

## **PROPOSTA DE UM PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL BASEADO EM PROJETO FATORIAL PARA ANÁLISE DO CONFORTO TÉRMICO DE AMBIENTES CONSTRUÍDOS**

**Aline Matos Leonel Assis (1); Patrícia Romeiro da Silva Jota (2).**

(1) UNIVALE, Rua João Paulo Pinheiro n.90 apto 202 São Pedro, Governador Valadares/MG Brasil, telefax (33)32711179

e-mail: alinemlassis@uol.com.br

(2) CEFET, Av. Amazonas 5253 Nova Suíça, Belo Horizonte/MG Brasil, telefone (31)33195263

e-mail: prsjota@dppg.cefetmg.br

### **RESUMO**

Este trabalho trata da avaliação de um procedimento experimental desenvolvido para analisar o conforto térmico de edificações. Para avaliar o procedimento utilizou-se salas de aulas específicas da Universidade Vale do Rio Doce MG. O procedimento experimental utiliza como base o projeto fatorial. Foram utilizados projetos de dois e três níveis investigando fatores diferenciados exemplificando o uso do projeto multiníveis. Este tipo de procedimento visa avaliar o comportamento de algumas variáveis climáticas internas ao edifício a partir de elementos arquitetônicos pré-definidos. O objetivo é planejar o levantamento de dados de forma sistemática e analisar os efeitos simples e as interações dos fatores fazendo uso da análise de variância ANOVA para garantir, matematicamente, o grau de certeza dos resultados obtidos. O projeto 1, com dois e três níveis, investiga três fatores (ventilação forçada, ventilação natural e turno) e o Projeto 2, com dois níveis investiga quatro fatores (ventilação forçada, ventilação natural, turno e brise) para as mesmas saídas. O exemplo explora diferentes resultados onde fatores são incluídos ou descartados em função dos graus de incerteza obtidos. Os resultados mostraram que o procedimento proposto é viável para se analisar o conforto térmico de ambientes, indicando soluções arquitetônicas de forma objetiva e matematicamente embasada.

### **ABSTRACT**

An experimental procedure developed to analyze the building thermal comfort is presented. Classrooms of the Vale do Rio Doce University have been used as a case study. The factorial project has been used as an experimental procedure. Two-and three-level projects have been used, exemplifying the use of the multilevel project. This kind of procedure is used to evaluate the behavior of some building internal climatic variables from pre-defined architectural elements. By using this procedure, it is possible to collect the data in a systematic manner and to analyze the simple effects and the interactions between factors. The analysis variance – ANOVA – has been done to mathematically guarantee the degree of certainty of the results. The Project 1, of two and three levels where three factors have been investigated (forced ventilation, natural ventilation and daily turn) and the Project 2, of two levels where four factors have been investigated (forced ventilation, natural ventilation, daily turn and sun shade devices) for the same exits. The example explores different results where factors are enclosed or discarded in function of the degrees uncertainty. The results had shown that the procedure is viable to analyzing the comfort of the thermal environment indicating architectural solutions of as objective form and mathematically based.

### **1. INTRODUÇÃO**

Atualmente pouco se faz para melhorar as condições de conforto dos ambientes construídos. Conceitos e propostas projetuais baseadas numa arquitetura bioclimática e na eficiência energética seriam uma

solução adequada aos problemas observados nos edifícios. Os estudos e pesquisas nesta área de conhecimento estão, muitas vezes, distantes dos profissionais da construção. Propostas de experimentos mais simplificados podem contribuir na melhoria dos projetos e adequações das edificações às condições climáticas local.

Esta pesquisa foi desenvolvida visando definir uma metodologia de trabalho baseada num procedimento experimental que utiliza o projeto fatorial como base para o levantamento e processamento dos dados. O projeto fatorial deve ser definido de acordo com os fatores e níveis de investigação do objeto de estudo. Entende-se por *fator*, a variável independente de um experimento podendo ser quantitativa ou qualitativa, e por *nível* a intensidade de um fator (MONTGOMERY, 1991). Esse procedimento permite a avaliação de uma quantidade de dados reduzida indicando diretrizes para garantir um conforto nos ambientes construídos.

O planejamento das investigações experimentais é desenvolvido por testes ou experimentos e, mesmo que haja uma teoria científica básica em que se pode confiar a respeito de uma situação ou hipótese, é quase sempre necessário conduzir estes testes para confirmar que a teoria é, na verdade, operativa na situação ou no ambiente.

