

USO DE FERRAMENTAS ESTATÍSTICAS PARA AVALIAÇÃO DE REVESTIMENTOS EXTERNOS DE ALVENARIAS: O CASO DAS FACHADAS DAS EDIFICAÇÕES DE PELOTAS

Viviane Leite Dias de Mattos

Universidade Católica de Pelotas. e-mail:viviane@atlas.ucpel.tche.br

Ricardo Curi Terra

Universidade Católica de Pelotas. e-mail:terra@phoenix.ucpel.tche.br

Pedro Alberto Barbeta

Universidade Federal de Santa Catarina. e-mail:barbeta@inf.ufsc.br

Robert Wayne Samohyl

Universidade Federal de Santa Catarina. e-mail:samohyl@eps.ufsc.br

Abstract: This paper presents the results of Multiple Correspondence Analysis and Cluster Analysis of qualitative data about pathological manifestations in the coverings of constructions external walls from urban zone of Pelotas city. The statistical analysis shows itself very efficient, identifying certain failure types predominant at certain covering types. This analysis allowed concluding that some covering types have best performance.

Key words: Facade coverings; Inorganic mortar; Correspondence analysis; Cluster analysis.

1 INTRODUÇÃO

As definições mais tradicionais de qualidade se referem à adequação do produto ao uso e à necessidade de satisfação do cliente, que devem ser obtidas com o menor custo possível. Buscando esta satisfação e tentando adequar, cada vez mais, cada produto à sua finalidade, reduzindo custos e eliminando gorduras de processos produtivos, tem surgido novos produtos e técnicas construtivas que precisam ser, evidentemente, avaliadas. É neste momento que as técnicas e metodologias estatísticas tornam-se de fundamental importância.

Considera-se que a satisfação do consumidor em relação à sua moradia está relacionada a aspectos de estética, habitabilidade e salubridade da edificação, e que estes fatores, estão diretamente ligados a características de qualidade dos revestimentos empregados. O estudo sistemático das manifestações patológicas que ocorrem em revestimentos de edificações tem grande importância, não apenas por contribuir para a integridade das edificações, mas também por condicionar sua manutenção e restauração.

O presente trabalho explorou, empregando técnicas de estatística multivariada, dados relativos às manifestações patológicas em revestimentos de paredes de alvenaria, utilizados em fachadas de edificações, para avaliar o possível relacionamento entre os diversos tipos de lesão e o tipo de material em que ocorreu.

2 METODOLOGIA

Foram analisadas fachadas de edificações da cidade de Pelotas, em uma amostra da zona central desta cidade. Empregando a amostragem por conglomerados, foram escolhidos aleatoriamente 12 quarteirões, que apresentaram 424 fachadas relativas a 377 edificações.

O instrumento utilizado para a coleta de dados, realizada por meio de observação *in loco*, foi composto por duas fichas: a primeira serviu para registrar informações relativas à edificação, enquanto que a segunda, relativas às lesões encontradas.

Na edificação foram investigadas as seguintes variáveis: número de pavimentos; número de lesões; ano aproximado da construção do prédio; objetivo de utilização do prédio; orientação solar da fachada do prédio; estado de conservação do prédio; material com que foi feita a parede; tipos de revestimento visíveis nas fachadas; tipo de cobertura e tipo de material de que são feitas as esquadrias. Já nas lesões, foram investigados: tipo, elemento construtivo em que se manifestou a lesão e tipo de material utilizado em seu revestimento, nível de exposição do local onde apareceu a lesão, incidência da lesão no que se refere à intensidade e à localização vertical.

No presente estudo a ênfase é dada ao tipo de lesão e tipo de revestimento empregado no local em que existiu a manifestação patológica.

