

Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG
Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Engenharia Elétrica - CPDEE

Uso de Técnicas de Inferência Estatística no Estudo de Padrões Térmicos Faciais

Marcos Vinícios de Souza

Fevereiro de 2007

MARCOS VINÍCIOS DE SOUZA

Uso de Técnicas de Inferência Estatística no Estudo de Padrões Térmicos Faciais

Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica da UFMG como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica.

Belo Horizonte
Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG
Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Engenharia Elétrica - CPDEE
Fevereiro de 2007

Agradecimentos

Agradeço à Deus por me iluminar nas horas de escuridão. Agradeço aos meus pais e minha irmã pelo apoio, sem o qual não poderia sequer começar esta jornada. Agradeço também à minha noiva Amanda pela paciência nos momentos de ausência.

Não posso deixar de agradecer à minha orientadora Carmen Déa, que acreditou em meu trabalho e me apoiou com sua experiência e inteligência. Agradeço também aos professores Marcelo, Carlos Julio, Murilo e Braga que muito me ajudaram no desenvolvimento deste trabalho.

Da mesma forma, gostaria de agradecer ao Sr. Ênio de Oliveira que muito contribuiu para a realização desta tarefa.

Um agradecimento às pessoas que tiveram uma participação indireta para que este trabalho pudesse ser concluído.

Sumário

1	Introdução	1
1.1	Motivação	1
1.2	Reconhecimento Biométrico	2
1.3	Reconhecimento Facial: Espectro Visível x Espectro Invisível	3
1.4	Objetivo	3
1.5	Visão sumária dos capítulos	3
2	Fisiologia	5
2.1	Introdução	5
2.2	Produção e Perda de Calor	5
2.2.1	Produção de Calor	5
2.2.2	Perda de Calor	5
2.2.3	Vascularização Facial	6
2.2.4	Regulação da Temperatura	7
2.3	Conclusão	9
3	Métodos Estatísticos	10
3.1	Introdução	10
3.2	Estatística Multivariada	10
3.3	Métodos de Inferência Estatística	10
3.3.1	Análise de Variância - Método Paramétrico	11
3.3.2	Análise de Variância de Kruskal-Wallis	13
3.4	Teste de Kolmogorov-Smirnov	14
3.5	Box-Plot	14
3.6	Múltipla Comparação	15
3.7	Técnicas de Conglomerados e Dendrograma	17
3.8	Conclusão	19
4	Termometria Óptica	20
4.1	Introdução	20
4.2	Radiação infravermelha	20
4.3	Termometria Infravermelha	21
4.3.1	Radiação Térmica	21
4.3.2	Emissividade de um corpo	21
4.4	Conclusão	22
5	Metodologia	24
5.1	Introdução	24
5.2	Metodologia para a Coleta dos Dados	24
5.3	Ambiente de Coleta dos Dados	26
5.4	Análise Estatística	26

5.5	Conclusão	28
6	Resultados e Discussão	30
6.1	Introdução	30
6.2	Objetivos	30
6.2.1	Primeira Análise	30
6.2.2	Segunda Análise	32
6.2.3	Terceira Análise	36
6.2.4	Quarta Análise	38
6.2.5	Quinta Análise	41
6.2.6	Sexta Análise	42
6.2.7	Sétima Análise	45
6.3	Discussão	48
7	Conclusão	49
7.1	Introdução	49
7.2	Conclusão	49
7.3	Conclusão Geral	50
8	Trabalhos Futuros	51
8.1	Trabalhos futuros	51
	Referências Bibliográficas	53
A	Fontes de pesquisa na Internet	54
B	Perfis de Temperatura dos Grupos 1 a 18 com 30 Pontos	55
C	Perfis de Temperatura dos Grupos 19 a 36 com 30 Pontos	62
D	Perfis de Temperatura dos Grupos 37 a 39 com 30 Pontos	69
E	Perfis de Temperatura dos Grupos 1 a 18 com 11 Pontos	71
F	Perfis de Temperatura dos Grupos 19 a 36 com 11 Pontos	78
G	Perfis de Temperatura dos Grupos 37 a 39 com 11 Pontos	85

Lista de Figuras

2.1	Artérias e vasos profundos da face.	7
3.1	Exemplo de Tabela de Análise de Kruskal-Wallis	14
3.2	Exemplo de Gráfico Box-Plot	15
3.3	Exemplo de Gráfico de Múltipla Comparação. Nível de significância de 5% . . .	16
3.4	Exemplo de Dendrograma [1]	18
5.1	Medição utilizando 30 pontos	25
5.2	Medição utilizando 11 pontos	25
5.3	Exemplo de tabela de Análise de Variância	27
6.1	Exemplo de tabela de Análise de Variância	31
6.2	Percentual dos grupos que confirmam a hipótese nula. Primeira Análise	31
6.3	Pontos de coleta para a segunda análise	32
6.4	Percentual de grupos que confirmam a hipótese nula. Segunda Análise	33
6.5	Figura da Tabela de Kruskal-Wallis para comparar os 39 grupos	34
6.6	Comparação entre de similaridade entre os 39 grupos	34
6.7	Dendrograma para 39 grupos utilizando 11 pontos	36
6.8	Percentual de grupos que confirmam a hipótese nula. Terceira Análise	37
6.9	Percentual de grupos que confirmam a hipótese nula - Quarta Análise	39
6.10	Figura da tabela de Kruskal-Wallis para grupos saudáveis	39
6.11	Multiplicomparação dos 31 grupos para a quarta análise	39
6.12	Dendrograma para a Quarta Análise	40
6.13	Percentual de grupos que confirmam a hipótese nula. Quinta Análise	42
6.14	Percentual de grupos que confirmam a hipótese nula. Sexta Análise	43
6.15	Figura da tabela de Kruskal-Wallis comparando os grupos formados somente por homens	43
6.16	Multiplicomparação dos 30 grupos para a sexta análise	44
6.17	Dendrograma para a Sexta Análise	45
6.18	Percentual de grupos que confirmam a hipótese nula. Sétima Análise	46
6.19	Figura da tabela de Kruskal-Wallis comparando os grupos formados somente por homens saudáveis	46
6.20	Multiplicomparação dos 23 grupos para a Sétima Análise	47
6.21	Dendrograma para a Sétima Análise	47

Lista de Tabelas

2.1	Perda de calor pelo corpo [2]	6
3.1	Construção da tabela de ANOVA [3]	13
4.1	Subdivisões do Infravermelho	21
4.2	Tabela de Emissividade dos Materiais [23]	22
5.1	Total de Voluntários	26
6.1	Resultado do teste de Kruskal-Wallis para cada indivíduo	31
6.2	Resultado do teste de Kruskal-Wallis para a segunda análise	33
6.3	Tabela contendo os grupos que apresentam médias próximas para a segunda análise	35
6.4	Resultado do teste de Kruskal-Wallis para a terceira análise	37
6.5	Resultado do teste de Kruskal-Wallis para a quarta análise	38
6.6	Tabela contendo os grupos que apresentam médias próximas para a quarta análise	40
6.7	Resultado do teste de Kruskal-Wallis para a quinta análise	41
6.8	Resultado do teste de Kruskal-Wallis para a sexta análise	42
6.9	Tabela contendo os grupos que apresentam médias próximas para a Sexta Análise	44
6.10	Resultado do teste de Kruskal-Wallis para a sétima análise	46

Lista de símbolos e abreviações

ANOVA	Analysis of Variance : Análise de Variância
MANOVA	Multiple Analysis of Variance : Análise de Variância de Fator Múltiplo
H_0	Hipótese Nula
H_1	Hipótese Alternativa
DF	Degrees of Freedom : Graus de Liberdade
SS	Sum of Square : Soma dos Quadrados
MS	Mean Square : Média Quadrática
Chi-sq	qui-quadrado

Resumo

Este trabalho consiste no estudo de padrões térmicos faciais de diversos voluntários com a intenção de verificar se estes padrões se repetem para cada indivíduo e se diferem de um indivíduo para o outro. Estas informações podem ser empregadas, individualmente ou como método auxiliar, em diversas aplicações, tais como: reconhecimento individual de pessoas mascaradas, detecção de variações de situações de saúde ou de situações emocionais, etc.

Para estudar a viabilidade de se utilizarem pontos de temperatura como forma particular e inerente a cada indivíduo, assim como uma impressão digital, foram coletadas amostras de temperaturas de um grupo de voluntários. Os pontos de temperatura coletados foram selecionados de maneira a mapear partes de fácil localização no rosto e não foram baseados na forma ou em qualquer parâmetro fisiológico da face. Posteriormente essas amostras foram pré-processadas para que fossem utilizados os métodos de inferência estatística.

Este trabalho teve como melhor resultado aquele proveniente do grupo de voluntários do sexo masculino sem relatos de doenças, cujas amostras levaram a 78% de confirmação de que o padrão térmico de uma pessoa se repete. Os métodos estatísticos empregados neste trabalho, não foram capazes de separar os grupos de maneira a se identificar cada grupo como tendo um padrão diferente dos demais.

Abstract

This work consists in the study of facial thermal patterns of several volunteers in order to verify the repetition of such patterns to each individual and if they differ from one individual to the other. These data can be utilized individually or as an auxiliary method in several applications like: individual recognition of masked people, identification of health or emotional variations, etc.

To study the viability of the temperature marks use as an individual and inherent part of one, such as the digital print, temperature samples were collected from a volunteers' group. The collected temperature marks were selected so as to map parts of easy location on the face and they were not based on shape or on any physiological parameter of the face. Subsequently these samples were earlier processed so that methods of statistical inference would be used.

The best result of this work is the one from the male volunteers' group with no sickness accounts, which samples confirm with 78% that a person's thermal pattern repeats itself. The statistical methods utilized in this work were not able to divide the groups so as to identify each group as having a different pattern from the others.

Capítulo 1

Introdução

1.1 Motivação

A identificação biométrica de indivíduos tem se mostrado de grande importância no mundo atual. O mundo vem experimentando uma crescente onda de violência. Sendo assim, identificar automaticamente uma pessoa potencialmente perigosa para o ambiente, sem que a mesma perceba, contribui para a segurança do ambiente, propiciando uma ação preventiva.

O ato de identificar uma pessoa pela biometria vem desde a descoberta da impressão digital. Porém, a identificação pela impressão digital, em seu primórdio, teve apenas um papel coadjuvante, agindo de maneira corretiva. Quando se queria, por exemplo, a identificação de um possível assassino ou de um ladrão, os peritos forenses utilizavam, e ainda utilizam, a técnica da impressão digital para a identificação dos autores dos crimes.

A identificação pela impressão digital evoluiu tecnologicamente e hoje pode ser usada de maneira preventiva, impedindo que uma pessoa indesejada acesse um ambiente, bastando que a mesma coloque o dedo em um sensor. Outras fontes biométricas foram descobertas e hoje são utilizadas para controlar o acesso a ambientes. Porém estes métodos aplicam-se apenas para controle de acessibilidade. Em situações mais amplas, como em aeroportos, faz-se necessário um método não invasivo que identifique os indivíduos para que os mesmos percebam que estão sendo identificados.

Dentro do exposto, fica clara a necessidade da evolução dos métodos, das tecnologias e da descoberta de novas fontes biométricas na identificação dos indivíduos. Na evolução dos métodos apareceram programas de computadores capazes de comparar a base de dados com a fonte biométrica e fornecer a identidade do indivíduo ao sistema. Na área da tecnologia, processadores cada vez mais rápidos foram criados, facilitando o uso de computadores na identificação biométrica. Descobrir novas fontes biométricas de dados para alimentar os sistemas também tem grande importância, uma vez que mudar a fonte biométrica ou integrar várias delas pode ajudar a resolver problemas como o uso de máscaras ou disfarces, ou ainda problemas de iluminação ambiente.

Assim, pode-se concluir que a pesquisa nas áreas de métodos, tecnologias e fontes de biometria são extremamente importantes para que se possa construir um sistema confiável, rápido

e eficiente de maneira a agir preventiva e não mais corretivamente.

1.2 Reconhecimento Biométrico

A identificação de indivíduos por parâmetros biométricos têm obtido grande interesse por parte dos pesquisadores. Muitos deles têm focado sua atenção em parâmetros biométricos como padrões da íris, da retina, impressões digitais, geometria da mão e voz. O trabalho de [4] traz alguns aspectos dos métodos citados, como o reconhecimento de voz sendo a forma menos confiável de reconhecimento, por apresentar a maior probabilidade de erro, por causa de ruídos externos à fonte. Traz também a impressão digital como sendo o método de menor custo de implementação junto com o reconhecimento de voz, porém a digital sendo uma fonte mais segura. Apresenta a técnica da identificação pela geometria da mão como sendo um teste que realiza uma análise tridimensional do comprimento e largura da mão e a identificação pela retina como sendo uma das fontes biométricas mais seguras, mesmo que a pessoa apresente doenças graves, pois o padrão de veias da retina é a característica com maior garantia de singularidade. A íris também é apresentada como uma técnica bastante segura exigindo apenas a utilização de um *scanner* para a realização do mapeamento da íris.

Outros métodos de identificação têm surgido como a identificação utilizando imagens paradas e vídeos enfocando o espectro visível. O estudo desses métodos têm crescido nos últimos 30 anos [5]. Dentre as formas de identificação utilizando imagens temos a identificação pela geometria da face, pela maneira de andar, etc.

A utilização do espectro invisível tem se mostrado possível e alguns pesquisadores já trabalham nesta linha [6] [7] [8] [9].

O reconhecimento da expressão facial utilizando imagens térmicas abordado em [7], mostra um método de detecção da distribuição de temperatura da face usando o infravermelho. Neste trabalho são verificadas as diferentes expressões faciais e as diferenças de temperaturas provocadas. Em [8] o trabalho baseia-se na identificação da face utilizando imagens térmicas. O método é baseado em imagens infravermelhas bidimensionais e verifica a distribuição da temperatura na face. Os valores de contorno da face formado pelo infravermelho são utilizados para uma classificação supervisionada utilizando redes neurais. Já em [6] o autor compara algumas técnicas de utilização da imagem no espectro visível e no infravermelho, trazendo vantagens e desvantagens de ambos, mostrando por fim a fusão dos dois sistemas no processo de reconhecimento. Em [9], o autor traz a utilização da imagem infravermelha para analisar padrões de ansiedade em indivíduos. Ao invés de focar o trabalho em *quem é o indivíduo*, foca o trabalho em *o que o indivíduo está fazendo*.

1.3 Reconhecimento Facial: Espectro Visível x Espectro Invisível

O espectro visível para o reconhecimento facial tem alcançado algum sucesso prático desde que começou a ser estudado[5], além disso os recursos para a aquisição de imagem no espectro visível têm valores significativamente mais baixos que o equipamento para capturar imagens térmicas (espectro invisível), que facilita a tomada de decisão por estudar o reconhecimento facial através do uso do espectro visível. Porém existem algumas limitações, como por exemplo, a necessidade de se controlar a luminosidade do ambiente. Pequenas variações na luminosidade direta, e mesmo na luminosidade indireta (aquela que é produzida pelo reflexo da luz em outros objetos que compõem a cena) mudam as características da face [5].

1.4 Objetivo

O objetivo deste trabalho é estudar os padrões térmicos faciais de diversos voluntários com o intuito de verificar se estes padrões se repetem para cada indivíduo. Além disso, objetiva-se analisar se estes padrões diferem de um indivíduo para o outro.

Eventualmente os resultados deste estudo podem proporcionar várias aplicações, desde aquelas relacionadas ao comportamento como ansiedade e raiva, até uma possível identificação individual.

1.5 Visão sumária dos capítulos

No Capítulo 2 são discutidos os mecanismos de regulação de temperatura corporal e são mostrados alguns fatores externos que influenciam na temperatura corporal. Também é tratada a vascularização da face humana.

No Capítulo 3 são introduzidos os métodos estatísticos que foram utilizados neste trabalho. Também neste capítulo há um tratamento mais aprofundado de algumas técnicas relevantes a este trabalho como a Análise de Variância de Fator Simples e o método não paramétrico de Kruskal-Wallis.

O Capítulo 4 trata dos conceitos gerais da termometria óptica, necessária para a visão macro do trabalho proposto.

O Capítulo 5 aborda a metodologia aplicada a este trabalho para a coleta dos dados e apresenta a ambientação utilizada para a coleta.

No Capítulo 6 são apresentados e discutidos os resultados obtidos através do uso dos testes estatísticos mostrados no capítulo 3.

O Capítulo 7 apresenta as conclusões sobre o trabalho proposto e analisa seus objetivos.

Finalmente o Capítulo 8 aborda sugestões de trabalhos futuros que poderão dar continuidade ao desenvolvimento deste trabalho.

Os apêndices trazem os perfis de temperatura dos voluntários, assim como os sitios de internet visitados que ajudaram na elaboração deste trabalho.

Capítulo 2

Fisiologia

2.1 Introdução

As aves e os mamíferos são animais *homeotérmicos*, ou seja, animais que possuem mecanismos para manter a temperatura corporal relativamente constante [2]. Como parte deste grupo, o homem tem um valor constante de temperatura corporal central (medida no reto) de aproximadamente $37,2^{\circ}\text{C}$ [10]. Porém, o corpo humano como um todo, varia sua temperatura. Assim, suas extremidades são geralmente mais frias do que o resto do corpo.