Foi proposto como meta da pesquisa, um procedimento experimental para uma coleta específica de dados e de avaliação das condições de temperatura, ventilação e umidade relativa do ar em ambientes construídos. Como objetivo, foi proposto desenvolver uma aplicação específica do procedimento experimental avaliando as soluções arquitetônicas e as condições de entorno juntamente com o efeito das variáveis climáticas no conforto ambiental das salas de aulas definidas como objeto de estudo.

## 1.1 Metodologia

A metodologia usada no projeto do experimento segue aquela sugerida por MONTGOMERY (1991), onde a escolha dos fatores e seus níveis é a etapa inicial de um experimento eficiente. A etapa seguinte trata da seleção da variável de saída que pode ser influenciada pela etapa anterior. Na seqüência, faz-se a escolha do projeto do experimento e seu desenvolvimento, a análise dos dados e por fim, as conclusões e recomendações.

Este método científico de pesquisa baseado num projeto fatorial permite que uma análise quantitativa dos dados e observações do processo de investigação seja feita. Fez-se uso de uma avaliação matemática dos dados onde os fatores definidos como variáveis do processo foram testados separadamente e em conjunto combinando seus efeitos. Uma análise de variância pelo método ANOVA foi feita para testar a qualidade das medições em cada experimento realizado podendo verificar o grau de confiabilidade do procedimento. A metodologia de trabalho foi avaliada ao longo do processo na tentativa de estabelecer um procedimento confiável de levantamento de dados, de análises e de recomendações no que diz respeito ao uso adequado de elementos arquiteturais visando o conforto ambiental de salas de aulas estudadas. Desta maneira, análises qualitativas podem ser baseadas num procedimento matemático de avaliar dados.

## 2. ESTUDO DE CASO

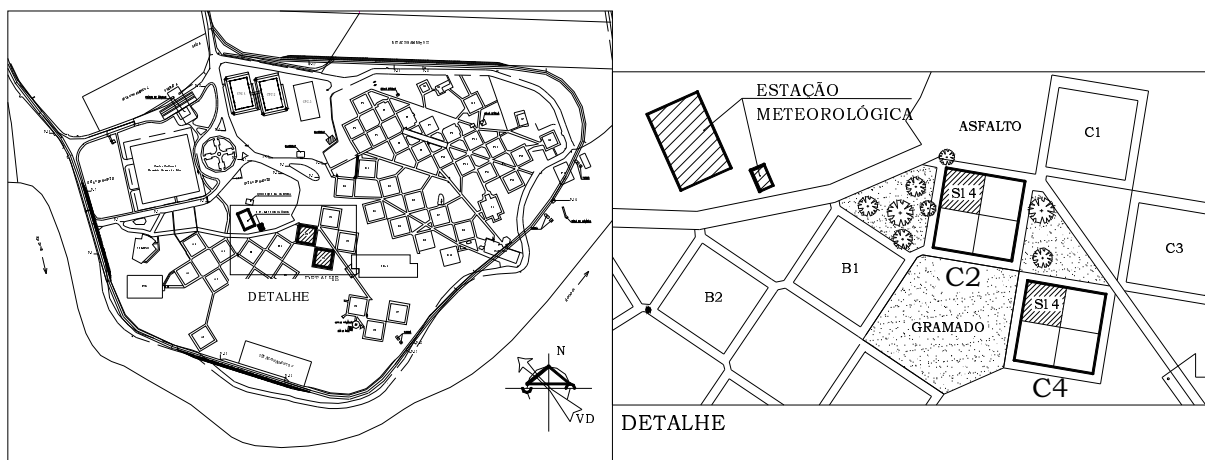
Governador Valadares é uma cidade a leste de Minas Gerais (latitude 18°51'S, longitude 41°56'W e altitude 148m) conhecida pelas condições climáticas rigorosas que influenciam diretamente no comportamento dos habitantes.

A proposta foi estudar algumas características arquitetônicas de dois tipos de salas de aulas do Campus II da Universidade Vale do Rio Doce - UNIVALE. Essas características influenciam no conforto dos ambientes e foram avaliadas por meio de dados internos e externos de temperatura do ar, ventilação natural e umidade relativa do ar. Situações mal resolvidas podem gerar condições inadequadas de conforto ambiental acentuadas pelas condições climáticas rigorosas do local: altas temperaturas, alta umidade relativa do ar e pouca ventilação natural.

Alguns fatores foram determinantes para a escolha dos ambientes: quantidade de equipamentos disponíveis para a realização da coleta de dados de forma simultânea; estar na mesma orientação solar; apresentar características físicas de construção semelhantes; apresentar elementos arquitetônicos diferentes com intenção de avaliar seu desempenho; apresentar elementos de proteção solar diferentes a fim de avaliar tais efeitos.