3 COMENTÁRIO SOBRE OS MÉTODOS ESTATÍSTICOS MULTIVARIADOS EMPREGADOS

Nesta análise de dados foi necessário avaliar e interpretar a relação entre diversas variáveis. A estatística clássica dá maior ênfase às técnicas empregadas para analisar uma única variável, avaliada, na maioria das situações, em uma amostra de elementos. Estas técnicas, além de apresentarem o inconveniente de restrições e suposições relativamente rigorosas, possibilitam a chegada de conclusões parciais.

Segundo Bouroche et al. (1982), os métodos multivariados de análise de dados permitem o estudo global de variáveis, analisando-as simultaneamente, colocando em evidência suas semelhanças e diferenças. Por meio de uma metodologia gráfica, facilmente é possível identificar pela simples visualização, grupos homogêneos, semelhanças e diferenças.

Entre as técnicas multivariadas, está a Análise de Correspondência Múltipla (ACM), uma técnica de análise exploratória de dados categóricos ou qualitativos, que traça gráficos a partir de tabelas de contingência representativas de várias variáveis. Através da ACM podem ser detectadas relações que não conseguem ser identificadas em análises uni ou bivariadas e, a única restrição aos dados, é que sejam dispostos na forma de matriz retangular, com entradas não negativas.

A ACM é usada com o objetivo de simplificar uma estrutura multivariada. Um grande conjunto de variáveis categorizados e correlacionados passam a ser representados gráfica ou analiticamente por um pequeno número de fatores quantitativos e independentes. Com esta representação simplificada, torna-se possível identificar relações não triviais entre as variáveis, como também visualizar agrupamentos entre os casos. No contexto do presente trabalho os casos são as fachadas das edificações.

Como neste trabalho tinha-se como objetivo básico identificar as diferentes fachadas em grupos relativamente similares fez-se uso de técnicas mais específicas para agrupar fachadas similares. A aplicação destas técnicas é conhecida como análise de agrupamento (AA) (ver detalhes em Bussab, 1999 ou em Johnson e Wichern, 1997). O problema que esta técnica pretende resolver é: dada uma amostra de n objetos ou indivíduos, cada um deles medido segundo p variáveis, procurar um esquema de classificação que agrupe os objetos em g grupos (Everitt, 1974, apud Bussab et al., 1990). Para que este esquema de classificação seja operacionalizado é necessário que sejam escolhidas técnicas para medir a similaridade ou dissimilaridade dos objetos, definir o

algoritmo que será utilizado para a definição formal dos agrupamentos, assim como o critério para determinar o número de grupos.

No presente estudo, foram realizadas nos dados brutos duas análises de agrupamento: uma para os diferentes tipos de revestimento e outra para os diferentes tipos de lesão, sendo, em ambos os casos, a dissimilaridade medida pela distância euclidiana e o agrupamento realizado pelo do método da ligação simples ou vizinho mais próximo. Para interpretação dos resultados foi escolhida sua representação gráfica por meio do dendograma.

Não existem muitas publicações de resultados de aplicações destas técnicas nas Engenharias, mas elas têm se mostrado útil em várias áreas da ciência, como a Psicologia e a Ecologia.

3 RESULTADOS

3.1 Considerações gerais

Com o auxílio do *software* estatístico SPSS, foi construído um banco de dados com 1602 casos de manifestações patológicas, detectadas nas 424 fachadas analisadas, mas, para esta análise, foram considerados apenas 1428 casos relativos a 389 fachadas. Foram desconsideradas algumas informações obtidas porque, neste momento, se pretendeu avaliar apenas as manifestações patológicas incidentes em revestimentos de paredes de alvenaria, sendo desconsideradas as fachadas que não apresentaram lesões (6,37%), além das edificações construídas em madeira (1,42%). Foram também desconsideradas algumas variáveis por não terem ocorrido ou não se aplicarem.

