 10x, da marca Olympus, a fim de verificar a extensão da aderência da argamassa assentada nas três diferentes superfícies. Foram analisadas uma amostra de cada rugosidade estudada com ampliação de 6,3 vezes.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Análise do elemento liquenoso e desenvolvimento de textura aderente bioinspirada

A microestereoscopia possibilitou uma visualização mais aproximada do córtex inferior do líquen, permitindo a verificação de vales e montanhas que podem interferir na fixação da argamassa no substrato de concreto (Figura 2). Já as imagens realizadas no microscópio eletrônico de varredura (MEV) permitiram a visualização de pequenas fibras, que possivelmente tratam-se das rizinas (Figura 3), também responsáveis pela fixação do líquen em diferentes superficies.

A digitalização tridimensional a laser do córtex inferior do líquen resultou em uma nuvem de pontos (Figura **4**A). Essa nuvem de pontos sofreu algumas limpezas de pequenos ruídos com o auxílio do Software Geomagic Studio® e foi transformada em malha de triângulos (Figura **4**B), reproduzindo a textura do líquen de forma muito aproximada.

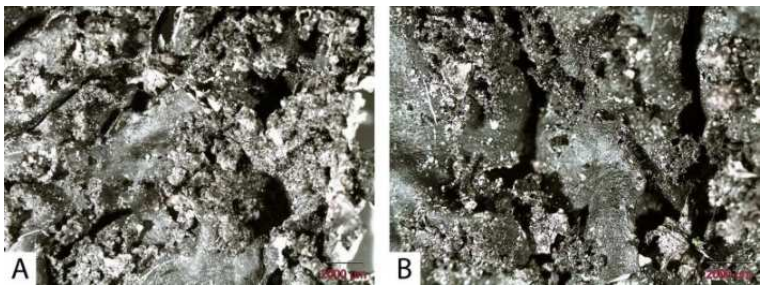

Figura 2: vista do córtex inferior do líquen. A – aumento de 7x. B – Aumento de 8x. Presença de vales e cristas na superfície posterior do líquen, visualizado através de um microscópio estereoscópico.

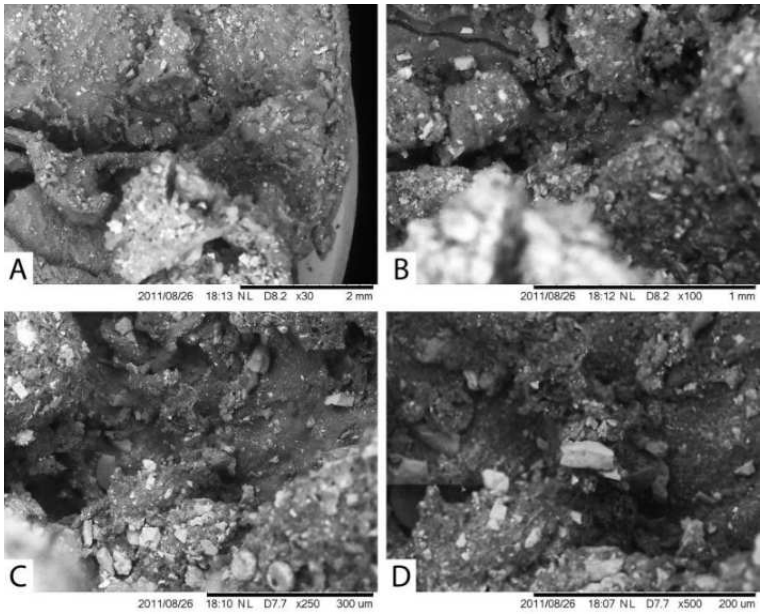

Figura 3: imagens em MEV – elétrons secundários. A – aumento de 30x. B – aumento de 100x. C – aumento de 250x. D – aumento de 500x.