2.2 Produção e Perda de Calor

2.2.1 Produção de Calor

Uma grande quantidade de reações químicas básicas contribuem para a produção contínua de calor no corpo humano. A ingestão de alimentos aumenta a produção de calor pela ação dinâmica específica dos alimentos, porém a fonte principal de calor, em uma pessoa saudável, é a contração da musculatura esquelética. O equilíbrio que ocorre entre a produção e a perda de calor determina a temperatura do corpo. A temperatura do corpo é estabelecida dentro de uma determinada faixa, pois a temperatura do corpo comanda a velocidade das reações químicas e os sistemas enzimáticos do organismo funcionam otimamente dentro desta faixa de temperatura. Sendo assim, a função normal do organismo depende de uma temperatura corporal relativamente constante [2].

2.2.2 Perda de Calor

O corpo humano perde calor através da condução, convecção, evaporação e radiação.

- **Condução:** é a troca de calor entre objetos ou substâncias que se encontram em contato físico e que estão em diferentes temperaturas. No corpo humano, a temperatura da pele determina em grande parte o grau de perda ou ganho de calor pelo corpo. Pela variação do fluxo sanguíneo na pele o organismo consegue alterar a quantidade de calor dos tecidos

profundos que atinge a mesma [2]. A variação do fluxo sanguíneo é feita através da vasoconstrição cutânea [10]. Quando os vasos cutâneos são dilatados, o sangue quente flui pela pele, ao passo que quando estão no estado de contração máxima o sangue é mantido na região central do corpo [2].

- Convexão: o movimento do ar é conhecido por convexão. Uma pequena quantidade de convexão quase sempre ocorre ao redor do corpo, devido à tendência do ar adjacente à pele a elevar-se ao ser aquecido [10].
- Evaporação: a evaporação é a passagem do estado líquido para o estado de vapor. Quando a água se evapora da superfície corporal, verifica-se uma perda de calor. A vaporização de 1 grama de água remove cerca de 0,6 Kcal de calor [2]. O organismo controla a perda de calor por evaporação através do suor.
- Radiação: a radiação é a transferência de calor por radiação eletromagnética infravermelha de um objeto para outro a diferente temperatura, sem contato físico. Segundo [10], uma pessoa despida, numa sala com temperatura ambiente normal, perde cerca de 60% (sessenta por cento) da perda total de calor por radiação.

O quadro 2.1 mostra a perda de calor pelo corpo de acordo com [2].

Calor corporal é perdido por:	Porcentagem de calor perdido a 21°C
Radiação e condução	70%
Vaporização do suor	27%
Respiração	2%
Micção e defecação	1%

Tabela 2.1: Perda de calor pelo corpo [2]

2.2.3 Vascularização Facial

Um dos mecanismos utilizados pelo corpo humano para regulação da temperatura corporal é a vasoconstrição. Na face não é diferente, o sistema corporal usa a vasoconstrição dos capilares para regular a temperatura da face.

A rede capilar é composta por vários tipos de vasos como: arteríolas, metarteríolas, capilares e vênulas [11].

As arteríolas são ramificações vasculares de maior diâmetro. Em suas paredes existe uma forte camada de músculos liso. Nas arteríolas a circulação é muito ativa. As metarteríolas destacam-se das arteríolas e se ramificam em capilares. Assim como as arteríolas, as metarteríolas possuem uma camada de músculo liso e apresentam contrações rítmicas. As metarteríolas também podem ser designadas como capilares artério-venosos porque estabelecem a comunicação entre arteríolas e vênulas. Os capilares verdadeiros são alças que se originam das arteríolas e das metarteríolas. Não possuem fibras musculares e sua estrutura é reduzida a uma camada

de células endoteliais. A presença de esfíncteres na metarteríola no local onde o capilar se destaca, permite a a entrada, saída ou supressão do sangue para os capilares. Estes esfíncteres funcionam apenas em duas posições: totalmente abertos ou totalmente fechados. As vênulas são as responsáveis pela coleta do sangue provenientes dos capilares e metarteríolas, canalizando-o para as veias de maior calibre, em direção ao coração [11].

Na vascularização profunda da face a principal artéria é a *artéria facial*. Ela surge na parte inferior da mandíbula, em frente ao músculo masseter. A veia facial localiza-se logo atrás da artéria, na parte inferior da mandíbula, e passa para baixo sobre a face superficial da glândula submandibular, juntando-se à jugular interna.

Antes de atingir o ângulo da boca, a artéria facial emite uma artéria labial inferior, que após percorrer medialmente o lábio inferior, se junta com sua equivalente da face oposta. A artéria facial emite também a artéria labial superior para o lábio superior e, a partir daí, sobe ao lado do nariz até o ângulo medial do olho, passando a chamar-se artéria angular [12], como pode ser visto na figura 2.1.

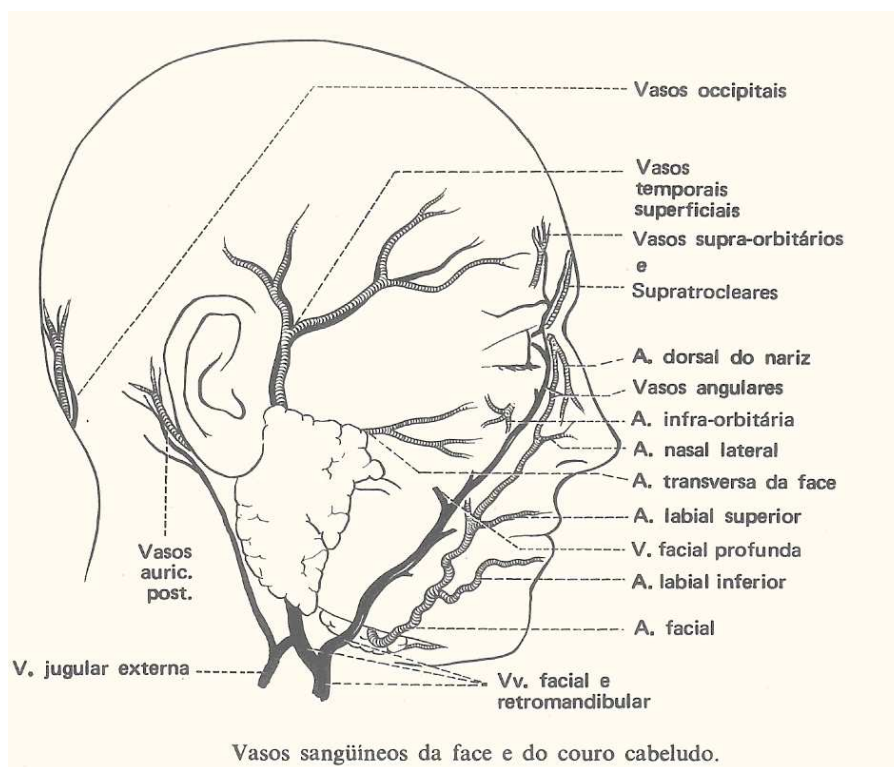


Figura 2.1: Artérias e vasos profundos da face.

2.2.4 Regulação da Temperatura

Assim como a temperatura corporal como um todo, a temperatura da face é regulada por mecanismos de controle nervoso por realimentação. Isto significa que existe um mecanismo sensor que manda um sinal para um controlador que compara com um ponto de ajuste e atua em um mecanismo regulador.

No corpo humano, o sensoramento de calor da superfície da face é realizado pelos receptores

de temperatura da pele, que são receptores tanto ao calor quanto ao frio, que transmitem impulsos nervosos para a medula espinhal. A medula espinhal transmite esta informação de temperatura para o controlador, que é um centro termorregulador localizado no hipotálamo. Os sinais que surgem nos receptores periféricos são processados no mecanismo de controle conhecido como termostato hipotalâmico. Após processados, sinais eferentes finais acionam os mecanismos para perda e ganho de temperatura [2].

Os centros hipotalâmicos que regulam a temperatura são ativados por sinais que vêm de duas fontes:

1. células sensíveis à temperatura no hipotálamo anterior;
2. receptores cutâneos de temperatura, especialmente receptores para o frio.

A evidência atual indica que os estímulos que ativa as defesas contra as altas temperaturas no homem vêm principalmente das células sensíveis à temperatura no hipotálamo [2].

A regulação do fluxo sanguíneo da pele obedece a fatores locais, neurais e hormonais. A simples elevação da temperatura de uma área cutânea provoca imediata vasodilatação e aumento de fluxo pelo plexo venoso superficial [13].

A resposta de produção de calor do corpo ao frio é modificada por interações entre estímulos centrais e cutâneos. A produção de calor aumenta quando a temperatura da cabeça cai abaixo de um certo valor limiar, mas o limiar para a resposta é modificado e sua magnitude diminuída quando a temperatura da pele é aumentada [2].

No estado febril, o corpo humano atua para ajustar o *setpoint* a uma temperatura acima do normal, ou seja, para um ponto acima dos 37° Celsius. Assim, os receptores para temperatura sinalizam que a temperatura vigente está abaixo do novo ponto fixo, e os mecanismos para aumentar a temperatura são ativados. Esta ação provoca uma vasoconstrição cutânea [2].

Drogas como a aspirina atuam como antitérmicos e reduzem a temperatura do corpo em estado febril pela ação no centro regulador de temperatura. Este tipo de droga não tem efeito se a temperatura do corpo estiver normal [14].

Em virtude da dificuldade de medição, não se conhece bem a vazão do sangue, mas estima-se que seja em torno de 500ml/min, em situação de equilíbrio térmico. Este fluxo cutâneo pode se elevar a valores estimados de vazão a uma ordem de 7 a 8 l/min em ambientes extremamente quentes ou em exercícios físicos intensos. Em exercícios físicos primeiramente ocorre uma intensa vasoconstrição cutânea, com a finalidade de desviar o sangue para a musculatura ativa. A medida que o exercício progride, observa-se uma progressiva elevação da temperatura corporal [13]. Medidas feitas em maratonistas mostraram que observa um significativo aumento da temperatura retal (mais de 40° C) e uma importante redução do fluxo sanguíneo cutâneo [15].

A temperatura do corpo não é completamente constante. Ela flutua durante o dia. As máximas temperatura ocorrem normalmente à noite e as mínimas ocorrem normalmente nas primeiras horas da manhã. Na mulheres ainda ocorrem variações devido ao ciclo menstrual. A temperatura na segunda metade do ciclo menstrual é maior que a temperatura na primeira metade. A temperatura corporal também eleva-se após o banho [14].

Mecanismo de decréscimo de temperatura quando o corpo está muito quente [16]:

Existem três importantes mecanismos para reduzir o aquecimento do corpo:

1. Vasodilatação. Os vasos sanguíneos da pele dilatam-se para facilitar a troca de calor do corpo com o ambiente;
2. Sudorese. Quando o corpo atinge a temperatura crítica de 37°C , começa o processo de liberação de suor. A cada 1°C de incremento na temperatura corporal causa suor suficiente para remover 10 vezes a produção de temperatura corporal;
3. Decréscimo na produção de calor. Os mecanismos corporais que causam um excesso de calor são inibidos.

Mecanismos de aumento de temperatura quando o corpo está muito frio [16]:

Quando o corpo está muito frio o sistema de controle faz exatamente o oposto aos procedimentos anteriores:

1. Vasoconstrição. Os vasos sanguíneos reduzem a quantidade de sangue que circula na pele, dificultando a troca de calor com o ambiente;
2. Piloereção. É a horripilação dos pêlos do corpo pela contração dos músculos que circundam os folículos capilares;
3. Acréscimo na produção de calor. Há a ativação dos sistemas metabólicos para a produção de calor.

2.3 Conclusão

A temperatura da face, assim como em todo o organismo, é regulada através de um sistema de realimentação, que envolve todos os receptores de temperatura, o hipotálamo e os mecanismos de regulação, como a vasoconstrição. Esta temperatura pode variar devido a diversos fatores, entre eles o estado de saúde, as condições emocionais e, até mesmo, a ingestão de algumas substâncias.

Capítulo 3

Métodos Estatísticos

3.1 Introdução

Este capítulo introduz o conceito de estatística multivariada, e de inferência estatística. Os métodos de inferência estatística são utilizados neste trabalho por ser possível a formulação de testes de hipóteses que sirvam para comparar os grupos estudados.

Dentre os métodos de inferência estatística, este capítulo descreve a Análise de Variância (ANOVA) paramétrica e não paramétrica, descreve também o teste de verificação da hipótese de normalidade de Kolmogorov-Smirnov, traz a descrição da geração do teste de multicomparação, o gráfico *Box-Plot* e a descrição de técnicas aglomerativas com a formação do Dendrograma.

3.2 Estatística Multivariada

Estatística multivariada implica em métodos estatísticos aplicados a estudos onde muitas variáveis são medidas simultaneamente formando um vetor amostral. De acordo com [17], apesar da estatística multivariada estar relacionada com trabalhos das áreas de Psicologia, Ciências Sociais e Biológicas, seu uso têm sido verificado recentemente em trabalhos de engenharia.

A estatística multivariada é dividida em dois grupos [17]:

1. Técnicas exploratórias de sintetização da estrutura de variabilidade dos dados;
2. Técnicas de inferência estatística.

A estatística multivariada neste trabalho é utilizada para facilitar a interpretação de dados, comparando populações e validando suposições através de testes de hipóteses.

3.3 Métodos de Inferência Estatística

Alguns métodos de inferência estatística são úteis na comparação de grupos em relação às médias de várias variáveis medidas conjuntamente [17].

Para este trabalho, o principal método utilizado é o da Análise de Variância, por muitas vezes também chamado de ANOVA.

A Análise de Variância é dividida em métodos paramétricos e não paramétricos.

3.3.1 Análise de Variância - Método Paramétrico

A Análise de Variância é uma área da estatística que propõe analisar se um conjunto de dados de um grupo têm médias comuns, ou seja, determinar se os grupos são iguais ou diferentes em uma medida característica [18] [19] [20].

Se existe apenas uma característica a ser analisada no conjunto de dados, a Análise de Variância é dita, Análise de Variância de Fator Simples. Caso sejam analisadas duas características no conjunto de dados chamamos de Análise de Variância de Duplo Fator, e caso sejam analisadas muitas características provenientes do mesmo grupo de dados, chamamos de Análise de Variância Multipla ou em inglês MANOVA.

Primeiramente é descrita a Análise de Variância de Fator Simples, que será chamada simplesmente de Análise de Variância ou ANOVA.

A ANOVA é um caso de modelo linear [21] e sua forma é a seguinte:

$$y_{ij} = \alpha_{.j} + \epsilon_{ij} \quad (3.1)$$

Onde:

- y_{ij} é a matriz de observações na qual cada coluna representa um grupo diferente;
- $\alpha_{.j}$ é a matriz na qual as colunas são grupos de médias. A notação ponto jota significa que α é aplicada a todas as linhas da coluna jota.
- ϵ_{ij} é a matriz de distúrbios randômicos.

O modelo assume que as colunas de y são constantes mais um distúrbio randômico [1].

A Análise de Variância testa a hipótese nula:

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k$$

Onde k é o número de colunas por grupo. Ou seja, verifica se as amostras vêm de uma mesmo grupo. Hipótese nula é a suposição tomada como verdadeira para o teste.

Caso o teste rejeite a hipótese nula, diz-se que ela aceita a hipótese alternativa:

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \dots \neq \mu_k$$

Para o cálculo da tabela da Análise de Variância, vamos assumir o seguinte:

- X_{ij} : refere-se ao elemento j da amostra (coluna) i do grupo (matriz) X ;
- \bar{X}_i : refere-se à média do grupo i ;
- \bar{X} : refere-se à média de todos os grupos.

Primeiro são calculados os erros da soma quadrática [3],

$$SS_{erro} = \sum_{i=1}^k \left[\sum_{j=1}^{n_i} (X_{ij} - \bar{X}_i)^2 \right] \quad (3.2)$$

e os graus de liberdade do erro de todos os grupos,

$$DF_{erro} = \sum_{i=1}^k (n_i - 1) = N - k \quad (3.3)$$

A quantidade de variabilidade entre k grupos é importante e pode ser descrita como a soma quadrática dos grupos,

$$SS = \sum_{i=1}^k n_i (\bar{X}_i - \bar{X})^2 \quad (3.4)$$

e grau de liberdade dos grupos,

$$DF = k - 1 \quad (3.5)$$

Deve-se também considerar a variabilidade presente em todos os dados,

$$SS_{total} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (X_{ij} - \bar{X})^2 \quad (3.6)$$

e

$$DF_{total} = N - 1 \quad (3.7)$$

A soma quadrática total pode ser calculada prontamente pela fórmula:

$$SS_{total} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} X_{ij}^2 - C \quad (3.8)$$

onde,

$$C = \frac{(\sum \sum X_{ij})^2}{N} \quad (3.9)$$

é o termo de correção.

A fórmula para a soma quadrática dos grupos é:

$$SS = \sum_{i=1}^k \frac{(\sum_{j=1}^{n_i} X_{ij})^2}{n_i} - C \quad (3.10)$$

onde o termo elevado ao quadrado é a soma de n_i dados do grupo i.

O erro da soma quadrática pode ser calculado como,

$$SS_{erro} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} X_{ij}^2 - \sum_{i=1}^k \frac{(\sum_{j=1}^{n_i} X_{ij})^2}{n_i} \quad (3.11)$$

Assim, o erro da soma quadrática e o erro dos graus de liberdade podem também ser dados,

respectivamente, por:

$$SS_{erro} = SS_{total} - SS \quad (3.12)$$

$$DF_{erro} = DF_{total} - DF \quad (3.13)$$

Dividindo SS ou o erro SS pelos respectivos graus de liberdade resultam na variância, ou em termos de Análise de Variância como média quadrática(MS). Assim,

$$MS = \frac{SS}{DF} \quad (3.14)$$

e

$$MS_{erro} = \frac{SS_{erro}}{DF_{erro}} \quad (3.15)$$

A tabela 3.1 mostra a construção de uma tabela de Análise de Variância.