3.2 Análise exploratória de dados

Inicialmente, os dados foram organizados sob a forma de tabelas, o que tornou possível traçar o seguinte perfil para as edificações com paredes de alvenaria que apresentam lesões em seu revestimento: foram construídas antes de 1970 (49,0%), com cobertura de telhas cerâmicas (69,8%) e esquadrias de madeira (85,8%); em apenas um pavimento (70,92%) e com finalidade residencial (67,3%); foram enquadradas na categoria “bom” em relação ao estado geral de conservação (47,9%), apresentando com maior frequência, três lesões por fachada. No que se refere à posição da fachada, não foi possível identificar uma orientação solar predominante.

Estes resultados mostraram uma razoável qualidade das fachadas das edificações, tendo em vista que embora tenham predominado na amostra edificações de mais de 30 anos, o estado geral predominante foi considerado satisfatório. Mostraram ainda a influência da colonização portuguesa que tem na madeira e na cerâmica os principais materiais de um estilo de grande simplicidade, além de sugerir uma baixa densidade demográfica que poderia prolongar a vida útil das edificações em função da pouca concentração de movimento, muito embora aumente os custos referentes à infra-estrutura no que se refere à luz, água, esgoto etc.

Os resultados relativos aos revestimentos utilizados, assim como os tipos de lesão e materiais em que estas ocorreram mostram que: o revestimento mais utilizado foi reboco executado com argamassa inorgânica e recoberto por pintura (87,92%); as lesões que mais apareceram foram organismos (77,38%), umidade ascensional (68,38%), descolamento em placas (40,62%), descoloração (33,16%) e fissuras tipo mapeamento (25,71%) e o revestimento com maior quantidade de lesões foi reboco executado com argamassa inorgânica.

As manifestações patológicas encontradas com maior frequência podem estar associadas tanto a falhas na aplicação de técnicas construtivas e má qualidade dos materiais utilizados, como a falhas no processo de manutenção. A ocorrência de organismos pode estar associada à presença de umidade e à falta de manutenção. A grande incidência de umidade ascensional talvez possa ser atribuída à falha na impermeabilização

da base da parede, podendo ser agravada pela umidade de respingo. A ocorrência de descolamento em placas pode ser explicada pela falta de aderência entre o revestimento e o substrato, pela aplicação de argamassas muito fracas, como também pode estar relacionada à ação da umidade e de impactos. Já a descoloração pode estar associada à falta de manutenção, assim como à má qualidade do material utilizado. As fissuras tipo mapeamento talvez possam ser explicadas pela secagem prematura das argamassas de revestimento, excesso de materiais de granulometria fina e aplicação em camadas de espessura exagerada.

Ao comparar a distribuição das lesões nos materiais com a distribuição dos materiais empregados nos revestimentos das fachadas, por meio da prova estatística Qui-quadrado, constatou-se, entretanto, a existência de diferença altamente significativa ($p < 0,00000001$), indicando a existência de uma grande probabilidade de alguns materiais apresentarem diferentes incidências de quantidade e tipos de lesões.

3.3 Análise multivariada

Para avaliar melhor a incidência destas manifestações patológicas nos diversos tipos de material, bem como as possíveis relações entre os diferentes tipos de lesão, foi realizada uma análise de correspondência múltipla (ACM) entre os diversos tipos de manifestações patológicas e os revestimentos em que apareceram, assim como também uma análise de agrupamento (AA). Para tal, foi empregado o *software* estatístico Statistica.

Na análise de correspondência múltipla (ACM) foram definidos todos os fatores possíveis com as respectivas percentagens explicativas da inércia, sendo determinado a partir do gráfico mostrado na Figura 1 que poderiam ser utilizados 3 fatores para avaliar as relações a partir de 21,05% das informações (Tabela 1).