A Figura 1 identifica as edificações estudadas enquanto a Tabela 1 as caracteriza. Esta caracterização é uma etapa importante para estudos do conforto ambiental, sendo possível avaliar um fenômeno por meio dos

conceitos referentes ao conforto de um ambiente: pé direito adequado, especificações dos materiais de fechamento, composição do entorno, etc.



**Figura 1: Situação e orientação dos ambientes estudados.**

**Tabela 1: Caracterização dos ambientes estudados.**

<b>Característica</b>	<b>Bloco C2 Sala 04</b>	<b>Bloco C4 Sala 04</b>
Identificação (sigla)	C2-04	C4-04
Tipo de Construção	Térrea	Térrea
Pé Direito	3,40m	3,40m
Acabamento Ext.	Chapisco grosso	Reboco liso
Pintura / cor	Sem pintura	Pintura / Branco
Passeio	Com passeio	Com passeio
Tipo de abertura	Janela de Bâscula	Janela de Correr
Dimensões: Portas	100 x 210	100 x 210
Dimensões: Janelas	Lx110/205	Lx150/150
Tipo de Cobertura	Duas águas	Duas águas
Telha Modelo	Telha Caletão	Telha Caletão
Cor	Cor natural	Cor natural
Piso (entorno)	Asfalto e gramado	Gramado
Arborização	Existente (+intensa)	Existente (- intensa)
Edificações	nas proximidades	nas proximidades
Piso (interno)	Cerâmica clara	Cerâmica clara
Tipo de reboco (interno)	Reboco liso	Reboco liso
Pintura / cor	Cor branca	Cor branca
Teto / textura e cor	Forro Branco	Forro Branco
Disposição do mobiliário	Ver desenho esquemático	Ver desenho esquemático
Ventilação existente	Natural (janelas)	Natural (janelas)
Ventilador	Com sistema	Com sistema
Ar condicionado	Sem sistema	Sem sistema
Observações	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. L=comprimento da parede externa.</li> <li>2. Sistema de abertura com defeito em alguns módulos</li> <li>3. Os vidros das janelas são pintados de branco</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. L=comprimento da parede externa.</li> <li>2. Os vidros das janelas não receberam pintura</li> </ol>

## 2.1 Plano para levantamento e análise de dados

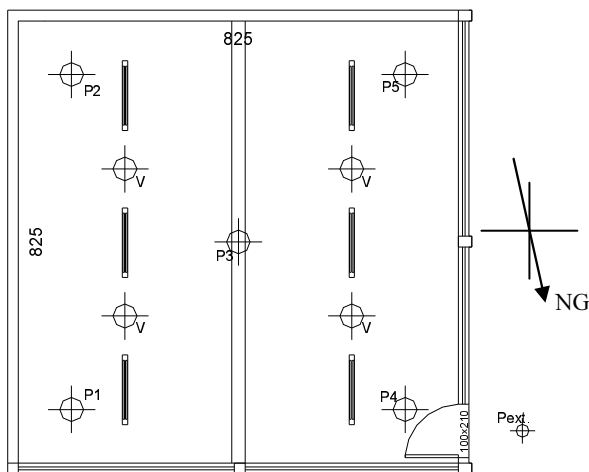
Foram utilizados dados coletados anteriormente para um estudo qualitativo desenvolvido por ASSIS (2005), aqui tratados e analisados matematicamente em projeto fatorial. O levantamento dos dados definido por medições em dias seqüenciais com o ambiente sem uso, em apenas 5 dias diferentes tornou-se aceitável, uma vez que, o projeto fatorial permite análise de poucas informações. Os horários foram específicos em torno das 9h, das 15h e das 21h acompanhando os horários do levantamento de dados da Estação Meteorológica da UNIVALE, havendo possibilidade destes dados auxiliarem a análise dos resultados desta pesquisa. A próxima etapa de definição para o levantamento de dados foi a escolha dos fatores: turno, proteção solar por brise (aberto/sem brise ou fechado), condição de climatização por ventiladores e condição das aberturas laterais. De acordo com a situação de levantamento definida, traçaram-se os pontos internos e externos para medições simultâneas. Para um levantamento de dados confiável o instrumentador foi orientado para usar o equipamento corretamente.

O planejamento desta etapa do procedimento experimental garante a confiabilidade nos dados. A organização e o tratamento destes dados colhidos em campo foram tratados em planilhas eletrônicas contendo os dados necessários à análise: dados levantados, condições ambientais, observações e cálculo dos índices de iluminação natural, temperatura, ventilação e umidade (relação da média dos pontos interno e externo); com as planilhas foi possível tratar os projetos fatoriais de acordo com o tipo de análise a ser feita trabalhando dados e gráficos; o procedimento seguinte foi realizar as avaliações pertinentes ao processo verificando e validando as hipóteses de trabalho e da metodologia adotada para, no final, obter as conclusões do experimento.