Fonte de variação	Soma dos quadrados(SS)	Graus de liberdade(DF)	Média quadrada(MS)
Total $[X_{ij} - \bar{X}]$	$\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} X_{ij}^2 - C$	$N - 1$	
Entre grupos $[\bar{X}_i - \bar{X}]$	$\sum_{i=1}^k \frac{(\sum_{j=1}^{n_i} X_{ij})^2}{n_i} - C$	$k - 1$	$\frac{SS}{DF}$
Erro $[X_{ij} - \bar{X}_i]$	$SS_{total} - SS$	$DF_{total} - DF$	$\frac{SS_{erro}}{DF_{erro}}$

Tabela 3.1: Construção da tabela de ANOVA [3]

3.3.2 Análise de Variância de Kruskal-Wallis

A Análise de Variância de Kruskal-Wallis é também um teste de verificação da diferença entre grupos, porém é um teste para ser utilizado quando não se têm informações sobre as populações ou quando as k amostras não procedem de uma população normal distribuída ou ainda pode ser aplicado quando a variância da população é heterogênea [3] [20]. O teste de Kruskal-Wallis pode ser usado em qualquer situação onde a Análise de Variância de Fator Simples possa ser usada, porém sem o pesquisador ter que se preocupar com a distribuição da população. Ou seja, a Análise de Variâncis de Kruskal-Wallis é o método não paramétrico equivalente ao método paramétrico da Análise de Variância de Fator Simples [22].

O teste estatístico de Kruskal-Wallis, H, é calculado da seguinte maneira:

$$H = \frac{12}{N(N+1)} \sum_{i=1}^k \frac{R_i^2}{n_i} - 3(N+1), \quad (3.16)$$

onde n_i é o número de observações no grupo i, $N = \sum_{i=1}^k n_i$ é o número total de observações em todos os k grupos e R_i é a soma das n_i observações no grupo i.

Outra maneira de se calcular H é:

$$H = \frac{SS}{MS}, \quad (3.17)$$

Onde SS é a soma dos quadrados e MS é a Média Quadrática.

Esta segunda maneira de se calcular H , produz uma tabela semelhante à tabela de ANOVA de fator simples, como pode ser visto na figura 3.1.

Tabela Kruskal-Wallis ANOVA					
Source	SS	df	MS	Chi-sq	Prob>Chi-sq
Columns	10337.2	4	2584.3	5.48	0.2414
Error	270700.8	145	1866.9		
Total	281038	149			

Figura 3.1: Exemplo de Tabela de Análise de Kruskal-Wallis

A análise da tabela da figura 3.1 pode ser feita da seguinte maneira:

Utiliza-se o resultado da divisão de MS entre grupos por MS do erro e obtem-se o fator crítico F_c . Depois consulta-se a tabela Chi quadrada (Chi-sq) que pode ser encontrada em [3]. O grau de liberdade para o exemplo da figura 3.1 é de quatro (número de amostras menos um). Com estes dois dados, F_c e grau de liberdade, encontra-se o p-valor que é comparado com o p-valor definido para este exemplo, que foi de 5%. Se o valor encontrado for maior que 5%, a hipótese nula é aceita, caso seja menor, a hipótese nula é rejeitada.

3.4 Teste de Kolmogorov-Smirnov

O teste de Kolmogorov-Smirnov compara os valores de um vetor de dados com uma distribuição normal padrão que tem média zero e variância 1 [1]. A hipótese nula deste teste é que o vetor de dados tem uma distribuição normal.

A descrição completa sobre a metodologia do teste de Kolmogorov-Smirnov e sua matemática podem ser encontradas em [1] e [3].

3.5 Box-Plot

Gráficos *Box-Plot* são gráficos para descrever dados amostrais. São úteis para a comparação de medianas de várias amostras. A figura 3.2 mostra um gráfico *Box-Plot* com seus elementos.

Os elementos de um gráfico *Box-Plot* são:

- As linhas superiores e inferiores da caixa "Box" designam, respectivamente, o vigésimo quinto e o setuagésimo quinto percentil. A distância entre eles indica a faixa interquartil;
- A linha entre as linhas superior e inferior indica a mediana da amostra.
- As linhas que saem das caixas, tanto acima quanto abaixo, indicam o restante da amostra;
- As cruces que surgem em algumas amostras, são chamadas de *outliers* e indicam que são pontos que distoam da amostra coletada. Provavelmente são erros de medição.

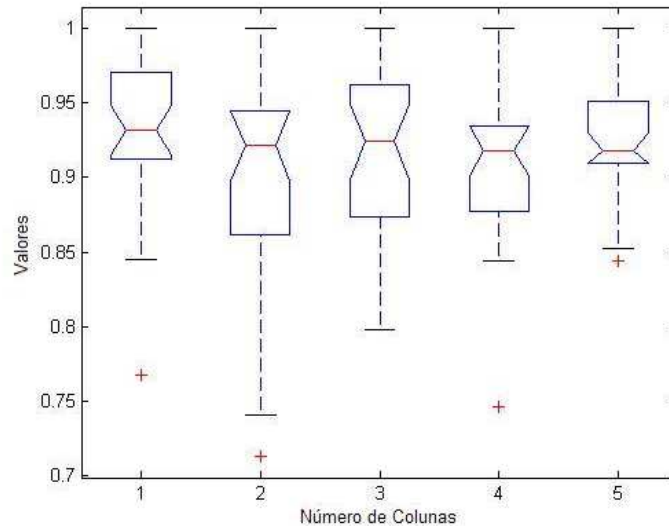


Figura 3.2: Exemplo de Gráfico Box-Plot

3.6 Múltipla Comparação

A rejeição da hipótese nula pela Análise de Variância de Fator Simples ou a rejeição da hipótese nula pela Análise de Variância de Kruskal-Wallis, informa que, pelo menos uma das médias ou um dos grupos têm características diferentes dos demais. Assim, no caso da hipótese nula $H_0 \rightarrow \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k$ ser rejeitada, nada é informado sobre qual grupo foi responsável pela rejeição, ou se todos os grupos são realmente diferentes, uma vez que basta um dos grupos apresentar média diferente para a hipótese nula ser rejeitada. Sendo assim, é necessária a aplicação de outro método estatístico que possa agregar maiores informações à análise do processo.

A múltipla comparação pode ser dividida em paramétrica e não paramétrica e é empregada, subsequentemente e de acordo com o teste estatístico para a hipótese formulada.

O teste da múltipla comparação tem recebido muita atenção dos estatísticos, porém não se chegou a um consenso sobre qual o melhor método a ser empregado para produzir a múltipla comparação. Dentre os procedimentos mais comumente usados estão o critério de Tukey e o de Newman-Keuls. Existem outros critérios que podem ser empregados como o critério de Duncan, o LSD (em inglês, "Least significant difference"), o critério de Scheffé, etc [3].

Neste trabalho foi utilizado o critério de Tukey. Este critério considera a hipótese nula sendo $H_0 \rightarrow \mu_b = \mu_a$ contra a hipótese alternativa $H_1 \rightarrow \mu_b \neq \mu_a$. Pares de grupos são analisados para a comparação. Para k grupos, diferentes combinações de pares podem ser feitas. O número de combinações possíveis pode ser tirado da equação

$$\frac{k(k-1)}{2}. \tag{3.18}$$

Por exemplo, para 5 grupos podemos ter as seguintes combinações de comparações: 5 x 1, 5 x 2, 5 x 4, 5 x 3, 3 x 1, 3 x 2, 3 x 4, 4 x 1, 4 x 2, 2 x 1. Depois de encontradas as combinações possíveis, a diferença entre os pares é calculada:

$$\bar{X}_B - \bar{X}_A. \quad (3.19)$$

Depois, calcula-se o valor q do teste de Tukey pela equação:

$$q = \frac{\bar{X}_B - \bar{X}_A}{SE}, \quad (3.20)$$

onde SE pode ser calculado como:

$$SE = \sqrt{\frac{s^2}{n}}, \quad (3.21)$$

sendo s^2 o erro da média quadrática da Análise de Variância e n o número de dados em cada um dos grupos A e B [3]. Com o valor q consulta-se a tabela de distribuição q onde encontra-se o valor crítico para a comparação. A tabela de distribuição q pode ser encontrado em [3].

O teste de múltipla comparação produz um gráfico que mostra em qual das amostras ocorrem diferenças significantes. Um exemplo de gráfico de multipla comparação pode ser visto na figura 3.3.

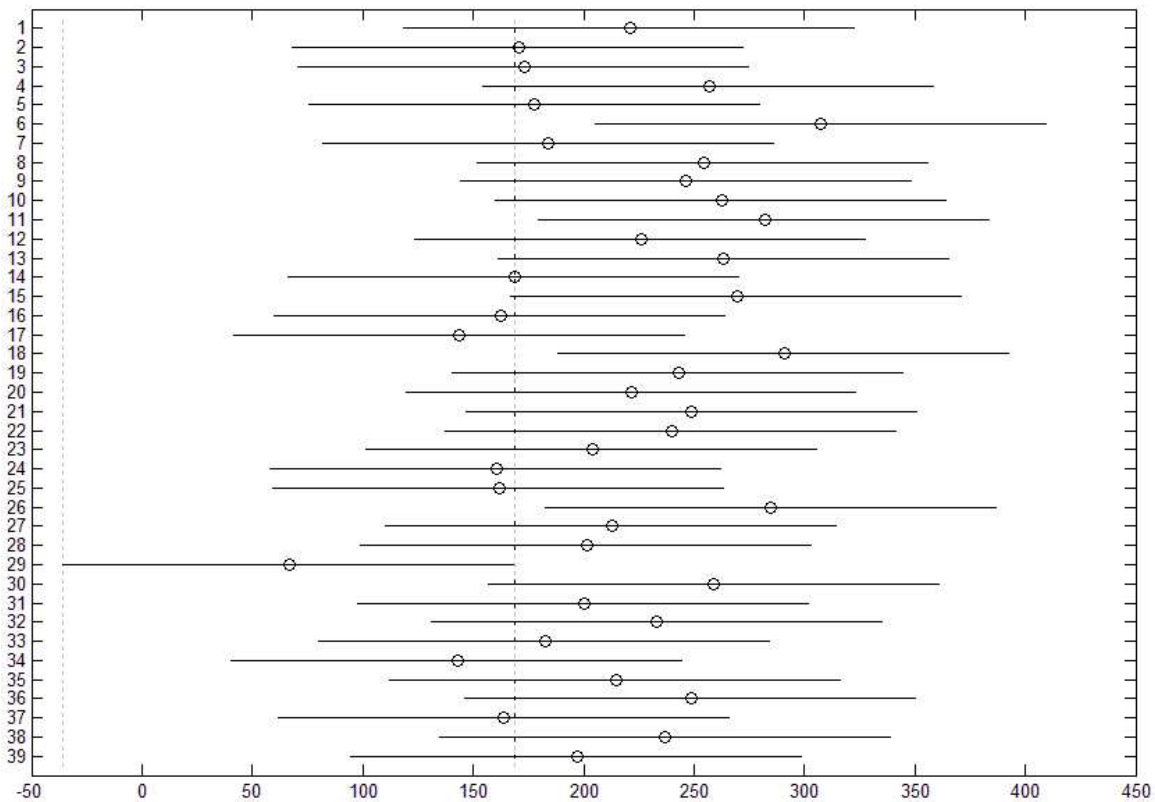


Figura 3.3: Exemplo de Gráfico de Múltipla Comparação. Nível de significância de 5%

No gráfico, cada linha horizontal representa uma amostra diferente, e a posição de cada uma destas barras em relação às outras indica o quão próximas ou separadas estão suas distribuições amostrais.

3.7 Técnicas de Conglomerados e Dendrograma

Existem duas classificações para técnicas de conglomerados:

- técnicas hierárquicas;
- técnicas não-hierárquicas.

As técnicas hierárquicas podem ainda ser divididas em:

- Aglomerativas;
- Divisivas.

As técnicas hierárquicas aglomerativas são utilizadas muitas vezes em análises exploratórias dos dados com a finalidade de identificar possíveis agrupamentos.

Segundo [17], as técnicas hierárquicas aglomerativas partem do princípio de que no início do processo de agrupamento, cada elemento do conjunto de dados observado é considerado um conglomerado isolado. Em cada etapa posterior, os elementos amostrais vão sendo agrupados formando novos conglomerados até o momento no qual todos os elementos considerados estão num único grupo.

Existem vários métodos para a construção de conglomerados, dentre eles temos:

- Ligação Simples
- Ligação Completa
- Média das Distâncias
- Centróide
- Método de Ward

O método de agrupamento hierárquico utilizado neste trabalho foi o de ligação simples ou em inglês "Single Linkage". Neste método, os dois elementos mais parecidos entre si definem a similaridade entre os dois conglomerados. Para definir a similaridade entre dois elementos, é calculada a distância entre eles. Neste trabalho foi utilizada a distância Euclidiana para o cálculo da distância entre "vizinhos" mais próximos.

Em cada estágio do processo de agrupamento, os dois conglomerados que são mais similares com relação à distância são combinados em uma única aglomeração [17].

Para exemplificar, podem-se tomar quatro elementos amostrais: a_1, a_2, a_3, a_4 . Primeiramente é construída uma matriz de distâncias entre os quatro elementos amostrais, onde d_{ixj} significa a distância entre o elemento da coluna i e o elemento da linha j , como abaixo:

$$\begin{matrix} & a_1 & a_2 & a_3 & a_4 \\ \begin{matrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \end{matrix} & \begin{pmatrix} 0 & & & \\ d_{1x2} & 0 & & \\ d_{1x3} & d_{2x3} & 0 & \\ d_{1x4} & d_{2x4} & d_{3x4} & 0 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

Depois observa-se o menor valor encontrado em d_{ixj} . No exemplo será considerado como menor valor o valor de d_{1x2} . Agora monta-se a nova matriz de distâncias, como mostrado na matriz a seguir:

$$\begin{matrix} & (a_{1,2}) & a_3 & a_4 \\ (a_{1,2}) & \left(\begin{array}{ccc} 0 & & \\ d_{1,2x3} & 0 & \\ d_{1,2x4} & d_{2x4} & 0 \end{array} \right) \\ a_3 & & & \\ a_4 & & & \end{matrix}$$

Novamente o observado o menor valor encontrado em d_{ixj} e montada a nova matriz. Segue-se assim até que tenhamos apenas uma linha e uma coluna que representa todos os grupos no mesmo conglomerado.

Devido à propriedade de hierarquia, é possível construir um gráfico chamado de Dendrograma a partir dos valores encontrados nas aglomerações. O Dendrograma é um gráfico que representa a história de um agrupamento e mostra o nível de similaridade em sua escala vertical. Em seu eixo horizontal temos as n amostras, constituindo, cada uma, um grupo isolado. À medida em que se segue a escala vertical, pode ser verificado a união das amostras de acordo com seus graus de similaridade.

Um exemplo de Dendrograma pode ser visto na figura 3.4.

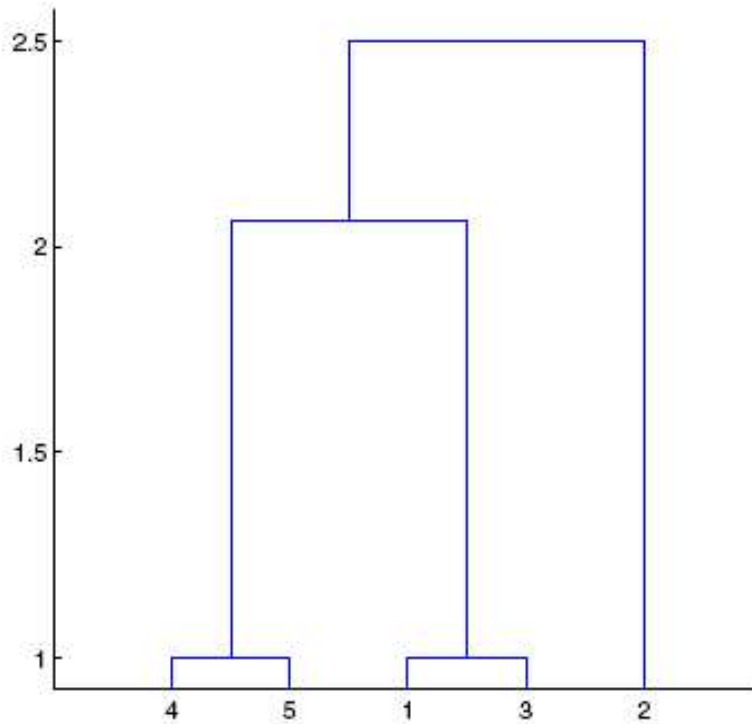


Figura 3.4: Exemplo de Dendrograma [1]

3.8 Conclusão

Este capítulo apresentou uma síntese das técnicas estatísticas utilizadas neste trabalho. Mais informações sobre o emprego das técnicas apresentadas ou sobre o seu conteúdo podem ser encontradas em [17],[1], [23], [24].

Capítulo 4

Termometria Óptica

4.1 Introdução

A medição de temperatura tem uma grande importância para uma infinidade de processos que estão diretamente relacionados à vida das pessoas. Na indústria podemos empregar a medição de temperatura para atingir e controlar a temperatura de cozimento de um determinado produto, detectar temperaturas anormais para fins de manutenção, verificação de perdas de energia, devidas a falhas em isolações térmicas, verificação de anormalidades em processos, pela alteração da distribuição das temperaturas nos equipamentos [25].