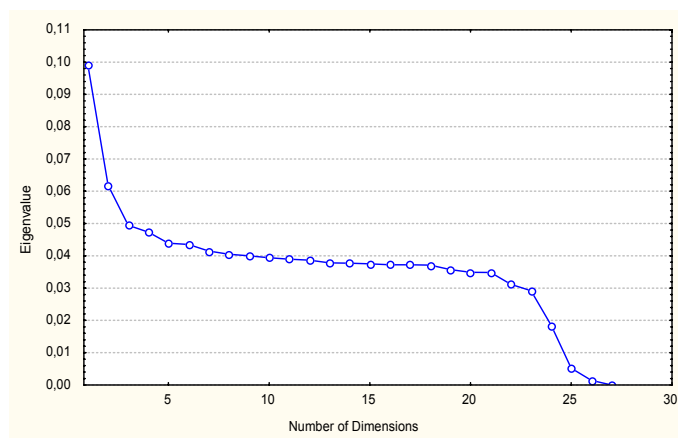


Figura 1 – Dimensões e respectivos percentuais explicativos da inércia.

Tabela 1 – Dimensões e respectivos percentuais explicativos da inércia.

Dimensões	% da inércia	% acumulada da inércia
1	9,91	9,91
2	6,19	16,10
3	4,95	21,05

Após, foram construídos três gráficos em duas dimensões, apresentados na Figura 2 (a), (b) e (c), combinando os fatores selecionados dois a dois. A análise minuciosa destes permitiu definir que:

- a principal manifestação patológica nas pinturas das fachadas destas edificações analisadas foi a descoloração. Este fato sugere que, embora a técnica de aplicação da

pintura possa ter sido bem executada, não tenha existido uma preocupação muito grande com sua manutenção nem com a escolha do material;

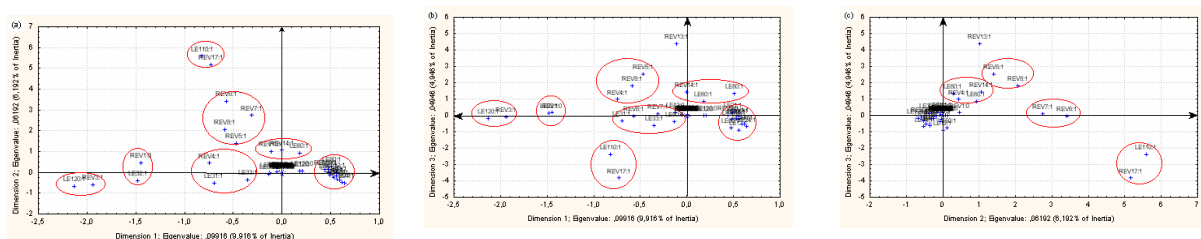
- o reboco executado com argamassa inorgânica apresentou uma grande diversidade de manifestações patológicas, entre as quais podem ser citadas: umidade accidental, umidade ascensional, umidade de infiltração, fissuras horizontais, fissuras verticais, fissuras inclinadas, fissuras tipo mapeamento, rachadura, erosão, organismos e vesícula. Estas manifestações podem estar associadas às mais variadas causas e, talvez, essa grande diversidade, ocorra em função de que, uma quantidade muito grande de fachadas, com este tipo de revestimento, foi analisada. Não se pode, entretanto, descartar a possibilidade de má execução da técnica construtiva;

- o minerplast também apresentou grande diversidade de patologias, predominando, descolamento com empolamento e com esfarelamento, que estão muito associadas a falhas na execução, além de eflorescências e organismos. Há que salientar que este tipo de revestimento foi empregado em uma quantidade de fachadas muito pequena e, mesmo assim, foi possível detectar um razoável número e diversidade de lesões;

- o tijolo à vista apresentou grande incidência de eflorescências e organismos, enquanto que o concreto aparente, eflorescências. Estes dois tipos de material apresentaram comportamentos bastante semelhantes em relação aos fatores considerados e, na realidade, tem em comum o fato de não serem revestimentos, mas materiais empregados na construção da própria parede, não sendo utilizado revestimento. Estes resultados evidenciam, contudo, a falta de manutenção prestada a estes materiais que geralmente são protegidas das intempéries com uma película que apresenta pouca durabilidade;