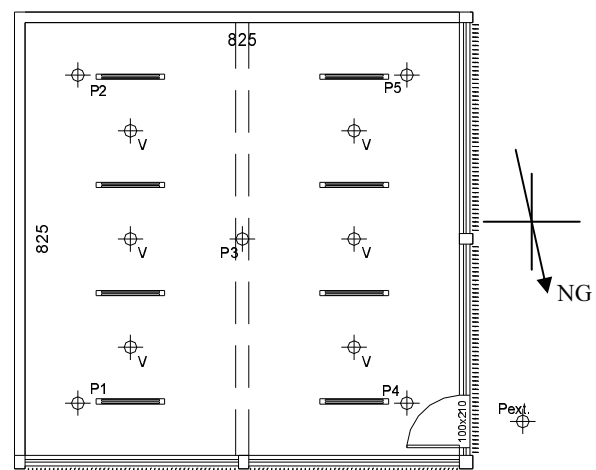
## 2.2 Levantamento de dados

As medições foram feitas simultaneamente nos pontos internos e externos como mostram as Figuras 2 e 3: para cada leitura interna foi feita uma leitura no ponto externo. Vale identificar que os pontos indicados com a letra “V” representam a locação dos Ventiladores de Teto e os retângulos representam as luminárias fluorescentes existentes em cada ambiente.

No estudo da temperatura do ar, ventilação natural e umidade relativa do ar avaliou-se o índice ( $I_{Temp}$ ,  $I_{Vent}$  e  $I_{Umid}$ ) e a variação ( $\Delta_{Temp}$ ,  $\Delta_{Vent}$  e  $\Delta_{Umid}$ ) que relacionam as medições externas e internas como indicativo da qualidade do ambiente para realização de atividades escolares: o índice foi obtido efetuando-se a média interna dividida pela média externa e a variação, efetuando-se a média interna menos a média externa.



**Figura 2: Planta Baixa com indicação dos pontos para o levantamento de dados: C2-04.**



**Figura 3: Planta Baixa com indicação dos pontos para o levantamento de dados: C4-04.**

## 2.3 Projeto Fatorial

No planejamento do experimento verificou-se quais os fatores eram importantes no processo e que poderiam interferir no valor de saída. Uma vez que vários fatores (K) eram potencialmente importantes, planejou-se um experimento fatorial em níveis (intensidade de um fator) onde os fatores são variados conjuntamente, pois influenciam a resposta (saída).

Nesta fase, foram identificados quais os níveis seriam trabalhados, o tratamento combinatório, que é a combinação específica de níveis e fatores, o efeito próprio, que cada fator causa na saída e a interação entre os fatores, que é o efeito combinado de dois ou mais fatores na saída do sistema.

Foram utilizados projetos de dois e três níveis investigando fatores diferenciados exemplificando o uso do projeto multiníveis. Por exemplo, no projeto de dois níveis o planejamento requer  $2 \times 2 \times 2 \times \dots \times 2 = 2^k$  observações. Neste projeto fatorial, cada fator assumiu dois valores (níveis) distintos denominados por alto (+) e baixo (-). Assim, para k fatores analisados, têm-se  $2^k$  testes compondo o experimento, onde cada teste pôde ser repetido “n” vezes.

Foram elaborados dois projetos fatoriais para avaliação dos ambientes:

Projeto 1: sala 04 do Bloco C2: fatorial misto de 2 níveis (+1 e -1) e três níveis (+1, 0 e -1) investigando 3 fatores (ventilação forçada, ventilação natural e turno), sendo  $t_c = 2^2 \times 3^1 = 12$  testes para o projeto experimental do Bloco C2 conforme mostra a esquematização do projeto fatorial na Tabela 2.

**Tabela 2: Esquematização do Projeto 1.**

FATOR	SIGLA	CONDIÇÃO	SINAL
Ventilação Forçada	A	NC	-1
		C	+1
Ventilação Natural	B	JPF	-1
		JPA	+1
Turno	C	M	-1
		T	0
		N	+1

Nota: NC = Não Climatizado, C = Climatizado, JPF = Janelas e Portas Fechadas, JPA = Janelas e Portas Abertas, M = Manhã, T = Tarde, N = noite, lembrando que a climatização referida é feita por sistema de ventiladores de teto.

Para a investigação dos fatores foram avaliados seus efeitos simples (A, B, C) e seus efeitos combinados (AB, AC, BC, ABC).