Devido à necessidade de medição de temperatura nos mais diversos ambientes, foram criados diversos métodos e dispositivos para esta finalidade. Dentre estes métodos, este trabalho trata da termometria óptica, ou seja, a medição de temperatura através de aparelhos que não necessitam entrar em contato com o objeto alvo da medição. Em especial é tratada a termometria óptica infravermelha, que traz, além da vantagem da não necessidade de contato, a não necessidade de um controle sobre a luminosidade do ambiente.

4.2 Radiação infravermelha

Newton, em 1664, decompôs a luz branca utilizando-se de um prisma e projetando-a sobre uma tela. À luz decomposta foi dada o nome de espectro. O astrônomo inglês William Herschel, em 1880, repetiu a experiência de Newton objetivando descobrir qual das cores do espectro aqueceria mais um bulbo de termômetro. Dentro desta experiência William Herschel percebeu que o bulbo se aquecia mais quando colocado em uma região escura que se estendia além do extremo do vermelho do espectro. A esta radiação foi dada o nome de infravermelho.

O infravermelho está localizado na porção do espectro eletromagnético limitado pelo visível, no lado de menor comprimento de onda e pelas microondas no lado de maior comprimento de onda. A radiação infravermelha tem comprimento de onda localizado entre 1 micrometro e 1000 micrometros.

O infravermelho contempla subdivisões e designações, conforme a tabela 4.1.

Designação	Abreviação	Comprimento de onda (μm)
Infravermelho próximo	NIR	1 - 3
Infravermelho médio	MIR	3 - 6
Infravermelho distante	FIR	6 - 15
Infravermelho extremo	XIR	15 - 1000

Tabela 4.1: Subdivisões do Infravermelho

4.3 Termometria Infravermelha

4.3.1 Radiação Térmica

A transmissão de calor por radiação (radiação térmica) é resultado da energia liberada de oscilações ou transições dos elétrons, átomos, íons ou moléculas mantidos pela energia interna do material [?].

Josef Stefan e Ludwig Boltzman realizaram experimentos que estabeleceram a relação entre a temperatura de um corpo e a energia térmica irradiada. Sua expressão é dada por:

$$W = \epsilon \cdot K \cdot T^4$$

onde:

- W = energia irradiada ou emitida por unidade de área [W/cm^2];
- ϵ = emissividade do corpo;
- K = constante de Estefan-Boltzman e vale $5,6705 \times 10^{-12} W/cm^2 K^4$;
- T = temperatura [K].

4.3.2 Emissividade de um corpo

A emissividade, de acordo com [25], deve ser entendida como a relação entre a energia irradiada pelo corpo, num determinado comprimento de onda, e a energia que seria irradiada por um corpo negro neste comprimento de onda, à mesma temperatura.

$$\epsilon = \frac{W}{W_n}$$

portanto, $0 \leq \epsilon \leq 1$.

A quantidade de energia infravermelha que um objeto irradia depende fortemente da emissividade do material (que é uma característica do material) e de sua temperatura. A emissividade ainda depende das características da superfície do material [26].

A tabela 4.2 apresenta o valor da emissividade de alguns materiais mais comuns, retirados de [26].

Material	Emissividade
Alumínio Oxidado	0,30
Amianto	0,95
Asfalto	0,95
Tijolo	0,90
Concreto	0,95
Vidro	0,85
Gelo	0,98
Ferro Oxidado	0,70
Pele Humana	0,98
Texteis	0,94
Água	0,93
Madeira Natural	0,94

Tabela 4.2: Tabela de Emissividade dos Materiais [23]

A medição de temperatura através do infravermelho, além da emissividade, também sofre a influência da energia refletida pelo mesmo (refletância), e da energia transmitida através dele (transmitância).

Caso o objeto que estiver com sua temperatura sendo analisada localizar-se próximo ou circundado por temperaturas superiores à dele poderá indicar uma temperatura superior à real. Esta medição será menos influenciada caso a emissividade do material seja elevada e a refletância seja baixa.

Os corpos sólidos têm a transmitância praticamente zero. O efeito da transmitância é mais presente em líquidos e gases, pois o aparelho de medição pode captar a temperatura de um objeto mais quente que estiver atrás do objeto alvo [25].

Como foi dito anteriormente, a emissividade é própria de cada material. Porém a emissividade de cada material é comparada a um valor padrão. O valor padrão para a emissividade é aquele apresentado pelo chamado, corpo negro e tem valor 1 (um). Entretanto nenhum objeto real emite a mesma quantidade de energia que um corpo negro emite à mesma temperatura no mesmo comprimento de onda.

4.4 Conclusão

A energia irradiada depende da emissividade do objeto, que é uma característica do mesmo. Através da energia irradiada, pode-se chegar à temperatura do objeto utilizando a equação de Estefan-Boltzman.

A refletância e a transmitância da pele não exercem forte influência sobre a medição de temperatura por infravermelho, como visto, a transmitância é mais presente em líquidos e gases e a energia refletida pela pele tem valores baixos, assim pode-se desconsiderar a iluminação do ambiente onde o indivíduo se encontra para que o mesmo tenha sua temperatura captada por aparelhos de infravermelho.

A pele humana, apesar de suas variações de cores, tem emissividade fixa [7]. Este fato torna

irrelevante a questão da cor da pele para a medição de temperatura.

Capítulo 5

Metodologia

5.1 Introdução

Este trabalho analisa os padrões térmicos faciais de diversos voluntários, empregando-se temperaturas extraídas de diversos pontos ao longo da face de cada indivíduo. O estudo pressupõe que cada indivíduo possui uma distribuição única de temperatura ao longo da face. Embora os principais vasos sanguíneos se localizem em pontos determinados da face de todo ser humano, é possível que o formato da mesma influencie na distribuição da vascularização superficial e por consequência na distribuição térmica, de forma que cada indivíduo seja diferente um do outro.

Os pontos de temperatura são obtidos através da medição infravermelha. A relação entre a temperatura e a emissão infravermelha é baseada na lei de Stefan e Boltzmann [7].

Este capítulo mostra a metodologia utilizada para a coleta dos dados, o ambiente em que os mesmos foram coletados e o método empregado para verificar os padrões térmicos, ou seja, se os dados coletados de um mesmo indivíduo são semelhantes entre si e se diferem entre indivíduos.

5.2 Metodologia para a Coleta dos Dados

A coleta dos pontos foi definida de maneira que fosse explorado o máximo de pontos facilmente visíveis na face. A escolha dos pontos não está relacionada à distribuição dos vasos sanguíneos ou a qualquer outra distribuição de cunho fisiológico. Tratam-se apenas de locais na face de fácil localização na maioria das pessoas. Foram coletados trinta pontos distribuídos pela face de forma a mapear a face, de acordo com o desenho da figura 5.1.

Posteriormente foram feitas análises utilizando-se apenas onze pontos. Quando destas análises a figura 5.2 mostra os pontos utilizados.

Para a coletar os dados de temperatura foi utilizado um termômetro infravermelho *Raytek*, modelo *Phototemp MX6*.

O procedimento para a coleta de temperatura nos voluntários está enumerado abaixo:

- as amostras de cada indivíduo foram tomadas em dias e/ou horas diferentes;

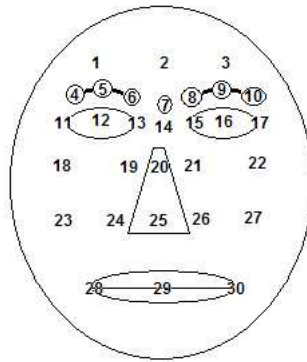


Figura 5.1: Medição utilizando 30 pontos

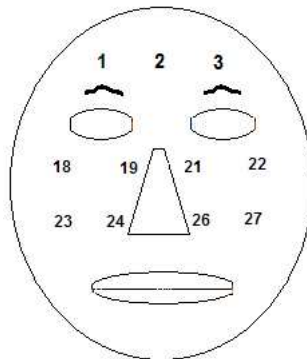


Figura 5.2: Medição utilizando 11 pontos

- cada indivíduo teve pelo menos quatro conjuntos de pontos coletados;
- cada conjunto de trinta pontos foram chamados neste trabalho de amostras;
- para a coleta de cada amostra o indivíduo sentou-se em uma cadeira e permaneceu em repouso por um período de cinco minutos, antes de ser iniciada a coleta;
- a emissividade ϵ do equipamento foi ajustada para 0,98(zero vírgula noventa e oito), mais próximo à pele humana de acordo com [8]. A emissividade é uma característica do material e independe da cor do mesmo;
- a resolução do equipamento é de $0,1^{\circ}C$;
- a exatidão do equipamento é de 0,75%;
- o comprimento de onda é de 8 a $14 \mu m$.

Foi anotada a temperatura ambiente em cada medição realizada nos voluntários.

Os voluntários informaram sobre seu estado de saúde e se tomavam remédios controlados. As informações foram anotadas juntamente com as medições.

5.3 Ambiente de Coleta dos Dados

Os dados foram coletados em ambiente não controlado utilizando um aparelho manual. Este aparelho registra as temperaturas médias dentro de uma determinada região. No caso, com o medidor a 1cm da pele, a região medida é a média dentro da área de um círculo de aproximadamente 2,5cm de diâmetro. Este procedimento foi adequado porque seria muito difícil localizar precisamente os pontos amostrados. Com a média, dentro de uma região vizinha, o erro de qualquer desvio do ponto torna-se menor.

O número de voluntários total foi de trinta e nove voluntários, de ambos os sexos e de várias idades. A média da idade dos voluntários é de 20,6 anos com desvio padrão de 8,61 anos.

As coletas de dados foram feitas de maneira aleatória nos voluntários. Assim, em um mesmo voluntário, foram coletadas amostras em dias e horários diferentes. Cada voluntário teve, pelo menos, quatro amostras coletadas, onde cada amostra contém um vetor com trinta pontos de temperatura. Os voluntários foram submetidos à coleta de dados de maneira alternada, ou seja, o mesmo voluntário nunca teve coleta de temperatura de forma consecutiva.

O número de voluntários do sexo masculino e feminino é apresentado na tabela 4.1:

Sexo	Número de voluntários
Masculino	30
Feminino	9
Total	39

Tabela 5.1: Total de Voluntários

5.4 Análise Estatística

A proposta deste trabalho é mostrar que existe uma igualdade entre amostras tomadas de um mesmo voluntário e diferença entre amostras de voluntários diferentes. Para tentar comprovar as hipóteses levantadas foram utilizadas técnicas de inferência estatística.

Foram realizadas análises para diferentes tipos de grupos e de pontos amostrados. O capítulo 6 apresenta as diferenças entre as análises.

Os métodos estatísticos empregados são os mesmos para todas as análises.

Inicialmente estudou-se a técnica de inferência estatística que normalmente é utilizada para análises, envolvendo características biológicas, com a finalidade de verificar se várias amostras pertencem a um mesmo grupo, a Análise de Variância(ANOVA) [1] [3] [24] [20] [19].

Existem várias técnicas de Análise de Variância, e para determinar qual deveria ser utilizada, foi analisado o tipo de problema a ser estudado e o contexto no qual este problema está inserido.

Para iniciar o estudo, foi aplicado o teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov [1] [22]. O teste de normalidade é utilizado para atender um dos requisitos da Análise de Variância paramétrica, onde todas as amostras devem vir de uma distribuição normal. Todos os vetores da base de dados foram submetidos a este teste, que mostrou uma distribuição não normal dos dados.

O segundo passo foi testar a hipótese levantada neste trabalho para comprovar que amostras do mesmo indivíduo estatisticamente iguais. Sendo assim aplicou-se o teste de Kruskal-Wallis nas amostras de cada voluntário, utilizando as seguintes hipóteses:

- Hipótese nula $H_0 \rightarrow$ O perfil de temperatura da face de um mesmo indivíduo é igual para todas as situações.
- Hipótese alternativa $H_1 \rightarrow$ O perfil de temperatura da face de um mesmo indivíduo não é igual para todas as situações.
- Nível de Significância $\alpha = 5\%$.

Isto significa dizer que, caso o resultado do teste (valor p) seja superior a 0,05 (5%) o perfil de temperatura independe do momento da coleta e todas as amostras vêm da mesma população. Ou seja,

valor $p > \alpha$: hipótese nula aceita.

Para entender o valor $\alpha = 5\%$ deve-se analisar o seguinte caso. Se sabidamente tem-se cinco amostras de um mesmo grupo com médias iguais e aplica-se o nível de significância igual a cinco por cento, a probabilidade de falhar ao rejeitar a hipótese nula é de 95%. Ou seja, se a análise rejeitar a hipótese nula (médias iguais) em um grupo sabidamente igual, existe 95% de chance de a análise estar errada em algum momento.

O valor de 5% foi escolhido para não ter a rigidez de valores menores como 1% e não ser tão flexível com valores maiores, como 10%.

Neste trabalho caso o resultado do teste (valor p) seja inferior a 0,05, pelo menos uma das amostras variou o seu perfil, mostrando provável independência dos perfis de temperatura. Ou seja,

valor $p < \alpha$: hipótese nula rejeitada.

Para cada voluntário gerou-se uma figura da tabela de Análise de Variância (ANOVA) de Kruskal-Wallis semelhante à figura 5.3.

Tabela Kruskal-Wallis ANOVA					
Source	SS	df	MS	Chi-sq	Prob>Chi-sq
Columns	10337.2	4	2584.3	5.48	0.2414
Error	270700.8	145	1866.9		
Total	281038	149			

Figura 5.3: Exemplo de tabela de Análise de Variância

O valor p obtido como resultado do teste aplicado aos trinta e nove voluntários de cada análise é apresentado em tabelas. Cada tabela identifica o voluntário (através de numeração) e

o valor p referente àquele voluntário. Assim, é verificado se cada conjunto de amostras de cada voluntário apresenta igualdade. Se não, deve-se analisar possíveis motivos para tal resultado.

Após a tabela, é apresentado um gráfico tipo *pizza* contendo o percentual de grupos que apresentaram coerência com a proposta deste trabalho, assim como o percentual dos que não apresentaram.

Posteriormente, foram analisadas as semelhanças entre os diversos voluntários. Foi aplicada a Análise de Variância de Kruskal-Wallis em um grupo que continha uma amostra a 25 graus Celsius de temperatura de cada um dos grupos.

Para a obtenção desta amostra à 25 graus Celsius, de cada grupo, foi utilizado o método de regressão para as amostras de cada voluntário. Procedeu-se da seguinte maneira:

1. separam-se os voluntários;
2. de cada voluntário, separadamente, tomam-se os pontos de medição isoladamente. Por exemplo: o voluntário 1 têm 5 (cinco) amostras contendo n pontos. Separa-se o ponto 1 de cada amostra e faz-se a regressão. Deste ponto obtêm-se uma equação de temperatura do ponto em função da temperatura ambiente.
3. aplica-se o valor de temperatura ambiente como 25 graus e obtêm-se a temperatura do ponto;
4. este procedimento é realizado para cada um dos n pontos do voluntário;
5. ao final, temos um perfil de temperatura, tomado ponto a ponto a 25 graus Celsius.

Foi escolhida a regressão exponencial para realizar o trabalho. Outras regressões foram tentadas, como a linear, porém a exponencial melhor representou o grupo de pontos.

A simples Análise de Variância de Kruskal-Wallis para a comparação entre os voluntários traz o problema, onde, se existir apenas um dos voluntários apresentando não concordância com a hipótese formulada, o resultado seria uma falsa afirmação de que todos os voluntários têm perfis de temperatura diferentes.

Para complementar a análise feita, foi utilizada a técnica da multicomparação.

Para finalizar, foi utilizada uma técnica estatística de agrupamento linear de amostras, e o resultado foi colocado graficamente na forma de um Dendrograma.

É de se esperar que, uma vez suposta a similaridade das amostras de um mesmo voluntário e a diversidade das amostras de voluntários diferentes, o Dendrograma apresente aglomerados bem definidos e com distâncias consideráveis entre cada aglomerado.

5.5 Conclusão

Este capítulo abordou a metodologia adotada para a coleta das amostras, o ambiente no qual os dados foram coletados e a metodologia estatística adotada neste trabalho.

Algumas observações tornam-se necessárias com relação às amostras coletadas. O equipamento para a coleta de dados é um equipamento manual e a coleta está sujeita a erros de

manuseio do equipamento. Mais de uma pessoa coletou os dados, sendo assim um mesmo voluntário pode ter dados coletados por pessoas diferentes.

Como o trabalho de coleta de dados foi realizado fora de laboratório não foi possível a climatização do ambiente de coleta.

Capítulo 6

Resultados e Discussão

6.1 Introdução

O objetivo principal deste capítulo é apresentar os resultados e análises dos testes estatísticos empregados neste trabalho, a partir das amostras coletadas. Os testes estatísticos utilizados neste capítulo são: o teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov, o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis, o teste de multicomparação, a regressão exponencial e o teste aglomerativo utilizando Dendrograma [3] [17] [23].

6.2 Objetivos

O objetivo deste trabalho é mostrar que existe uma igualdade entre amostras (perfis de temperatura), tomadas de um mesmo voluntário (também chamado de grupo), em momentos diferentes. Também deseja-se mostrar a separabilidade entre os grupos.

Para tentar comprovar as hipóteses levantadas foram utilizadas técnicas de inferência estatística.

6.2.1 Primeira Análise

Na primeira análise, foram utilizadas todas as amostras de todos os voluntários, incluindo os que relataram alguma variação no estado de saúde. Desta maneira, foram utilizados todos os grupos, todos os vetores de cada grupo e todos os pontos de temperatura coletados da face.

Os dados coletados foram apresentados à função $kstest(X)$ do Matlab [1] que executa o teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov. O teste apresentou a distribuição dos dados como sendo não normal.

Para cada voluntário gerou-se uma figura da tabela de Análise de Variância (ANOVA) de Kruskal-Wallis semelhante à figura 6.1.