- cerâmica vitrificada, pedra, pastilha e plaqueta cerâmica apresentaram comportamentos bastante semelhantes em relação aos fatores considerados, ficando muito próximos uns dos outros nos gráficos traçados e relativamente afastados das lesões. A cerâmica vitrificada apresentou comportamento mais semelhante à pastilha, enquanto que a plaqueta cerâmica, ao revestimento de pedra. Estes dois últimos tipos de revestimento apresentaram certa associação à ocorrência de descolamento e organismos, que, por sua vez, também se fez presente no rejunte da junta de assentamento da cerâmica vitrificada e da pastilha;

- o descolamento em placas não ocorreu em rebocos executados com argamassa inorgânica.



LE11- umidade accidental; LE12- umidade ascensional; LE13- umidade de infiltração; LE21- fissura horizontal; LE22- fissura vertical; LE23- fissura inclinada; LE24- fissura tipo mapeamento; LE31- descolamento com empolamento; LE32- descolamento em placas; LE33- descolamento com esfarelamento; LE40- rachadura; LE50- erosão; LE60- eflorescência; LE80- organismos; LE90- vesícula; LE110- elementos quebrados; LE120- descoloração.

REV1- reboco; REV3- pintura; REV4- minerplast; REV5- cerâmica vitrificada; REV6- plaqueta cerâmica; REV7- pedra; REV8- pastilha; REV13- concreto aparente; REV14- tijolo à vista; REV17- outros.

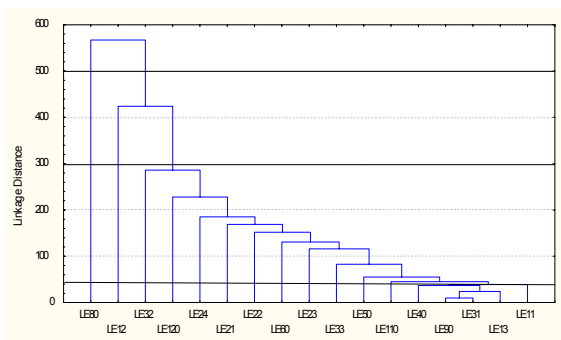
Figura 1 - Distribuição dos revestimentos e lesões de acordo com as dimensões 1 e 2 (a), 1 e 3 (b) e 2 e 3 (c).

Para complementar a análise do relacionamento entre lesões e entre revestimentos, foi realizada uma análise de agrupamento (AA), cujos resultados são apresentados nos gráficos das Figuras 3 e 4. Embora esta análise pudesse ter sido realizada sobre as escalas

contínuas obtidas na ACM, como em aplicações realizadas por Crivisqui (1999), optou-se por considerar as variáveis originais considerando que o poder de explicação destas três dimensões é de apenas 21% (Tabela 1).

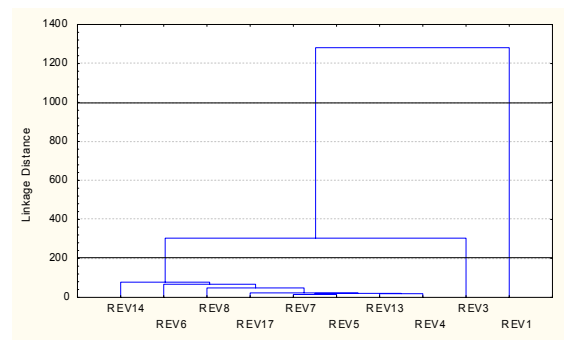
A Figura 3 mostra que, se for feito um corte para uma *linkage distance* igual a 500, um tipo de lesão se diferencia dos demais, os organismos, enquanto que, para uma *linkage distance* de 300, dois tipos se diferenciam, organismos e umidade ascensional. Estas lesões apresentam uma incidência bem maior que as demais e são muito influenciadas pela umidade. Entretanto, se este corte for feito bem mais abaixo, a uma *linkage distance* de, aproximadamente 50, é possível detectar um grupo de lesões que estão bastante relacionadas a falhas nas técnicas construtivas: vesícula, descolamento com empolamento, umidade de infiltração, umidade accidental e rachadura.