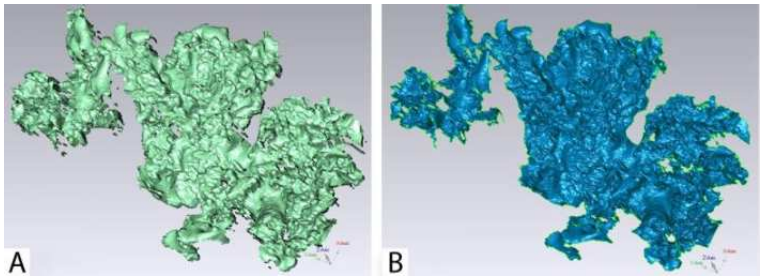

Figura 4: A – resultado em nuvem de pontos da digitalização tridimensional do córtex inferior do líquen. B – transformação da nuvem de pontos em malha.

A digitalização tridimensional a laser e o tratamento no software Geomagic Studio® permitiu a exportação da malha de triângulos para o software Blender 2.5 (Figura **5**), onde foi possível realizar desenvolvimento do módulo de repetição (design de superficie) (Figura **6**). O espelhamento realizado no módulo resultou em uma textura com possibilidade de aplicação abrangente e linear, conforme pode ser observado na Figura **7**.

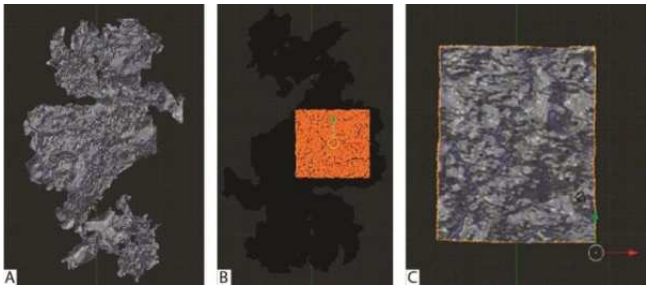

Figura 5: A – malha no software Blender 2.5. B - extração de uma parte da textura do líquen. C - módulo.

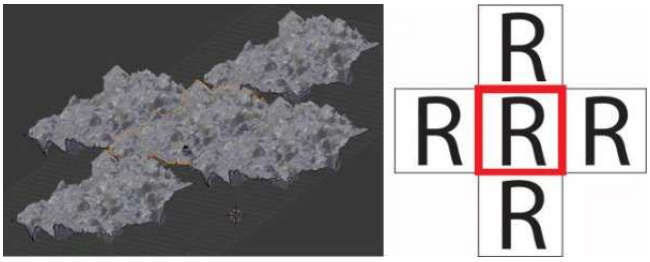

Figura 6: repetição dos módulos e criação da superfície.

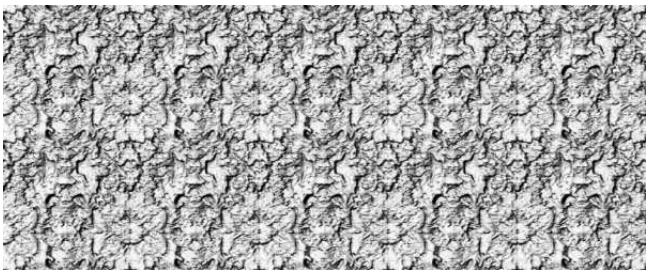

Figura 7: superfície final.

O arquivo com o módulo finalizado foi exportado para o software ArtCam@, onde foi realizado o programa de usinagem. O aspecto da usinagem do MDF pode ser observada na Figura **8**.

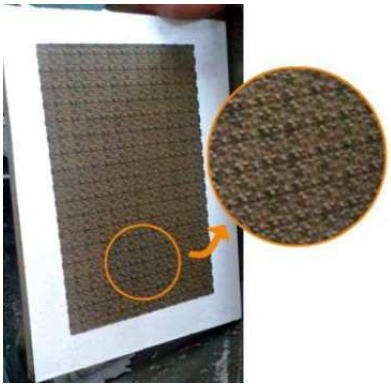

Figura 8: usinagem da textura líquen na chapa de MDF.

A confecção da chapa usinada com a textura do córtex inferior do líquen permitiu que se desse início a etapa de fabricação das placas de concreto com textura.