O valor p obtido como resultado do teste aplicado aos trinta e nove voluntários é apresentado na tabela 6.1. O percentual de grupos que confirmaram a hipótese nula pode ser vista na figura 6.2.

Tabela Kruskal-Wallis ANOVA					
Source	SS	df	MS	Chi-sq	Prob>Chi-sq
Columns	10337.2	4	2584.3	5.48	0.2414
Error	270700.8	145	1866.9		
Total	281038	149			

Figura 6.1: Exemplo de tabela de Análise de Variância

Voluntário	Valor P da ANOVA	Voluntário	Valor P da ANOVA
1	0,0693	21	0,5637
2	0,4347	22	0,0
3	0,0	23	0,1893
4	0,1036	24	0,2465
5	0,0559	25	0,3117
6	0,8575	26	0,0
7	0,0	27	0,0
8	0,9902	28	0,0
9	0,2335	29	0,0
10	0,1779	30	0,0
11	0,0	31	0,0933
12	0,0	32	0,0
13	0,1068	33	0,0
14	0,0	34	0,0
15	0,1588	35	0,0
16	0,7251	36	0,0
17	0,0	37	0,1492
18	0,0	38	0,0567
19	0,0	39	0,4803
20	0,0		

Tabela 6.1: Resultado do teste de Kruskal-Wallis para cada indivíduo

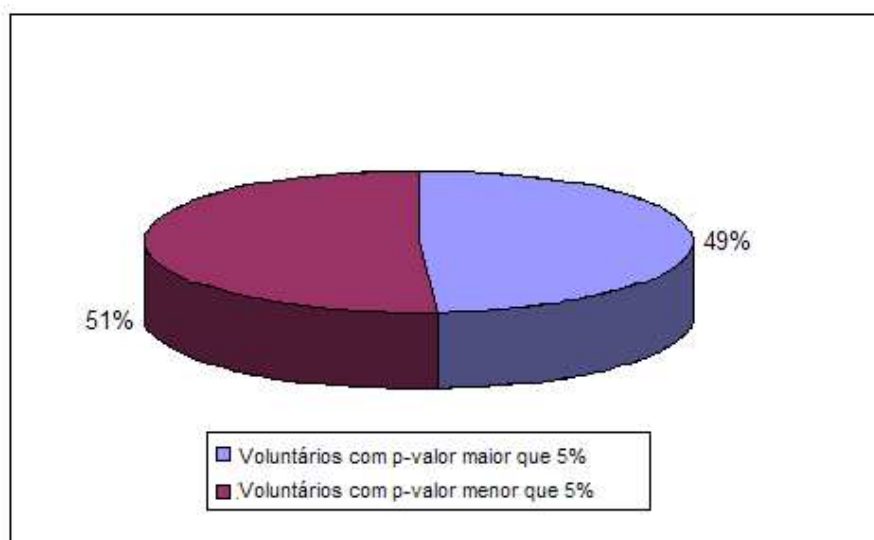


Figura 6.2: Percentual dos grupos que confirmam a hipótese nula. Primeira Análise

Da tabela 6.1 e da figura 6.2, podemos verificar que 49% (quarenta e nove por cento) dos voluntários apresentaram o comportamento desejado para este trabalho. Ou seja, apresentaram o valor p maior que o $\alpha = 5\%$, aceitando a hipótese nula.

Este resultado evidencia que as amostras de apenas quarenta e nove por cento dos voluntários apresentaram similaridade dentro de seus respectivos grupos. Os outros grupos mostraram que os valores de suas amostras, apesar de serem tomadas dentro de seus grupos provavelmente não se correlacionam.

Cinquenta e um por cento dos voluntários apresentaram um comportamento diferente do esperado.

Como a porcentagem de grupos com valor p maior que 5% foi apenas de quarenta e nove por cento, procurou-se outras alternativas que pudessem vir a comprovar a hipótese levantada por este trabalho. Estas alternativas serão apresentadas nas próximas análises.

6.2.2 Segunda Análise

Para a segunda análise, foram retirados os pontos da região dos olhos, os pontos referente ao nariz e os pontos da boca. A região dos olhos poderia ser facilmente encoberta por óculos, o que prejudicaria a identificação. Já para as regiões do nariz e da boca levantou-se a hipótese destes pontos sofrerem influência da respiração do voluntário.

Para esta abordagem foram utilizadas todas as amostras e todos os grupos. A figura 6.3 mostra, novamente, os pontos da face que foram utilizados para o estudo deste caso.

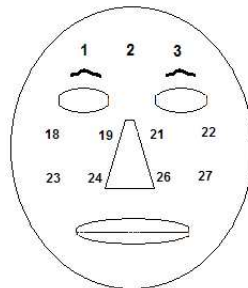


Figura 6.3: Pontos de coleta para a segunda análise

A comparação desejada entre a primeira e a segunda análise é a da influência dos pontos suprimidos na similaridade dos grupos.

O resultado do teste de Análise de Variância de Kruskal-Wallis, aplicado aos trinta e nove grupos é apresentado na tabela 6.2 e na figura 6.4, que mostra o percentual de grupos que atingiu o valor p maior que 5% (cinco por cento), confirmando a hipótese nula.

Conforme mostrado no gráfico da figura 6.4, 72% (setenta e dois por cento) dos grupos apresentaram o resultado desejado. O que mostra uma melhora considerável de 23% (vinte e três por cento) no resultado obtido para o primeiro caso.

Como o número de grupos que apresentaram amostras dentro da hipótese levantada aumentou a um valor razoável, o próximo passo no trabalho foi comparar os grupos (voluntários) entre si para saber se os mesmos apresentavam alguma correlação. Caso os grupos apresentassem

Voluntário	Valor P da ANOVA	Voluntário	Valor P da ANOVA
1	0,2313	21	0,0
2	0,7232	22	0,0594
3	0,0652	23	0,0
4	0,1769	24	0,2429
5	0,0826	25	0,7293
6	0,0782	26	0,3929
7	0,0	27	0,5884
8	0,0	28	0,0
9	0,0	29	0,2564
10	0,6614	30	0,0
11	0,0	31	0,2178
12	0,0	32	0,2642
13	0,0523	33	0,0
14	0,8696	34	0,2364
15	0,4023	35	0,3984
16	0,6695	36	0,0531
17	0,3577	37	0,2187
18	0,2453	38	0,2315
19	0,7321	39	0,239
20	0,0		

Tabela 6.2: Resultado do teste de Kruskal-Wallis para a segunda análise

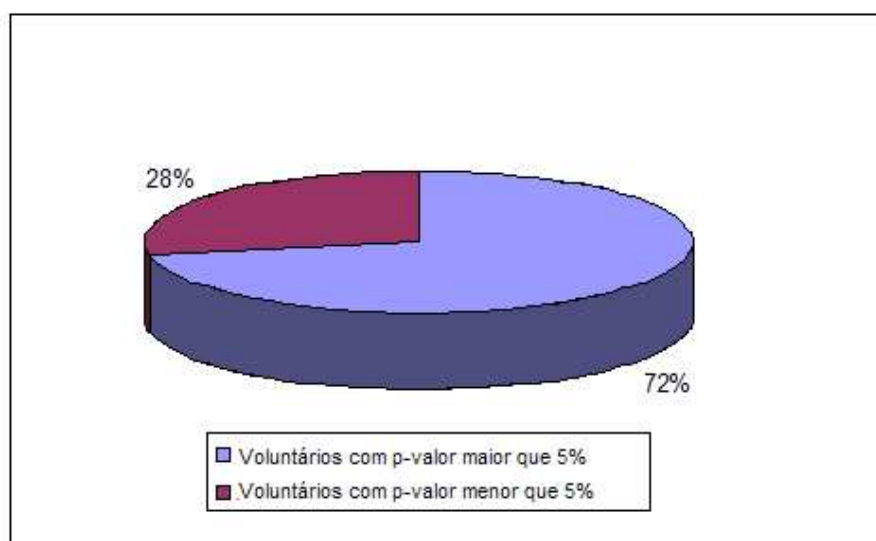


Figura 6.4: Percentual de grupos que confirmam a hipótese nula. Segunda Análise

alguma correlação, indicaria que pessoas diferentes podem apresentar perfis térmicos iguais. De maneira oposta, a não correlação mostraria um indício de que cada indivíduo tem um perfil térmico próprio que o identifica, como se deseja comprovar.

Para esta etapa foi realizada uma regressão linear com as amostras de cada voluntário. Por exemplo, um voluntário tem cinco amostras (vetor de 11 posições), tomou-se o primeiro ponto de cada uma das amostras, realizou-se a regressão e obteve-se uma equação cuja entrada seria a temperatura ambiente e a saída a temperatura do ponto em relação à ambiente. Foi feito o mesmo procedimento para os dez pontos restantes. Ao final foi utilizada a temperatura de 25 graus Celsius como temperatura ambiente e foi obtido um vetor de 11 pontos representando uma amostra tomada a 25 graus Celsius. O procedimento foi repetido para todos os grupos.

Foi aplicada a Análise de Variância de Kruskal-Wallis comparando os trinta e nove grupos usando os vetores da regressão linear. O resultado pode ser visto na figura 6.5 da tabela de ANOVA de Kruskal-Wallis.

Kruskal-Wallis ANOVA					
Source	SS	df	MS	Chi-sq	Prob>Chi-sq
Columns	2.78902e+007	38	733953.2	244.29	0
Error	1.05572e+008	1131	93344.4		
Total	1.33463e+008	1169			

Figura 6.5: Figura da Tabela de Kruskal-Wallis para comparar os 39 grupos

Na aplicação do teste de multicomparação foi gerada a figura 6.6 e o resultado da análise desta figura foi colocado na tabela 6.3.

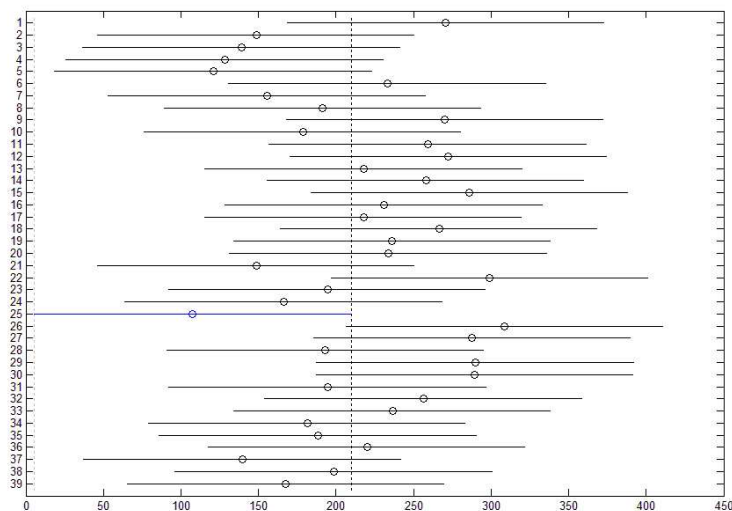


Figura 6.6: Comparação entre de similaridade entre os 39 grupos

A multicomparação é uma maneira visual de se mostrar que existem diferenças entre os grupos. Através da análise do gráfico de multicomparação foi montada a tabela 6.3 na qual

Grupos com médias próximas	n^o de grupos com médias próximas
25	1
5	1
4	1
3 , 37	2
7	1
2 , 21	2
24 , 39	2
10 , 34	2
35	1
8 , 28	2
23 , 31	2
38	1
13 , 17	2
36	1
16	1
19 , 33	2
32	1
6 , 20	2
11 , 14	2
18	1
1 , 9	2
12	1
15	1
27 , 29 , 30	3
22	1
26	1

Tabela 6.3: Tabela contendo os grupos que apresentam médias próximas para a segunda análise

procurou-se mostrar que existem alguns grupos que se apresentam com médias muito próximas e apesar de serem de grupos diferentes, têm características parecidas. Outro ponto importante é que não temos um grupo que apresente todos os pontos totalmente distintos dos outros grupos. O que tornaria difícil afirmar que todos os grupos são totalmente diferentes entre si.

Numa segunda tentativa de mostrar graficamente se os grupos se apresentavam com uma separabilidade visível, foi desenhado o Dendrograma utilizando o Matlab. A figura 6.7 mostra o Dendrograma obtido.

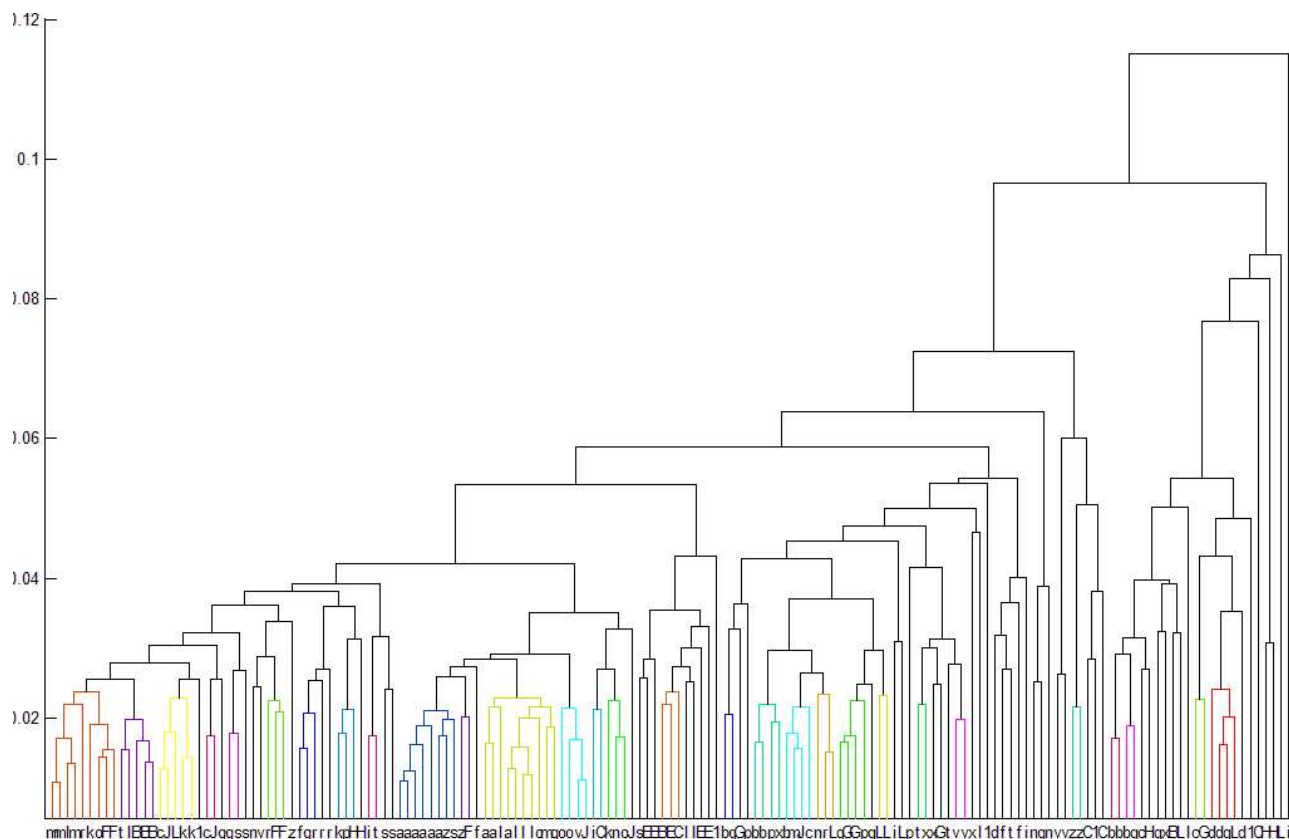


Figura 6.7: Dendrograma para 39 grupos utilizando 11 pontos

Conforme pode ser visto na figura 6.7, não temos uma linha horizontal que possa claramente separar os trinta e nove grupos.

A análise da Multicomparação e do Dendrograma confirmam que alguns grupos mostram alguma separabilidade e que outros grupos se mostram muito próximos entre si, não sendo possível a aplicação destes métodos para a separação dos mesmos neste caso.

6.2.3 Terceira Análise

Para esta análise foram retirados todos os voluntários que relataram algum problema de saúde. Também para esta análise foram utilizados todos os trinta pontos da face coletados, ou seja, foram incluídas a região dos olhos, do nariz e da boca.

Esta análise foi proposta para que fosse verificada a influência dos voluntários que relataram algum problema de saúde, e se estes problemas afetariam os resultados finais.

Os testes estatísticos aplicados foram os mesmos das análises anteriores e o resultado do teste de Kruskal-Wallis aplicado pode ser visto na tabela 6.4 e na figura 6.8.

Voluntário	Valor P da ANOVA	Voluntário	Valor P da ANOVA
1	0,0693	21	0,0
2	0,4347	22	0,0
3	0,0	23	0,0933
4	0,1036	24	0,0
5	0,8575	25	0,0
6	0,0	26	0,0
7	0,9902	27	0,0
8	0,2335	28	0,0
9	0,1779	29	0,1492
10	0,1068	30	0,0567
11	0,1588	31	0,4803
12	0,7251		
13	0,0		
14	0,0		
15	0,0		
16	0,0		
17	0,5637		
18	0,1893		
19	0,0		
20	0,0		

Tabela 6.4: Resultado do teste de Kruskal-Wallis para a terceira análise



Figura 6.8: Percentual de grupos que confirmam a hipótese nula. Terceira Análise

Realizando o teste apenas com os voluntários que não relataram nenhum sintoma de doença e analisando a figura 6.8 pôde-se verificar que o percentual de voluntários que apresentou uma confirmação da hipótese nula foi de apenas 52% (cinquenta e dois por cento). Mais uma vez, a utilização de todos os pontos da face levaram a um baixo valor percentual de grupos que confirmam a hipótese nula.