A Figura 4 mostra que, se for feito um corte para uma *linkage distance* igual a 1000, um tipo de revestimento se diferencia dos demais, o reboco executado com argamassa inorgânica, enquanto que, para uma *linkage distance* de 200, dois se diferenciam, reboco e pintura. Isto evidencia que a maior parte das lesões encontradas ocorreu neste tipo de material. Entretanto, se este corte for feito bem mais abaixo, a uma *linkage distance* de, aproximadamente 50, é possível detectar comportamentos semelhantes entre cerâmica vitrificada e pedra, bem como entre minerplast e concreto aparente. O primeiro grupo apresentou um bom desempenho, enquanto que o segundo não. Embora o minerplast e o concreto aparente tenham ficado próximos aos materiais com, provavelmente, bom desempenho pela baixa incidência de lesões, o foram por terem sido encontradas poucas fachadas que os empregaram.



LE11- umidade accidental; LE12- umidade ascensional; LE13- umidade de infiltração; LE21- fissura horizontal; LE22fissura vertical; LE23- fissura inclinada; LE24- fissura tipo mapeamento; LE31- descolamento com empolamento; LE32- descolamento em placas; LE33- descolamento com esfaleamento; LE40-rachadura; LE50- erosão; LE60-eflorescência; LE80- organismos; LE90- vesícula; LE110- elementos quebrados; LE20- outros.

Figura 3 – Dendrograma representativo das lesões.



REV1- reboco; REV3- pintura; REV4- minerplast; REV5- cerâmica vitrificada; REV6- plaqueta cerâmica; REV7- pedra; REV8- pastilha; REV13- concreto aparente; REV14- tijolo à vista; REV17- outros.

Figura 4 – Dendrograma relativo aos revestimentos que apresentaram lesões.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As condições de estética e habitabilidade das edificações são diretamente influenciadas pelos revestimentos de suas paredes. Então é natural que, a medida que aumentam as exigências relativas a salubridade dos edifícios, seja também incrementada a atenção dispensada aos revestimentos, tanto do ponto de vista de seus materiais e técnicas de aplicação, quanto de sua conservação.

Ultimamente, a prática tem demonstrado que os revestimentos estão apresentando vários problemas, que poderiam ser decorrentes tanto da má qualidade dos materiais

empregados como do desrespeito às regras estabelecidas pelas técnicas construtivas. Poderiam também ser consideradas causas potenciais destes problemas a falta de mão-de-obra especializada e o ritmo acelerado das construções modernas imposto pelas regras competitivas do mercado, mas incompatível com algumas técnicas construtivas. Há que considerar ainda os novos materiais que são lançados no mercado sem uma avaliação adequada principalmente no que se refere a desgaste em função das intempéries e utilização.

As falhas patológicas representam a prematura perda de funcionalidade dos elementos da fachada, isto é, em desconformidade com a vida útil projetada. A identificação e correção de possíveis falhas contribuem para que o revestimento cumpra as funções que lhe são exigidas. Todas as partes das fachadas estão sujeitas a fenômenos de degradação. A vida útil ou a frequência de intervenções de manutenção de cada uma delas dependerão do nível de exposição efetiva à ação dos agentes degradantes, ou a capacidade de resistir a eles. Para que se consiga uma boa aparência e durabilidade dos revestimentos, sua escolha deve ser feita levando-se em consideração os diferentes graus de exposição a que estarão submetidos.