Projeto 2: sala 04 do Bloco C4: fatorial de dois níveis e 4 fatores (ventilação forçada, ventilação natural, turno e brise), sendo  $t_c = 2^4 = 16$  testes para o projeto experimental do Bloco C4, conforme mostra a esquematização do projeto fatorial na Tabela 3.

**Tabela 3: Esquematização do Projeto 2.**

FATOR	SIGLA	CONDIÇÃO	SINAL
Ventilação Forçada	A	NC	-1
		C	+1
Ventilação Natural	B	JPF	-1
		JPA	+1
Turno	C	M	-1
		T	+1
Brise	D	F	-1
		A	+1

Nota: NC = Não Climatizado, C = Climatizado, JPF = Janelas e Portas Fechadas, JPA = Janelas e Portas Abertas, M = Manhã, T = Tarde, F = Brise Fechado, A = Brise Aberto.

No Projeto 2 não foi avaliado o período da noite do fator C (Turno), uma vez que, não havia saída quando o fator D (Brise) era considerado.

Para a investigação dos fatores foram avaliados seus efeitos simples (A, B, C, D) e seus efeitos combinados (AB, AC, AD, BC, BD, CD, ABC, ABD, BCD, ABCD).

#### 2.4 Resultados e Análises

Após levantamento sistemático de dados, passou-se à etapa de cálculo dos índices e variações ( $\Delta$ ) para temperatura, ventilação e umidade relativa do ar.

A avaliação do índice permite verificar a relação das variáveis climáticas no ambiente externo e interno e o comportamento destas variáveis ao simular as interações entre os fatores investigados e a variação ( $\Delta$ ) permite verificar a diferença entre estas variáveis.

Os experimentos foram realizados seguindo a indicação do tratamento combinatório (tc) em ordem aleatória e, posteriormente, a tabela é construída colocando-os em ordem específica montada pelo pesquisador para projetos mistos (dois e três níveis) e na Ordem de Yates para projetos de dois níveis. Segundo MIRNA (2003), a Ordem de Yates é uma convenção de alterar os valores dos níveis (estipulados por sinais positivos e negativos) produzindo uma ordenação no projeto experimental.

Obtidos os resultados dos índices e das variações ( $\Delta$ ), foram feitas as análises de variância ANOVA para identificar o grau de incerteza que o uso do índice e da variação traz para o processo de investigação dos fatores.

Esse método mostrou que alguns resultados indicam incerteza elevada, comprovando matematicamente que alguns fatores não podem ser utilizados no processo de investigação. O procedimento foi usado num primeiro momento para as saídas dos índices de temperatura, ventilação e umidade. Refazendo para os resultados das variações ( $\Delta$ ), a incerteza melhorou, mas ainda permaneceu alta para alguns fatores.

O procedimento mostra uma metodologia de obtenção e avaliação de dados e indica os possíveis erros, sendo necessários novos levantamentos para verificar de que outra maneira os fatores descartados no processo poderiam ser utilizados.

Na descrição deste trabalho será demonstrado o procedimento de avaliação dos resultados para a temperatura do ar nos dois projetos fatoriais e relatado as conclusões para os demais fatores do processo.

A ANOVA para os dados do índice de temperatura (Índice T) não apresenta um grau de certeza razoável para o fator B – Ventilação Natural – como mostra a Tabela 4, coluna P. Comparativamente com a ANOVA para os dados de  $\Delta T$  a incerteza permanece para o mesmo fator, mas apresenta uma melhora para os demais, justificando a permanência do uso da variação  $\Delta$  para avaliação dos fatores.

Descartando o Fator B, e realizando a ANOVA para os fatores A (Ventilação Forçada) e C (Turno), foi possível obter um grau de certeza superior a 96% para os efeitos simples e a interação que os considera.

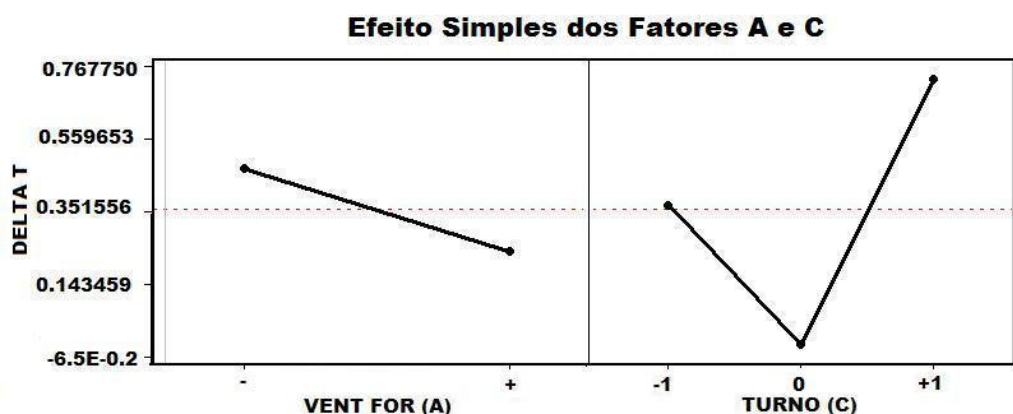
**Tabela 4: ANOVA para os dados de Temperatura do ar obtidos no Projeto 1 – (Bloco C2).**