3.2 Fabricação dos prismas e caracterização do concreto utilizado na confecção do substrato

Dois tipos de texturas foram moldados no concreto, resultando em dois prismas lisos e dois com a rugosidade Líquen, obtido através da usinagem da chapa de MDF colocada no fundo de duas fôrmas do substrato. As placas lisas receberam o acabamento superficial com a

confecção do chapisco comum, realizado com pá de pedreiro. Na Figura 9 são apresentados os acabamentos realizados nos prismas de concreto. A superfície gravada com o líquen (Figura 9B) apresentou algumas porosidades, mas ainda percebe-se que a fôrma foi bastante eficiente para a gravação da textura. A rugosidade Chapisco (Figura 9A) mostrou-se bastante desuniforme, e isso se deve porque a fabricação da textura é feita através da força e habilidade do pedreiro, que por mais especializado seja, não possui um controle uniforme da aplicação da textura.

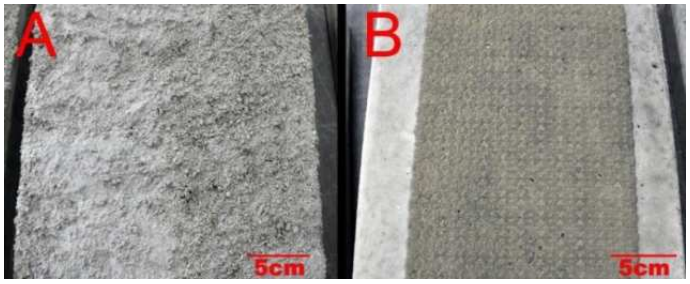

Figura 9: A – rugosidade Chapisco; B– rugosidade Líquen.

Os ensaios de resistência à compressão foram realizados aos 28 dias de cura, resultando em um concreto de resistência média de 41,48 MPa e desvio padrão de 1,84.

3.3 Fabricação e caracterização da argamassa de revestimento

Os ensaios realizados para a caracterização da argamassa classificou o revestimento como como sendo da classe P3, com valores de resistência à compressão entre 2,5 e 4,5 MPa, e classe R1 quanto a resistência à tração na flexão.

3.4 Análise dos resultados do ensaio de resistência de aderência à tração

A Tabela **1** apresenta um resumo dos resultados do teste de resistência de aderência à tração aos 28 dias obtidos para as rugosidades Líquen e Chapisco. Conforme pode ser observado, os resultados médios obtidos pelo ensaio demonstraram uma maior eficiência de resistência de aderência à tração para a rugosidade Líquen.

Tabela 1: resumos dos testes de resistência de aderência à tração para as texturas chapisco e líquen.

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
Chapisco	9	5,45	0,6055556	0,0704278
Líquen	12	12,29	1,0241667	0,0724447

Foi realizada análise estatística para avaliação dos resultados, através do método ANOVA. Esse teste possibilitou verificar as diferenças de médias entre pares (Tabela 2). A comparação se mostrou significativa, comprovando que a textura do Líquen difere do chapisco. Através da

comparação entre médias, pode-se afirmar que a textura Líquen é eficiente para garantir a resistência de aderência à tração das argamasas de revestimento.

Tabela 2: teste ANOVA utilizado para testar as diferenças estatísticas de médias entre pares.

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	0,9012099	1	0,9012099	12,587528	0,0021485	4,3807497
Dentro dos grupos	1,3603139	19	0,0715955			
Total	2,2615238	20				

3.5 Análise de interface argamassa/substrato de concreto com microscópio estereoscópico

A análise com o microscópio estereoscópico foi realizada a partir de cortes feitos em uma placa de cada tipo de textura estudada. A análise teve por objetivo verificar a área de contato da argamassa ao substrato nas rugosidades estudadas. Vale ressaltar que a análise realizada com o microscópio estereoscópico é de caráter exploratório e as imagens são apenas ilustrativas, devido que as áreas observadas são pontuais e não representam a área total ensaiada.

Na Figura **10** são apresentadas as imagens das interfaces das amostras realizadas com o microscópio estereoscópico, sendo a argamassa aplicada ao substrato com textura Chapisco (Figura **10**A) e a argamassa aplicada ao substrato com textura Líquen (Figura **10**B).