Como o resultado apresentado foi baixo, passou-se para a análise utilizando apenas os pontos utilizados na segunda análise.

6.2.4 Quarta Análise

Para a quarta análise foram utilizadas apenas as amostras de voluntários que não relataram doenças e foram utilizados apenas os pontos que estão fora da região dos olhos, do nariz e da boca. Os motivos são os mesmos apresentados na segunda análise.

A tabela 6.5 apresenta os valores da Análise de Variância de Kruskal-Wallis para a situação proposta nesta quarta análise e a figura 6.9 mostra o percentual de grupos com valor p maior que 5% (cinco por cento).

Voluntário	Valor P da ANOVA	Voluntário	Valor P da ANOVA
1	0,2313	21	0,0
2	0,7232	22	0,2564
3	0,0652	23	0,0
4	0,1769	24	0,2178
5	0,0	25	0,2642
6	0,0	26	0,0
7	0,6614	27	0,2364
8	0,0	28	0,3984
9	0,0	29	0,0531
10	0,0523	30	0,2187
11	0,8696	31	0,239
12	0,4023		
13	0,3577		
14	0,0		
15	0,0594		
16	0,0		
17	0,2429		
18	0,7293		
19	0,3929		
20	0,5884		

Tabela 6.5: Resultado do teste de Kruskal-Wallis para a quarta análise

A figura 6.9 mostra que 71% (setenta e um por cento) dos casos confirmam a hipótese formulada para este trabalho. Houve um aumento de 19% (dezenove por cento) em relação ao terceiro caso na confirmação da hipótese deste trabalho. O resultado foi semelhante ao obtido pelo segundo caso.

Para esta análise também foram utilizados os vetores obtidos pela regressão linear. Estes vetores foram aplicados na ANOVA de Kruskal-Wallis e o P-valor obtido foi abaixo de 5%. A figura 6.10 mostra a figura da tabela de Kruskal-Wallis e o valor p obtido foi de 0,0037.

A figura 6.11 mostra a multicomparação para a quarta análise e a tabela 6.6 apresenta a análise para a multicomparação.

O Dendrograma para este caso pode ser visto na figura 6.12.

O Dendrograma da figura 6.12 mostra que ainda não é possível realizar uma separação clara entre os grupos. Mais uma vez, a interpenetração entre os grupos dificulta a utilização de uma metodologia de aglomeração linear.

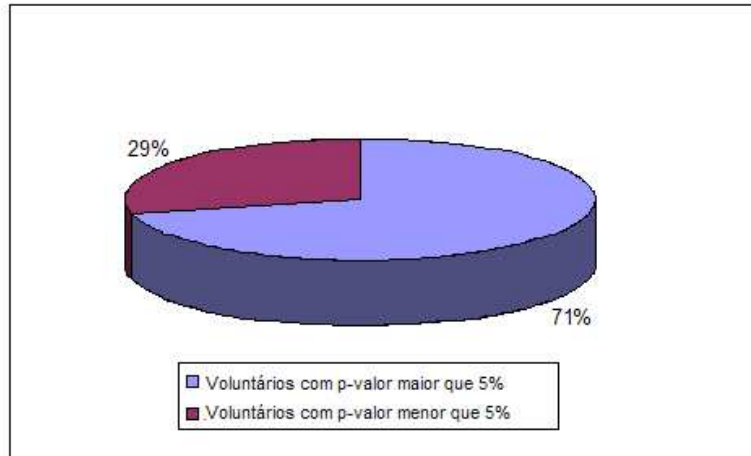


Figura 6.9: Percentual de grupos que confirmam a hipótese nula - Quarta Análise

Kruskal-Wallis ANOVA					
Source	SS	df	MS	Chi-sq	Prob>Chi-sq
Columns	532928.4	30	17764.3	54.88	0.0037
Error	2768880.1	310	8931.9		
Total	3301808.5	340			

Figura 6.10: Figura da tabela de Kruskal-Wallis para grupos saudáveis

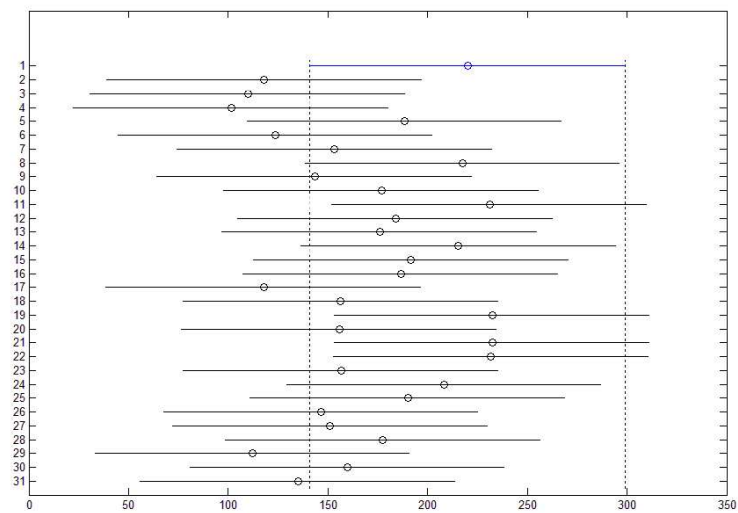


Figura 6.11: Multiplacomparação dos 31 grupos para a quarta análise

Grupos com médias próximas	n° de grupos com médias próximas
4	1
3	1
29	1
2 , 17	2
6	1
31	1
9	1
26	1
27	1
7	1
18 , 20 , 23	3
30	1
10 , 13 , 28	3
12	1
16	1
5	1
24	1
15 , 25	2
14	1
11 , 19 , 21 , 22	3
8	1
1	1

Tabela 6.6: Tabela contendo os grupos que apresentam médias próximas para a quarta análise

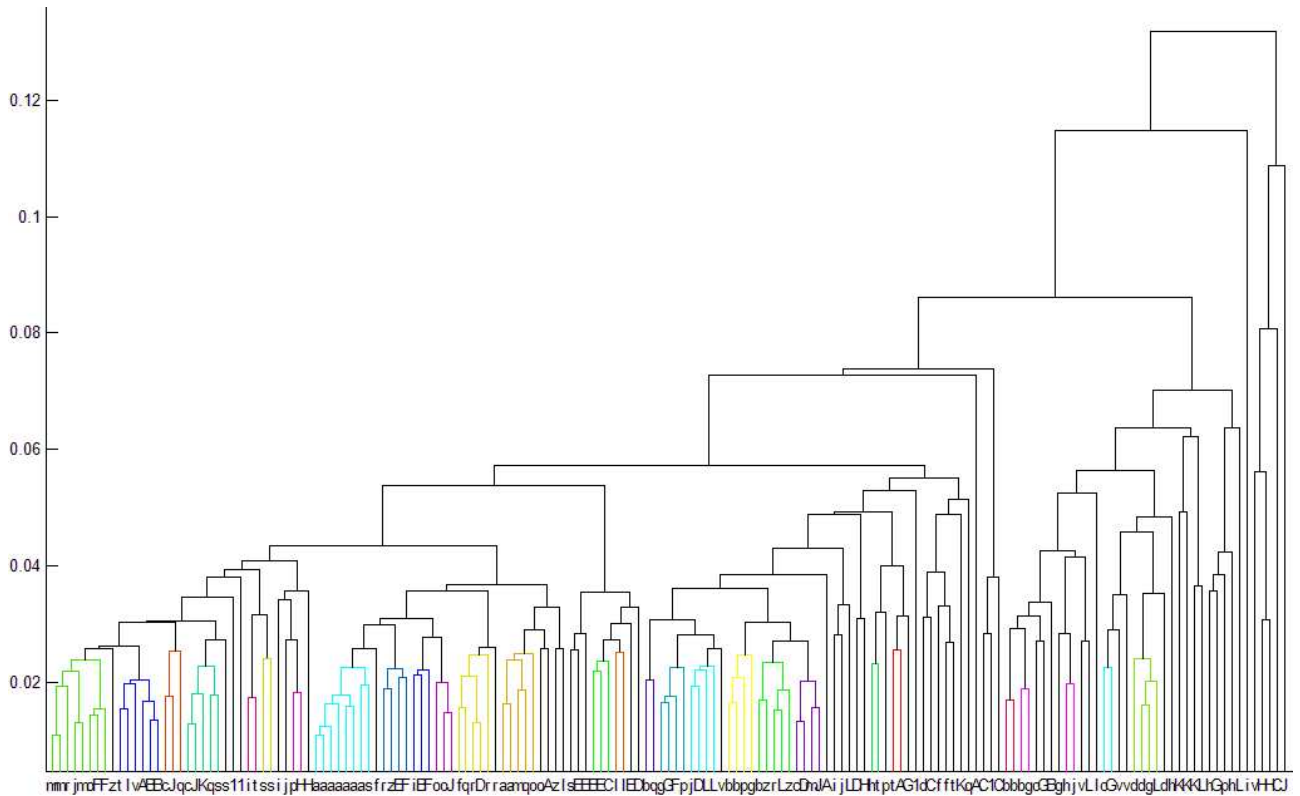


Figura 6.12: Dendrograma para a Quarta Análise

6.2.5 Quinta Análise

Foi levantada a hipótese de que o período de ovulação das mulheres pudesse interferir na temperatura da face, ou seja, que uma amostra de temperatura tomada fora do período de ovulação tivesse um perfil diferente da amostra tomada no período de ovulação.

O período de ovulação não foi um dado relatado no momento da coleta das amostras. Sendo assim, foram retirados os grupos formados apenas por voluntárias. Desta maneira, para esta análise foram levados em conta apenas os grupos formados pelos voluntários do sexo masculino.

Todos os trinta pontos foram utilizados, ou seja, foram incluídos os pontos das regiões dos olhos, nariz e boca.

A tabela 6.7 apresenta os valores da Análise de Variância de Kruskal-Wallis para a situação proposta nesta quinta análise.

O gráfico pizza da figura 6.13 mostra o percentual de grupos com valor p maior que 5% (cinco por cento).

Voluntário	Valor P da ANOVA	Voluntário	Valor P da ANOVA
1	0,0693	21	0,0
2	0,4347	22	0,0
3	0,0	23	0,0933
4	0,1036	24	0,0
5	0,8575	25	0,0
6	0,0	26	0,0
7	0,2335	27	0,0
8	0,0	28	0,0
9	0,0	29	0,0567
10	0,1068	30	0,4803
11	0,0		
12	0,1588		
13	0,7251		
14	0,0		
15	0,0		
16	0,0		
17	0,0		
18	0,0		
19	0,2465		
20	0,0		

Tabela 6.7: Resultado do teste de Kruskal-Wallis para a quinta análise

Como pode ser percebido, esta situação apresenta apenas 40% dos grupos confirmando a hipótese levantada para este trabalho.

Como o percentual de grupos que apresentam a confirmação da hipótese deste trabalho foi muito baixa, foi realizada uma nova análise que será apresentada na seção seguinte.

A próxima análise abordará a mesma situação, porém sem a região dos olhos, nariz e boca.

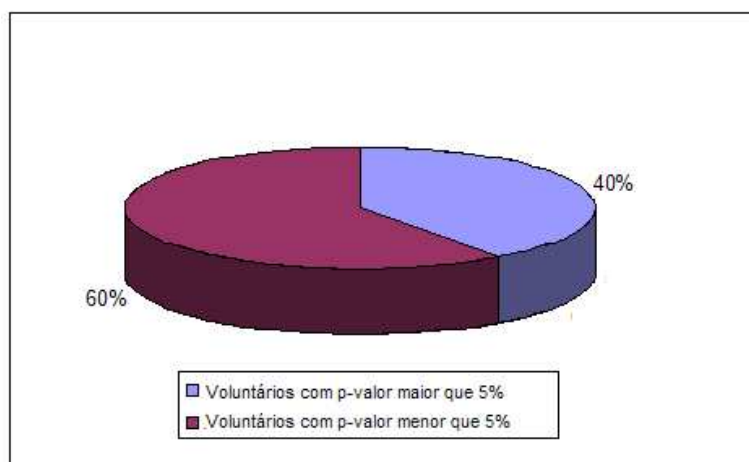


Figura 6.13: Percentual de grupos que confirmam a hipótese nula. Quinta Análise

6.2.6 Sexta Análise

Para esta análise foram utilizados os grupos que apresentam apenas voluntários do sexo masculino, porém sem a utilização da região dos olhos, boca e nariz de acordo com o já exposto anteriormente.

A tabela 6.8 apresenta os valores da Análise de Variância de Kruskal-Wallis para a situação proposta nesta sexta análise e a figura 6.14 mostra o percentual de grupos com valor p maior que 5% (cinco por cento).

Voluntário	Valor P da ANOVA	Voluntário	Valor P da ANOVA
1	0,2364	21	0,0594
2	0,39847	22	0,0
3	0,0531	23	0,7293
4	0,2187	24	0,3929
5	0,239	25	0,5884
6	0,2313	26	0,0
7	0,0652	27	0,2564
8	0,0826	28	0,0
9	0,0 782	29	0,2642
10	0,0	30	0,0
11	0,0		
12	0,0		
13	0,6614		
14	0,0		
15	0,0		
16	0,0523		
17	0,8696		
18	0,6695		
19	0,2435		
20	0,0		

Tabela 6.8: Resultado do teste de Kruskal-Wallis para a sexta análise

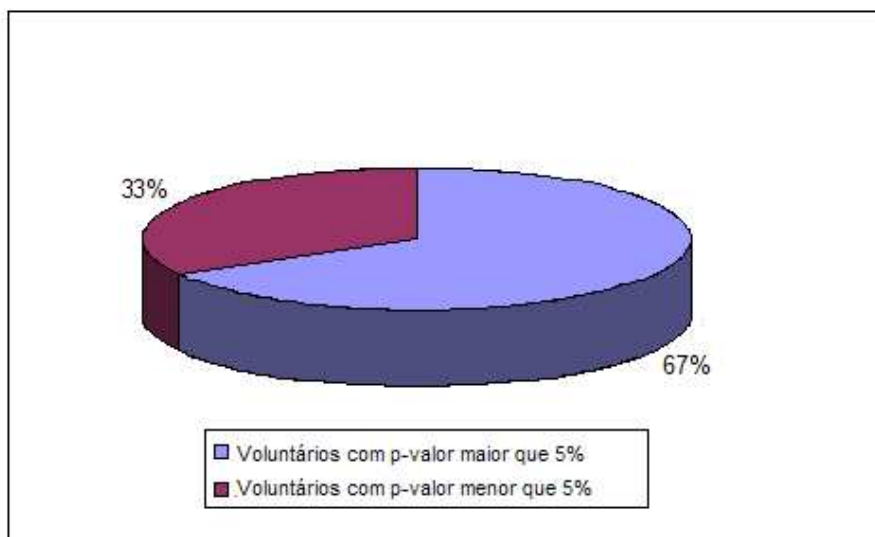


Figura 6.14: Percentual de grupos que confirmam a hipótese nula. Sexta Análise

A figura 6.14 mostra que 67% (sessenta e sete por cento) dos casos confirmam a hipótese formulada para este trabalho. Houve um aumento de 27% (vinte e sete por cento) em relação à Quinta Análise na confirmação da hipótese deste trabalho.

Mais uma vez foram utilizados os vetores obtidos na regressão linear. A figura 6.15 mostra a tabela de Kruskal-Wallis com o valor p de 0,0014.

Kruskal-Wallis ANOVA					
Source	SS	df	MS	Chi-sq	Prob>Chi-sq
Columns	518555.3	29	17881.2	57.01	0.0014
Error	2473918.2	300	8246.4		
Total	2992473.5	329			

Figura 6.15: Figura da tabela de Kruskal-Wallis comparando os grupos formados somente por homens

A figura 6.16 mostra a multicomparação para a Sexta Análise e a tabela 6.9 apresenta a análise para a multicomparação.

Apesar da melhora no número de grupos que apresentam concordância com a hipótese nula visto no gráfico pizza, a tabela contendo a análise da proximidade das médias dos grupos, tirada do gráfico de Multicomparação mostra que existem alguns grupos com médias muito próximas, senão coincidentes. Este fato, levando ainda em consideração a análise da Multicomparação, demonstra que existe uma grande interpenetração entre os vetores.

Mais uma vez, na tentativa de agrupar os vetores buscando uma similaridade entre os mesmos, foi utilizada a técnica de aglomeração do Dendrograma.

O Dendrograma para esta análise pode ser visto na figura 6.17.

Conforme visto nos outros casos, a técnica do Dendrograma não consegue realizar agrupamentos que definam os grupos.