Análise ANOVA para o Índice T					
Fator	DF	SS	MS	F	P
Vent.For (A)	1	0.0009600	0.0009600	2.86	0.096
Vent.Nat (B)	1	0.0004267	0.0004267	1.27	0.264
Turno (C)	2	0.0070300	0.0035150	10.48	0.000
Erro	55	0.0184433	0.0003353	-	-
Total	59	0.0268600	-	-	-
Análise ANOVA para $\Delta T$					
Fator	DF	SS	MS	F	P
Vent.For (A)	1	0.8402	0.8402	3.35	0.073
Vent.Nat (B)	1	0.3375	0.3375	1.34	0.251
Turno (C)	2	5.7043	2.8522	11.36	0.000
Erro	55	13.8038	0.2510	-	-
Total	59	20.6858	-	-	-
Análise ANOVA para $\Delta T$ (desconsiderando B e considerando Ax C)					
Fator	DF	SS	MS	F	P
Vent.For (A)	1	0.8402	0.8402	4.68	0.035
Turno (C)	2	5.7043	2.8522	15.90	0.000
AC	2	4.4573	2.2287	12.43	0.000
Erro	54	9.6840	0.1793	-	-
Total	59	20.6858	-	-	-

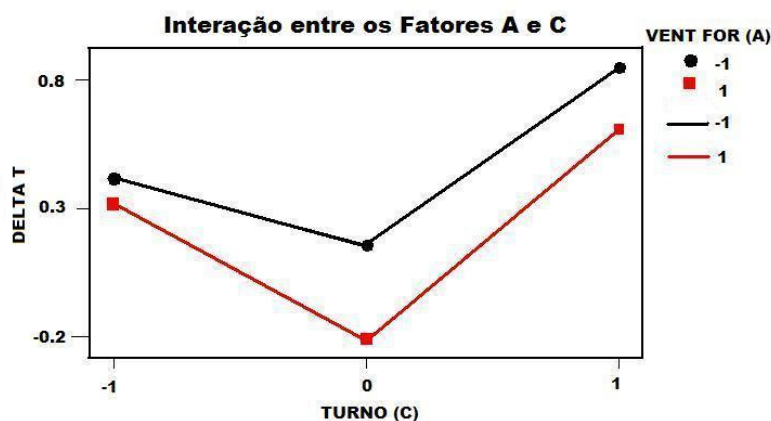
Nota: DF = graus de liberdade; SS = soma dos quadrados; MS = média quadrática; F = distribuição F (distribui o erro e indica a faixa de incerteza); P = grau de incerteza.

A análise gráfica dos Efeitos Simples dos Fatores A e C, Figura 4, e da interação dos fatores, Figura 5, mostra que, ao ativar o sistema de ventiladores (condição – para + no fator A), o  $\Delta T$  diminui.

Para a análise do Efeito Simples do fator C, observa-se que, para cada turno (Manhã, Tarde e Noite) ocorre um  $\Delta T$  específico com valores absolutos menores para o turno Tarde e maiores para o turno Noite (comparativamente ao turno Manhã), mas para nenhum deles, o valor da média da temperatura interna esteve menor que o da média da temperatura externa.



**Figura 4: Efeito Simples dos fatores A (Ventilação Forçada) e C (Turno) para a variação  $\Delta T$  (Delta T).**



**Figura 5: Interação Gráfica dos fatores A (Ventilação Forçada) e C (Turno) para variação  $\Delta T$  (Delta T).**

Os resultados da ANOVA para o índice de temperatura (Índice T) mostrado na Tabela 5, coluna P, indicam um grau de incerteza elevado para todos os fatores. Analisando o  $\Delta T$  os dados não apresentam grau de certeza razoável para os fatores Ventilação Natural e Brise: 74,1% e 34,3% respectivamente. Portanto, os mesmos não serão analisados.