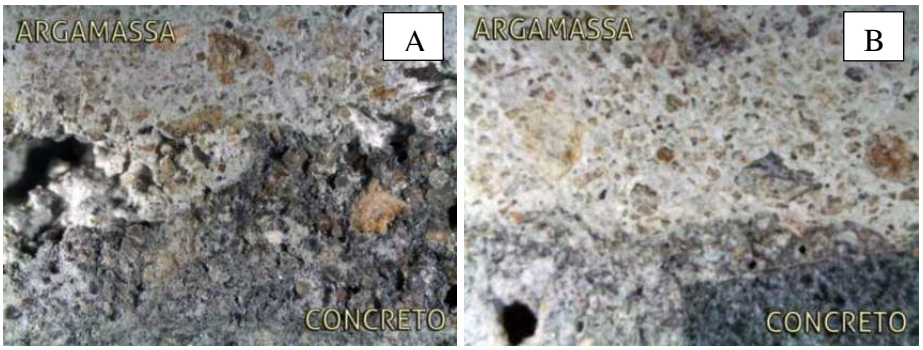

Figura 10: imagens feitas com o microscópio estereoscópico, sendo argamassa aplicada sobre: A – textura Chapisco; B – textura Líquen.

Na rugosidade Líquen observa-se, na interface substrato/argamassa, uma perfeita extensão da aderência. Já para a rugosidade Chapisco são apresentadas falhas em muitas regiões da área analisada. Essas falhas podem ter sido o principal fator para o resultado de menor resistência de aderência à tração do chapisco apresentados. Isso é explicado por Courard (1998), quando sugere que as reentrâncias, bastantes presentes na rugosidade Chapisco, podem propiciar o aparecimento de bolhas de ar presas aos orifícios durante o assentamento da argamassa, diminuindo a área eficaz de aderência.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados obtidos no presente estudo e as análises realizadas, são apresentadas as conclusões válidas para os materiais, técnicas e equipamentos utilizados nessa pesquisa. Os estudos biônicos se demonstraram bastante eficazes para verificar as funções e propriedades do elemento natural e, principalmente, na aquisição dos dados para a prática do projeto. As análises microscópicas permitiram observar a textura de fixação do líquen ao verificar os vales e cristas que compõem o córtex desse elemento natural, além das rizinas que, assim como a argamassa de revestimento, realizam microancoragens no substrato em que o líquen está fixado.

Destaca-se nesse projeto a utilização do equipamento de digitalização tridimensional a laser para a aquisição dos dados topográficos do córtex inferior do líquen. Essa técnica permitiu a obtenção das formas do elemento natural com grande precisão, evitando a necessidade de modelamento da estrutura.

A confecção do molde por usinagem CNC em MDF se mostrou eficaz e foi possível a gravação da textura nas superfícies das placas de concreto.

Quanto aos resultados obtidos com o ensaio de resistência de aderência à tração, é possível concluir que a textura do Líquen foi significativamente mais eficiente quando comparada com o chapisco utilizado para o estudo, demonstrando um potencial para maior desenvolvimento de experimentos na área, a fim de se obter um aperfeiçoamento da técnica.

Os resultados são inovadores, visando que a aplicação de uma textura com capacidade de realizar, com eficiência, a aderência das argamassas de revestimento, traz como vantagens questões que a técnica prevê, como a utilização de menos materiais na obra que compunham o chapisco, como o agregado miúdo retirado dos leitos de rios. Além das vantagens ambientais, a as vantagens econômicas se destacam para a utilização da textura do Líquen nas superfícies dos concretos, por minimizar o tempo de obra causado pela execução e cura do chapisco. Isso também implica na diminuição de custos de mão-de-obra. Quanto às questões técnicas, a aplicação da textura na interface substrato/argamassa garante maior conhecimento do fenômeno de aderência, evitando o surgimento de manifestações patológicas como o descolamento e desplacamento dos revestimentos.

5. REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR 5733: Cimento Portland de alta resistência inicial**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro: ABNT, 1991.

ABNT. **NBR 5736: Cimento Portland Pozolânico - Especificações**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro: ABNT, 1991.

ABNT. **NBR 13528: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração.** Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

BAR-COHEN, Y. **Biomimetics - using nature to inspire human innovation**. Bioinspiration & Biomimetics, 1, 1-12. Pasadema, EUA, 2006

BENYUS, J. M. **Biomimética: Inovação Inspirada pela Natureza** (3ª Ed ed.). São Paulo, SP, Brasil: Cultrix, 2007.

COURARD, L. **Contribution à l'analyse des paramètres influençant la création de l'interface entre un béton et un système de réparation**. Appétence et adhérence : cause et effet d'une liaison, Liège: s.n, 1998.

FLEIG, M., GRÜNINGER, W., MAYER, W.-E., & HAMPP, R. **Líquens da Floresta com Araucária do Rio Grande do Sul** (Pró-mata: Guia de Campo n. 3 ed.). Tübingen, Germany: University of Tübingen, 2008.

GASPAR, P. L., FLORES-COLEN, I., & BRITO, J. **Técnicas de Diagnóstico e Classificação de Anomalias por Perda de Aderência em Rebocos**. 2º Congresso Nacional de Argamassas de Construção. Lisboa, 2007.

LIU, J. et al. **Effect and mechanism of controlled permeable formwork on concrete water adsorption**. Construction and Building Materials, Volume 39, pp. 129-133. 2013.

LEAL, F. C. **Estudo do Desempenho do Chapisco como Procedimento de Preparação de Base em Sistemas de Revestimento.** Dissertação, Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Brasília, 2003.

MAGALHÃES, A. C. **Patologia de Rebocos Antigos**. LNEC, Cadernos de Edifícios, outubro de 2002.

MÜLLER, A. A. **Avaliação da Aderência de diferentes tipos de chapisco sobre substrato de concreto**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2010.

PAGNUSSAT, D. T. **Contribuição para o entendimento dos mecanismos microestruturais de aderência de argamassas de revestimento em substratos porosos**. Proposta de Tese, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2008.

OLIVEIRA, L. A. **Tecnologia de Painéis Pré-Fabricados Arquitetônicos de Concreto para Emprego em Fachadas de Edifícios.** Dissertação, Escola Politécnica da Universidade São Paulo, Engenharia de Construção Civil e Urbana, São Paulo, 2002.

ROMERO, Juan Vázquez. **Adherencia al hormigón de morteiros de diferentes bases químicas**. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos Canales Y Puerto. Madrid, 2010.

RUTHSCHILLING, E. A. **Núcleo de Design de Superfície** – UFRGS. Acesso em 31 de Maio de 2013, disponível em http://www.nds.ufrgs.br. Porto Alegre, 2006.

SCHWARTZ, A. D., & NEVES, A. F. **Design de Superfície: abordagem projetual geométrica e tridimensional**. In: M. S. MENEZES, & L. C. PASCHOARELLI (Eds.), Design e planejamento: aspectos tecnológicos (p. 277). São Paulo: UNESP, 2009.

SOARES, M. A. **Biomimetismo e Ecodesign: Desenvolvimento de uma ferramenta criativa de apoio ao design de produtos sustentáveis**. Lisboa, Portugal: Universidade Nova de Lisboa, 2008.

STOLZ, C. M. **Influência da Interação entre Parâmetros Reológicos de Argamassas e a Área Potencial de Contato de Substratos na Aderência de Argamassas de Revestimento**. Dissertação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Porto Alegre, 2011.

Ye, X., Jackson, T. R., & Patrikalak, N. M. **Geometric design of functional surfaces**. Computer-Aided Design, 28(9), p. 741-752. 1996.

6. AGRADECIMENTOS

Agradecimento à CAPES e ao CNPq pela concessão de bolsas de estudos, ao Laboratório de Design e Seleção de Materiais (LdSM) e ao Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação (NORIE) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) pela disposição dos equipamentos que possibilitaram esse trabalho.