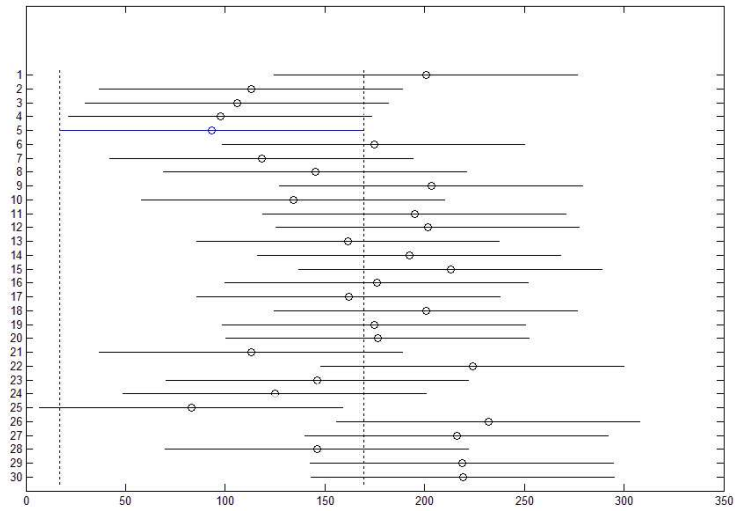


Figura 6.16: Multicomparação dos 30 grupos para a sexta análise

Grupos com médias próximas	n° de grupos com médias próximas
4	1
3	1
29	1
2 , 17	2
6	1
31	1
9	1
26	1
27	1
7	1
18 , 20 , 23	3
30	1
10 , 13 , 28	3
12	1
16	1
5	1
24	1
15 , 25	2
14	1
11 , 19 , 21 , 22	3
8	1
1	1

Tabela 6.9: Tabela contendo os grupos que apresentam médias próximas para a Sexta Análise

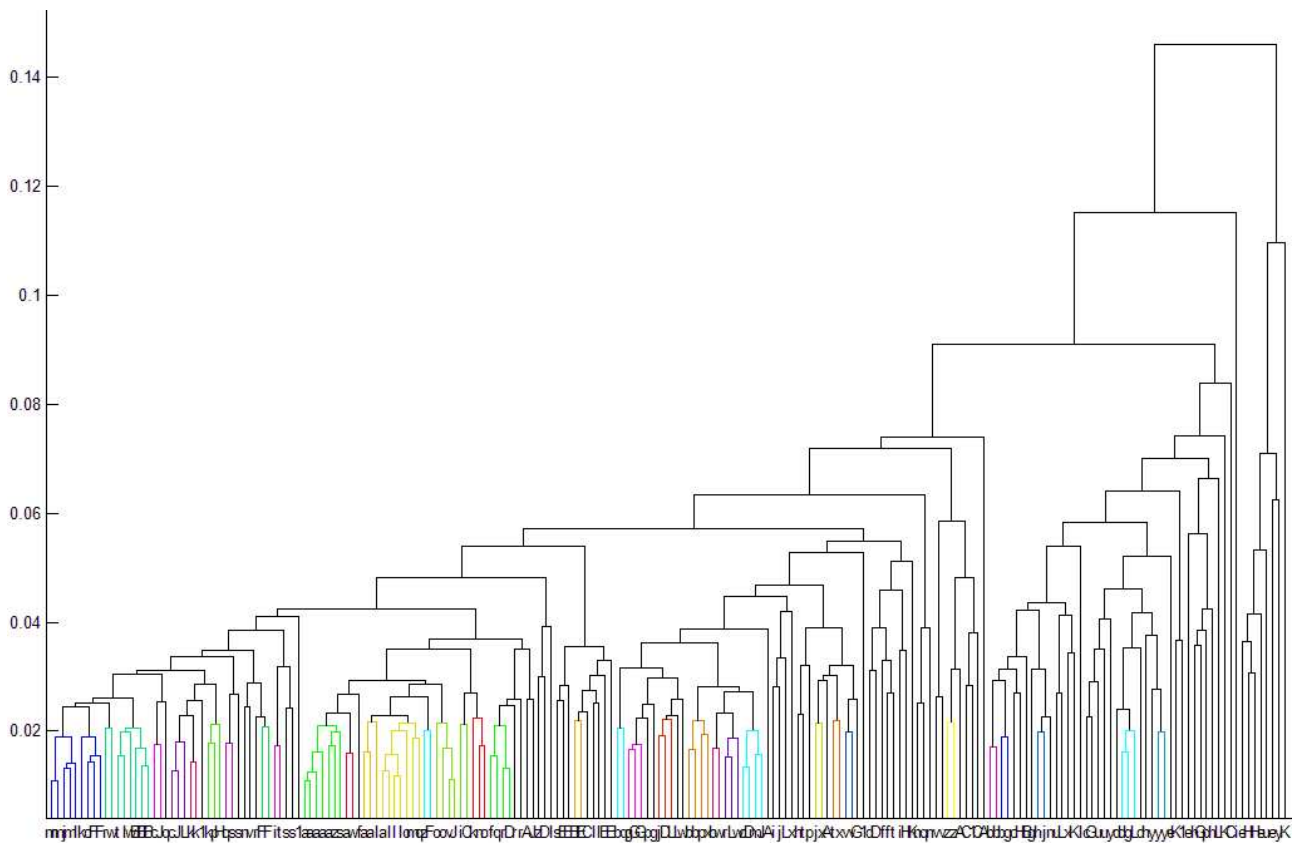


Figura 6.17: Dendrograma para a Sexta Análise

6.2.7 Sétima Análise

Para esta análise foram utilizados apenas os voluntários do sexo masculino e que não relataram nenhum problema de saúde. Também houve a retirada dos pontos da região dos olhos, boca e nariz como já exposto anteriormente.

A tabela 6.10 apresenta os valores da Análise de Variância de Kruskal-Wallis para a situação proposta nesta sétima análise e a figura 6.18 mostra o percentual de grupos com valor p maior que 5% (cinco por cento).

A figura 6.18 mostra que 78% dos casos confirmam a hipótese formulada para o trabalho.

Novamente foram utilizados os vetores obtidos na regressão linear. A figura 6.19 apresenta da tabela de Kruskal-Wallis para este caso. Como pode-se observar na figura 6.19 o valor p é menor que 5%.

A figura 6.20 mostra a multicomparação e a figura 6.21 mostra o Dendrograma para esta análise. Conforme pode ser observado nas figuras 6.20 e 6.21, apesar da melhora no número de grupos que concordam com a hipótese nula mostrada na figura 6.18, novamente não se tem uma separação clara entre grupos.

Seguindo o que foi visto nas outras análises, a técnica de aglomeração utilizando distância Euclidiana mostrada no Dendrograma não foi eficaz na formação de conglomerados definidos.

Voluntário	Valor P da ANOVA	Voluntário	Valor P da ANOVA
1	0,2313	21	0,0531
2	0,7292	22	0,2315
3	0,0652	23	0,239
4	0,1769		
5	0,0		
6	0,0		
7	0,0523		
8	0,4023		
9	0,6695		
10	0,3577		
11	0,2453		
12	0,7321		
13	0,0		
14	0,0		
15	0,2564		
16	0,2178		
17	0,2642		
18	0,0		
19	0,2364		
20	0,3984		

Tabela 6.10: Resultado do teste de Kruskal-Wallis para a sétima análise

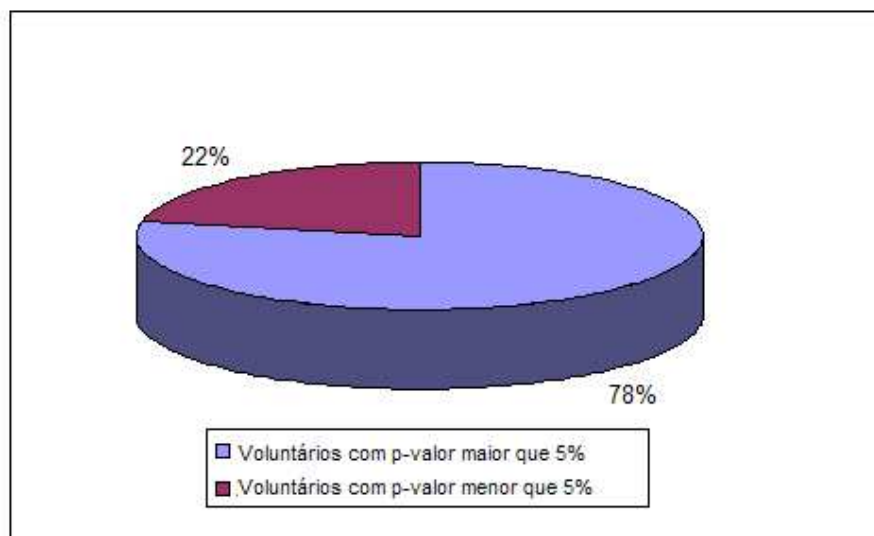


Figura 6.18: Percentual de grupos que confirmam a hipótese nula. Sétima Análise

Kruskal-Wallis ANOVA					
Source	SS	df	MS	Chi-sq	Prob>Chi-sq
Columns	207881.3	22	9449.15	38.85	0.0147
Error	1140607.2	230	4959.16		
Total	1348488.5	252			

Figura 6.19: Figura da tabela de Kruskal-Wallis comparando os grupos formados somente por homens saudáveis

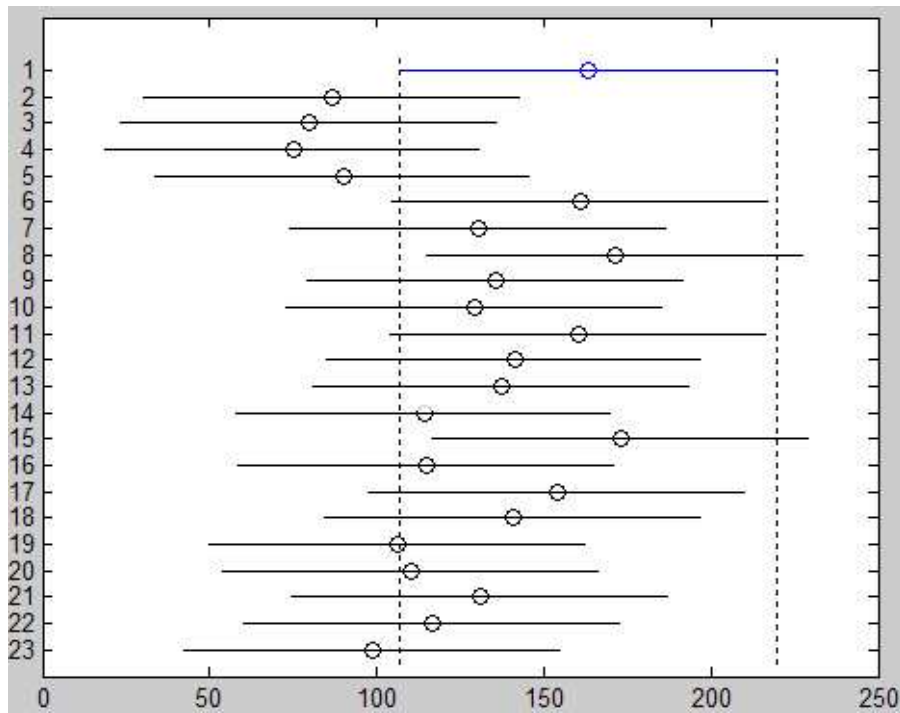


Figura 6.20: Multicomparação dos 23 grupos para a Sétima Análise

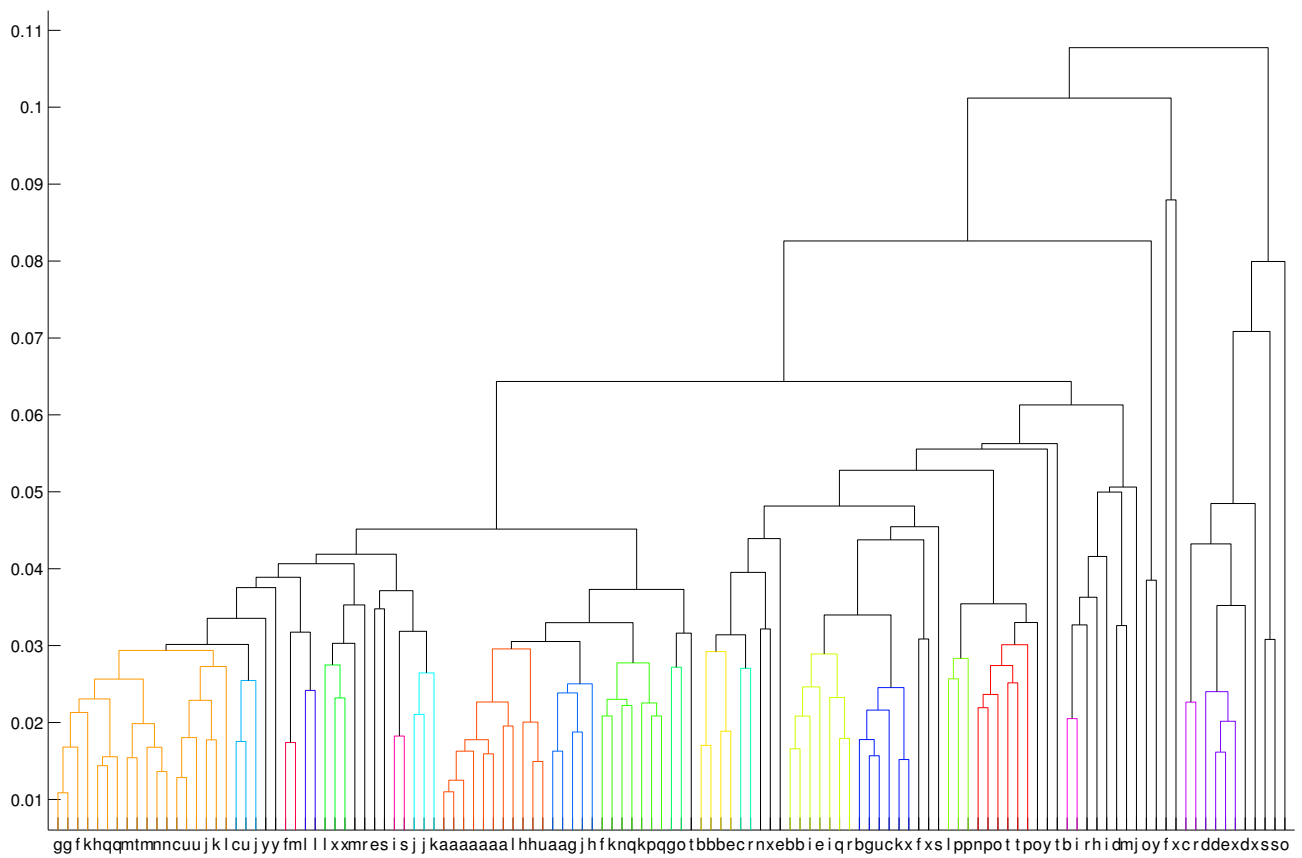


Figura 6.21: Dendrograma para a Sétima Análise

6.3 Discussão

Na comparação entre as análises, é mostrada que a retirada dos pontos da região dos olhos, nariz e boca melhora os índices de aceitação da hipótese nula.

Nas simulações realizadas, há indícios de que a utilização de apenas grupos de voluntários saudáveis ou de voluntários do sexo masculino melhora o índice de aceitação da hipótese nula formulada.

Não foi observada uma separabilidade clara entre os grupos. O gráfico de multicomparação não mostra grupos totalmente separados e aponta uma grande interpenetração entre os mesmos.

A utilização do Dendrograma não se mostrou eficiente na aglomeração dos grupos por ser um método linear. Para o caso apresentado o Dendrograma foi baseado em distâncias Euclidianas. Para separar estes grupos mais claramente, talvez um método não linear como as redes neurais artificiais ou sistemas neuro-fuzzy sejam mais eficientes.

O fato de alguns grupos não apresentarem valor p maior que 5% não invalida os testes, pois basta que uma das amostras do grupo seja tomada de maneira errada para que o valor p seja inferior a 5%.

Sugere-se que seja feita uma análise grupo a grupo de todas as amostras para se identificar erros de medição e valores p falseados.

A melhor situação encontrada foi a indivíduos saudáveis do sexo masculino, onde o número de casos que confirmam a hipótese nula foi de 78%.

Capítulo 7

Conclusão

7.1 Introdução

Este trabalho analisou os padrões térmicos ao longo da face de forma a tentar comprovar que os padrões se repetem para cada pessoa e, além disso, que esses mesmos padrões se diferem de um indivíduo para o outro.

Para a realização deste trabalho foi feita uma coleta de dados com um equipamento capaz de coletar a temperatura sem contato físico através da captação da radiação infravermelha da face. A coleta seguiu uma metodologia para que os dados fossem coletados de maneira mais homogênea.

Além da coleta das temperaturas faciais, também foram anotados dados sobre a saúde dos voluntários para posteriores cruzamentos de dados.

Para validar os dados e poder indicar que cada pessoa possui um perfil térmico único que a identifique, foram utilizados métodos estatísticos. Dentre os métodos foi utilizado a Análise de Variância não paramétrica de Kruskal-Wallis. Este método possibilita dizer se vetores amostrais procedem de um mesmo grupo ou se são de grupos diferentes. Neste trabalho, cada pessoa indica um grupo que contém n vetores amostrais de temperatura.

Levando em consideração os testes estatísticos utilizados, foram tiradas algumas conclusões que serão apresentadas na seção seguinte.

7.2 Conclusão

Para o primeiro caso, todas as amostras foram analisadas, sem distinção sobre o estado de saúde dos voluntários. Para esta situação o teste de Kruskal-Wallis apresentou uma resposta de que 72% (setenta e dois por cento) dos indivíduos analisados apresentavam vetores amostrais pertencentes a seus grupos.

No segundo caso, ainda sem distinção sobre voluntários doentes ou não, foram retirados dos vetores os dados relativos à região dos olhos, uma vez que a utilização de óculos poderia influenciar na identificação em desenvolvimentos futuros. Nesta situação observou-se um aumento de 2% (dois por cento) no número de grupos que apresentavam vetores amostrais pertencentes

aos seus respectivos grupos.

Sobre os grupos que não apresentaram seus vetores como pertencentes a seus respectivos grupos, cabe a análise de que o teste de Kruskal-Wallis não diz que todos os vetores são diferentes, ele apenas diz que pelo menos um dos vetores se apresentou diferente. Sendo assim a presença de *outliers* dentro de um grupo amostral, leva o resultado para a rejeição da hipótese nula. Este *outlier* pode ser proveniente de uma medição que não foi bem executada, levando em consideração que as coletas foram feitas de maneira manual.