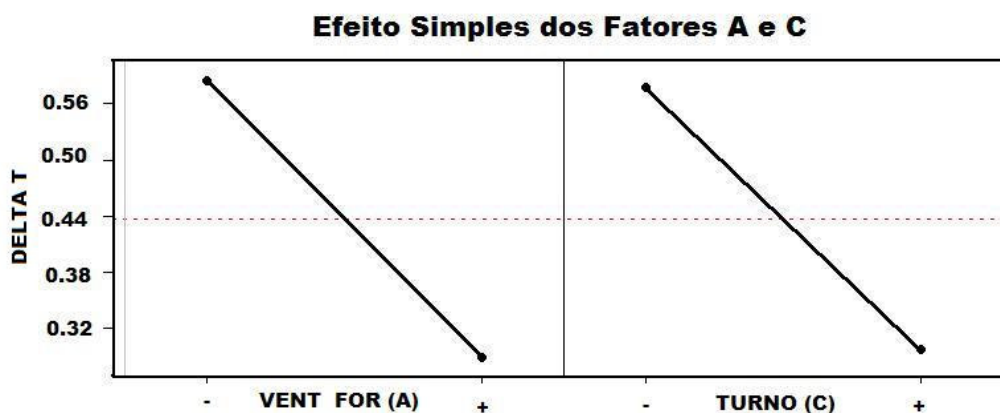
**Tabela 5: Resumo da análise ANOVA para os dados de Temperatura do ar obtidos no Projeto 2 (Bloco C4).**

Análise ANOVA para o Índice T					
Fator	DF	SS	MS	F	P
Vent.For (A)	1	0.02346	0.02346	1.72	0.193
Vent.Nat (B)	1	0.00946	0.00946	0.70	0.407
Turno (C)	1	0.00595	0.00595	0.44	0.510
Brise (D)	1	0.00903	0.00903	0.66	0.418
Erro	75	1.02051	0.01361	-	-
Total	79	1.06842	-	-	-
Análise ANOVA para $\Delta T$					
Fator	DF	SS	MS	F	P
Vent.For (A)	1	1.7405	1.7405	3.09	0.083
Vent.Nat (B)	1	0.0605	0.0605	0.11	0.744
Turno (C)	1	1.5680	1.5680	2.79	0.099
Brise (D)	1	0.5120	0.5120	0.91	0.343
Erro	75	42.2065	0.5628	-	-
Total	79	46.0875	-	-	-
Análise ANOVA para $\Delta T$ desconsiderando o fator B					
Origem	DF	SS	MS	F	P
Vent.For(A)	1	1.7405	1.7405	3.09	0.083
Turno (C)	1	1.5680	1.5680	2.79	0.099
AC	1	0.0180	0.0180	0.03	0.859
Erro	76	42.7610	0.5626	-	-
Total	79	46.0875	-	-	-

Nota: DF = graus de liberdade; SS = soma dos quadrados; MS = média quadrática; F = distribuição F (distribui o erro e indica a faixa de incerteza); P = grau de incerteza.



Descartando os fatores citados e realizando uma nova análise, observa-se que o grau de incerteza da interação entre os fatores Ventilação Forçada e Turno, é elevado e não deve ser considerado na avaliação devendo analisar apenas o efeito simples dos fatores em avaliação a partir do gráfico mostrado na Figura 6.



**Figura 6: Efeito Simples dos fatores A (Ventilação Forçada) e C (Turno) para a variação  $\Delta T$  (Delta T) .**

O gráfico mostra comparativamente, o efeito do fator na variação da temperatura analisando a diferença entre a média da temperatura interna e a média da externa. Percebe-se que esta variação ocorre de forma semelhante para os fatores Ventilação Forçada e Turno com um grau de certeza superior a 90%.

A análise gráfica dos efeitos simples dos fatores Ventilação Forçada e Turno mostra que, ativando o sistema de ventiladores de teto, a diferença entre a Média da Temperatura Interna e a Média Externa, ou seja, o  $\Delta T$  diminui havendo uma maior homogeneidade entre o ar interno e externo. O mesmo ocorre quando se passa do período da manhã para o período da tarde.

Como o levantamento de dados foi realizado em apenas dois horários do dia, não será possível uma discussão sobre o  $\Delta T$  contemplado na análise gráfica descrita anteriormente. Para se avaliar a dosagem do tempo de ocorrência do pico de temperatura máxima do exterior e do interior, é necessário um equipamento digital com registro contínuo de dados possibilitando traçar uma curva que represente a variação diária de temperatura interna e externa.

No período da manhã o  $\Delta T$  é muito mais representativo que no período da tarde, uma vez que, a edificação esteve em processo de resfriamento no período da noite e, ao nascer do sol, a temperatura externa se eleva mais rapidamente havendo uma defasagem no tempo de transferência da carga térmica para o interior da edificação.