Os estudos relativos a incidências de manifestações patológicas são extremamente importantes porque possibilitam a elaboração de diagnósticos que poderão dar subsídios para alterar procedimentos relativos a técnicas construtivas já consagradas e amplamente utilizadas, bem como condicionar procedimentos relativos a manutenção e restauração. Poderão também identificar tipos de revestimentos mais apropriados para determinadas regiões adequando-os às características climáticas e aos usuários.

No presente estudo as técnicas de estatística clássica, em concordância com TERRA et al. (2001), permitiram identificar os tipos de lesão predominantes nos revestimentos das fachadas das edificações: organismos, umidade ascensional, descolamento em placas, descoloração e fissuras tipo mapeamento, bem como o tipo de revestimento com maior quantidade de lesões: reboco executado com argamassa inorgânica. Mostraram também que, embora este tipo de reboco tenha apresentado maior quantidade de lesões, também foi o tipo de revestimento mais utilizado no recobrimento das fachadas. Também foi possível detectar que a distribuição dos revestimentos empregados era diferente da distribuição dos revestimentos que apresentaram lesões e ainda que, existia uma relação entre tipo de lesão e tipo de revestimento em que se manifestou.

A complementação desta análise pelas técnicas de estatística multivariada permitiu reforçar a idéia de que alguns tipos de lesão são mais comuns em determinados tipos de revestimento ou material, identificando-as, como também permitiu identificar alguns revestimentos que tem comportamentos semelhantes, além de melhores e piores desempenhos em função da ocorrência de lesões.

Os resultados desta análise sugerem ainda que, a grande responsável pela incidência de patologias talvez seja a falta de manutenção, concordando com SELMO (1989), tendo em vista que, os revestimentos identificados como de melhor qualidade, são cerâmica vitrificada e pastilha, que por suas características físicas e químicas, exigem pouca manutenção.

Para todo elemento da construção é necessário estabelecer um programa de manutenção de modo a garantir um nível mínimo indispensável ao cumprimento de suas funções e necessidades do usuário (SELMO, 1989), tendo em vista o desgaste natural dos elementos em função de sua utilização e exposição às intempéries, muito embora não se possa deixar de observar as regras relativas a projeto e execução, assim como, características de qualidade dos materiais empregados.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BUSSAB, W.; MIAZAKI, E.; ANDRADE, D. **Introdução à análise de agrupamentos**. 9º Simpósio Brasileiro de Probabilidade e Estatística. São Paulo: IME – USP, 1990.
- BOUROCHE, J. M.; SAPORTA, G. **Análise de dados**. Rio de Janeiro: Zahar Editores, 1982.
- CRIVISQUI, E. **II Seminário, por videoconferência, de Métodos Exploratórios de Estatística Multivariada**. Florianópolis: Programa Presta e Departamento de Informática e Estatística/UFSC, 1999.
- HOFFMAN, D.; FRANKE, G. **Correspondence Analysis: Graphical Representation of Categorical Data in Marketing Research**. Journal of Marketing Research. Vol.XXIII, 1986. p.213-227.
- JOHNSON, A.J. e NICHERN, D.W. **Applied Multivariate Statistical Analysis**. USA: Prentice Hill, 1997.
- SELMO, S. M. S. **Prevenção de Patologias em Revestimentos Externos de Argamassa dos Edifícios: a Importância dos serviços de Manutenção**. Simpósio sobre Patologias das Edificações. Porto Alegre: UFRGS, 1989. p-195-212.
- TERRA, R. C.; MATTOS, V. L. D.; CREMONINI, R. A. **Manifestações Patológicas em Fachadas de Edificações da Cidade de Pelotas**. VII Congresso de Patologia de la Construcción. Santo Domingo, 2001.

7 AGRADECIMENTO

Este trabalho foi apoiado pelo Núcleo de Normalização e Qualimetria (NNQ) do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção (PPGEP) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) – <http://www.qualimetria.ufsc.br> e pela Universidade Católica de Pelotas (UCPel) – <http://www.ucpel.tche.br>.