Nos dois casos, concluiu-se que os resultados para a variação  $\Delta$  das variáveis climáticas (Média Interna – Média Externa) são melhores, ou mais confiáveis, do que para o Índice das variáveis (Média Interna / Média Externa) e que a variável Ventilação Natural (fator B) não pôde ser avaliada em nenhuma sala de aula devido ao grau de incerteza elevado apresentado pela análise de variância ANOVA.

Relatando os resultados obtidos para as variáveis climáticas umidade relativa do ar e ventilação natural, as avaliações feitas no Projeto 1 (sala 4 do Bloco C2) mostraram que, para o fator A (ventilação artificial), a variação  $\Delta U$  (Md.Umid.Int. – Md.Umid.Ext.) diminuiu quando se ativou o sistema de ventiladores (passa da condição – para +). Para o fator C (turno) observou-se que, no turno da tarde o  $\Delta U$  aumentou e no turno da noite, diminuiu se comparado ao turno da manhã (permanece próximo do valor médio). Observou-se que o sistema de ventilação forçada promoveu uma uniformização da umidade do ar diminuindo a variação da umidade interna e externa, sendo que nos turnos da manhã e tarde a umidade interna foi maior que a externa e a noite houve uma inversão.

No Projeto 2 (sala 4 do Bloco C4) a análise ANOVA para  $\Delta U$  mostrou um grau de incerteza elevado para o fator Brise (D) indicando que este deveria ser descartado do processo. Realizando novas análises dos fatores

incluindo suas interações, observou-se que a única interação válida foi ventilação forçada x ventilação natural (AB).

Para as duas salas observou-se que o sistema de ventilação forçada promoveu, ao ativar o ventilador, uma uniformização da umidade relativa do ar diminuindo a variação da umidade interna e externa.

Os dados de ventilação natural (fator B) não puderam ser analisados, pois a análise de variância ANOVA apresentou um grau de incerteza elevado mostrando a necessidade de descartar tal avaliação, uma vez que, as ventilações registradas são muito baixas permanecendo, em sua maioria, em torno da escala mínima do instrumento de medição. Vale ressaltar que as aberturas laterais dos ambientes analisados possuem uma dimensão adequada, mas não estão voltadas para a direção do vento dominante local. Além disso, a região possui um registro médio de baixa ventilação natural durante quase todo o ano. Estas características mostram a tendência de uma ventilação natural insatisfatória no interior dos ambientes analisados: a oferta de ventilação é menor que a solicitação.

Na prática, pode-se dizer que os ambientes com temperatura do ar e umidade relativa altas precisam ser ventilados para melhorar a sensação térmica, sendo necessário recorrer a um sistema artificial (ventilador de teto, para este estudo) quando a condição natural não permite uma ventilação interna mínima de conforto. No que se refere ao uso de elementos de proteção solar (tipo brise metálico vertical móvel, para este estudo) em fachadas com alta incidência de radiação solar, pode-se dizer que é um recurso válido e muito utilizado, mas que é necessário avaliar seu dimensionamento e configuração para cada ambiente a ser protegido visando garantir sua eficácia.

### **3. CONCLUSÕES**

Pôde-se verificar a real utilização do procedimento proposto indicando que é possível avaliar fatores climáticos e sua influência no ambiente construído fazendo uso de um procedimento experimental que utiliza o projeto fatorial como base do processo. A metodologia pode ser usada com o objetivo de quantificar e avaliar matematicamente o comportamento das variáveis arquiteturais no conforto térmico de ambientes similares ao analisado sendo possível obter recomendações direcionando a tomada de decisões para adaptações nos projetos de edifícios de salas de aulas do Campus II da UNIVALE.

### **4. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA**

ASSIS, Aline Matos Leonel (2006). Avaliação de um procedimento experimental para análise do conforto térmico e lumínico de salas de aulas: estudo de caso: UNIVALE MG. 2006. 191p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) Curso de Mestrado em Tecnologia, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte.

ASSIS, Aline Matos Leonel (2005). Estudo do conforto ambiental de determinadas salas de aulas no Campus II da Universidade Vale do Rio Doce – UNIVALE Governador Valadares MG. Monografia para obtenção de título de especialista na Universidade Federal de Lavras.

MIRNA, Suely dos Santos Brancarense (2003). Projeto Experimental de Iluminação Natural em Sistemas Laterais: Estudos Comparativos de Fatores Arquiteturais. 2003. 239p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) Curso de Mestrado em Tecnologia, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte.

MONTGOMERY, Douglas C (1991). Design and analysis of experiments. New York: John Wiley & Sons. 3rd ed.