A análise entre grupos utilizando a Multicomparação e o Dendrograma mostrou que os grupos, apesar de mostrarem-se diferentes entre si em sua maioria, estão muito próximos uns dos outros e são de difícil separação com a utilização de métodos lineares.

7.3 Conclusão Geral

Este trabalho mostrou que existem indícios de que o perfil térmico do rosto se repete e que pessoas diferentes têm perfis de temperatura diferente. Os resultados apontaram para a igualdade de vetores retirados de um mesmo indivíduo em momentos distintos. Porém, os métodos utilizados para tentar provar a distinção entre grupos não foram capazes de estatisticamente comprovar tal distinção.

O resultado mais significativo foi o obtido de voluntários do sexo masculino, sem relatos de problemas de saúde, que ficou com 78% dos grupos aceitando a hipótese de que amostras retiradas do mesmo grupo se correlacionam. Como estas amostras foram coletadas em momentos distintos, podemos afirmar que, independente do momento da coleta, o perfil de temperatura se repete em 78% dos grupos para esta situação. Ou seja, no grupo analisado é possível afirmar que os padrões térmicos na face de cada pessoa se repetem.

Os outros resultados ficaram em torno de 70% dos grupos aceitando a hipótese de que amostras retiradas do mesmo grupo se correlacionam.

Nos casos onde não houve uma confirmação da hipótese nula, deve-se realizar uma investigação mais aprofundada. Se apenas uma das amostras estiver com problemas, resultado de uma coleta mal executada por exemplo, o teste valida os vetores do grupo como não pertencentes ao mesmo grupo.

Apesar dos métodos empregados para a separação dos grupos não terem gerado os resultados desejados, pode-se observar nas figuras dos apêndices que visivelmente os grupos apresentam perfis diferentes uns dos outros. O presente trabalho mostra que os vetores do mesmo grupo são iguais, porém a interpenetração dos grupos dificulta a utilização de métodos lineares para a separação dos mesmos.

No capítulo Trabalhos Futuros são apresentados os caminhos para a continuação deste trabalho, de maneira a possibilitar a utilização desta biometria em equipamentos de identificação.

Capítulo 8

Trabalhos Futuros

8.1 Trabalhos futuros

Para a continuidade dos estudos aqui iniciados, é desejável conseguir um ambiente controlado para se fazer a coleta dos dados de temperatura. Também é importante que seja utilizada uma câmera térmica, pré-posicionada, para se evitar erros oriundos do posicionamento do equipamento. Uma vez conseguida a imagem térmica, também é possível fazer a marcação na figura dos pontos desejados para o estudo.

Como foi demonstrada nesta dissertação, a separação dos grupos utilizando alguns processos lineares não foi possível, devido à grande interpenetração dos grupos. Avançando além dos estudos desta dissertação, redes neurais ou redes neuro-fuzzy podem ser aplicadas na tentativa de realizar a separação destes grupos, uma vez que estas redes são capazes de delimitar regiões não lineares e com grande interpenetração.

Além desse estudo, outro ponto que pode ser desenvolvido é o estudo mais detalhado da fisiologia e da vascularização superficial da face. Este estudo pode levar a resultados melhores, uma vez que a vascularização superficial influencia no perfil de temperatura de cada indivíduo.

Podem ser considerados ainda a utilização de outros tipos de dados para, em conjunto com os dados de temperatura, tornar o sistema de identificação facial mais robusto.

Pode-se tentar a utilização da análise de Gradiente de temperatura da face para a utilização como fonte biométrica.

Também podem ser consideradas as situações de esforço físico, como a coleta de dados antes e após atividades físicas e realizar a comparação entre estes dados na verificação de possíveis mudanças nos perfis de temperatura.

Outro ponto interessante seria a coleta de perfis de temperatura de voluntários ao longo de alguns anos. Assim poderíamos ter indicações de como os perfis se alteram com o passar dos anos.

Mais importante que apenas identificar um indivíduo, é identificá-lo quando o mesmo se utiliza de alguma máscara. A coleta de dados de temperatura com indivíduos mascarados, é também uma seqüência natural deste trabalho.

Referências Bibliográficas

- [1] Matlab. *Statistics Toolbox-For Use With Matlab/User's Guide*. MathWorks, Inc, 2006.
- [2] William F. Ganong. *Fisiologia Médica*. Editora Guanabara Koogan, 1998.
- [3] Jerrold H. Zar. *Biostatistical Analysis*. Prentice-Hall International, INC, 1996.
- [4] Vilmar de Souza Machado and Jorge Rady de Almeida Junior. Sistemas de reconhecimento biométrico aplicados à segurança de ambientes físicos. 2005.
- [5] Seong G. Kong, Jingu Heo, Besma R. Abidi, Joonki Paik, and Mongi A. Abidi. Recent advances in visual and infrared face recognition - a review. *Computer Vision and Image Understanding*, (97):103–135, 2005.
- [6] Diego A. Socolinsky, Andrea Selinger, and Joshua D. Neuheisel. Face recognition with visible and thermal infrared imagery. *Computer Vision and Image Understanding*, (91):73–114, 2003.
- [7] Y. Yoshitomi, N. Miyawaki, S. Tomita, and S. Kimura. Facial expression recognition using thermal image processing and neural network. *IEEE - International Workshop on Robot and Human Communication*, pages 380–385, 1997.
- [8] Y. Yoshitomi, N. Miyawaki, S. Tomita, and S. Kimura. Face identification using thermal image processing. *IEEE - International Workshop on Robot and Human Communication*, pages 374–379, 1997.
- [9] Ioannis Pavlidis, James Levine, and Paulette Baukol. Thermal imaging for anxiety detection. *IEEE - International Workshop on Robot and Human Communication*, 2000.
- [10] Arthur C. Guyton and John E. Hall. *Fisiologia Humana e Mecanismos das Doenças*. Editora Guanabara Koogan, 1998.
- [11] W.T.Beraldo. *Fisiologia*, volume 1. Imprensa da UFMG, 1968.
- [12] W. Henry Hollinshead. *Biostatistical Analysis*. Harper and Row do Brasil, 1980.
- [13] Margarida de Mello Aires. *Fisiologia Básica*. Guanabara Koogan, 2004.
- [14] J. H. Green. *An Introduction to Human Physiology*. Oxford University Press, 2000.

- [15] Bernardo A. Houssay. *Fisiologia Humana*. Libreria El Ateneo Editorial, 2000.
- [16] Arthur c Guyton and John E. Hall. *Textbook of Medical Physiology*. W.B. Saunders Company, 2000.
- [17] Sueli Aparecida Mingoti. *Análise de Dados Através de Métodos de Estatística Multivariada - Uma Abordagem Aplicada*. Editora UFMG, 2005.
- [18] Mingoti S. A. *Análise de dados através de métodos de estatística multivariada - uma abordagem aplicada*. UFMG, 2005.
- [19] Douglas G. Altman. *Practical Statistics For Medical Research*. Chapman Hall, 1995.
- [20] Thomas H. Hassard. *Understanding Biostatistics*. Mosby Year Book, 1991.
- [21] Robert C. Elston and William D. Johnson. *Essentials of Biostatistics*. F.A. Davis Company, 1993.
- [22] Wayne W. Daniel. *Biostatistics: A Foundation For Analysis in the Health Sciences*. Wiley, 1991.
- [23] Ronald N. Forthofer and Eun Sul Lee. *Introduction to Biostatistics*. Editora Academic Press, 1995.
- [24] Richard J. Harris. *A Primer of Multivariate Statistics*. Editora Academic Press, 1975.
- [25] Egídio Alberto Bega, Gerard Jean Delmée, Pedro Estéfano Cohn, Roberval Bulgarelli, Ricardo Koch, and Vitor Schmidt Finkel. *Instrumentação Industrial*. Editora Interciência, 2006.
- [26] Manual do usuário do pirômetro raytek. Technical report, Departamento de Engenharia de Aplicações da Raytek do Brasil.

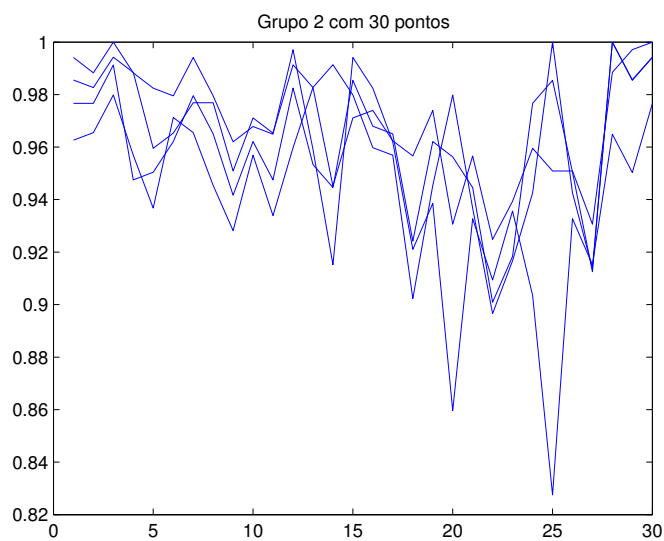
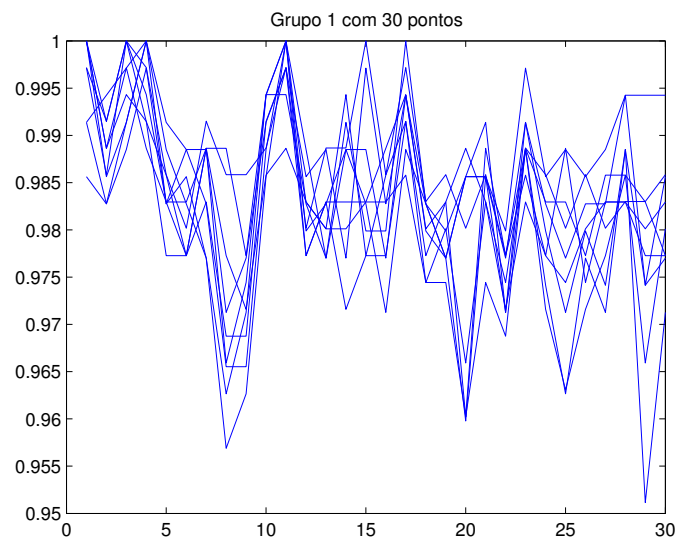
Apêndice A

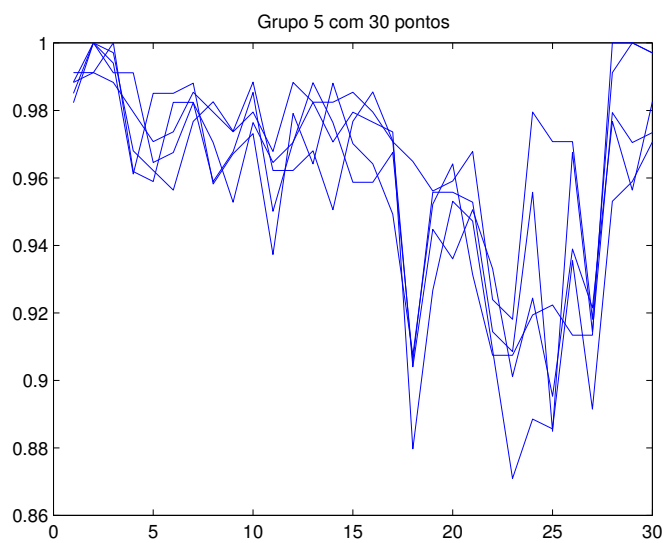
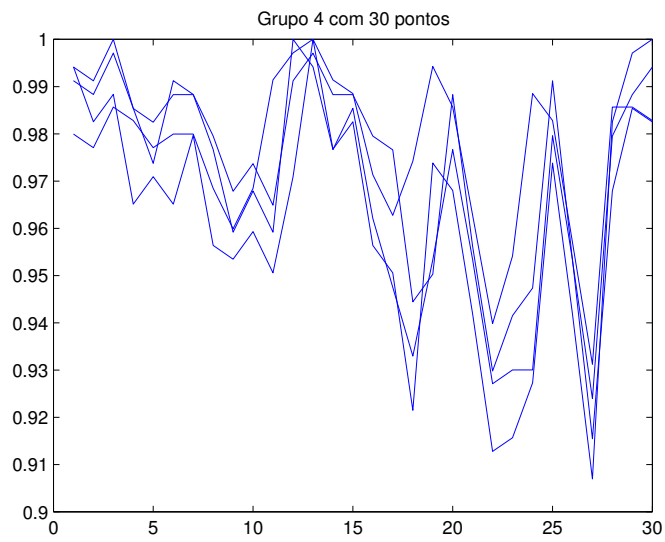
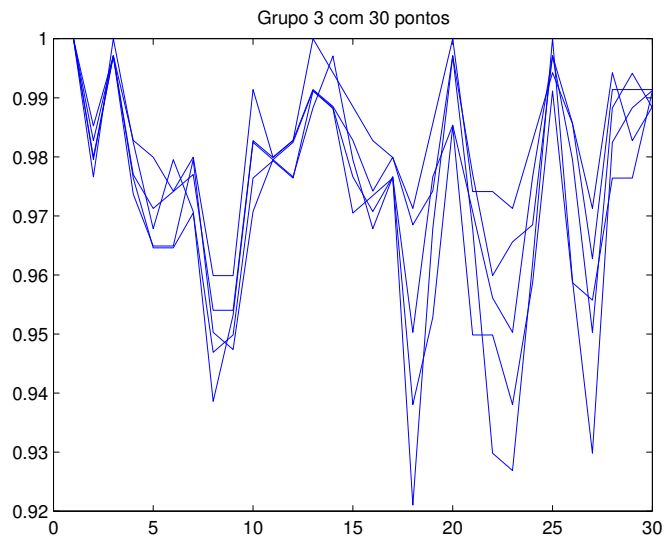
Fontes de pesquisa na Internet

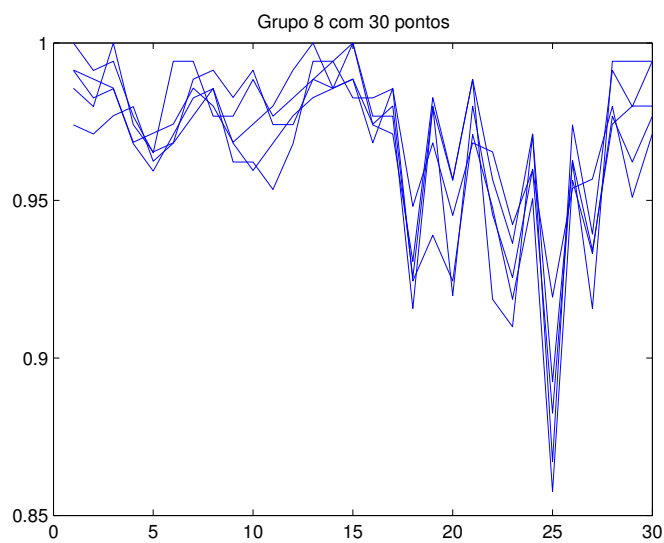
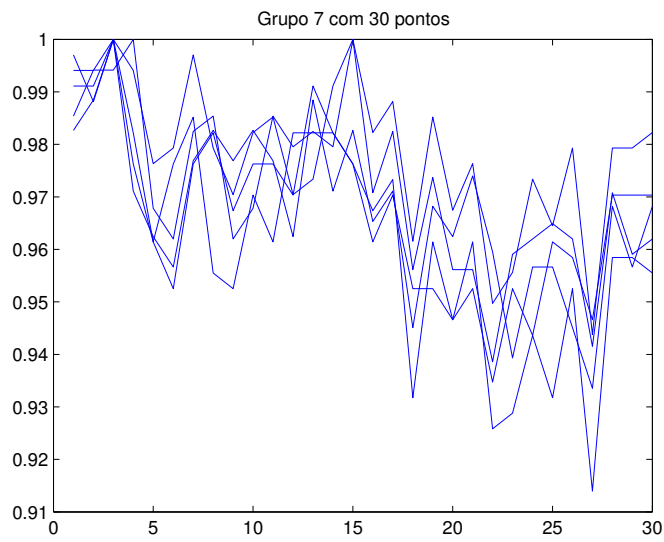
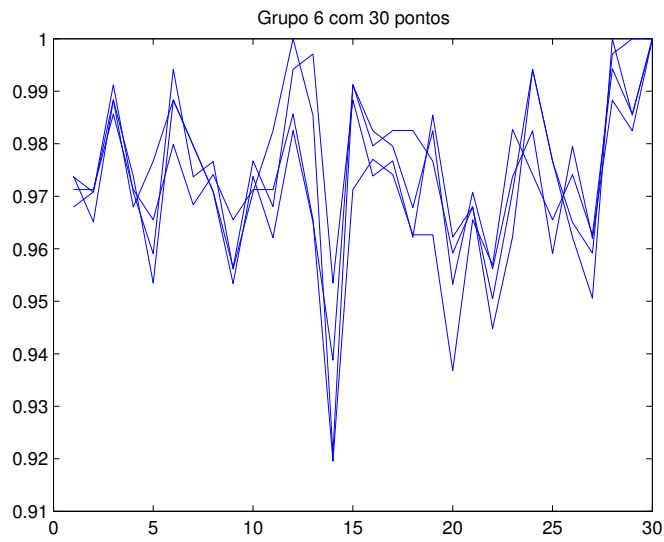
- <http://www.las.inpe.br/cesar/Infrared/espectro.htm>
Consultado em dezembro de 2006. Utilizado para consulta de informações sobre o espectro infravermelho.
- <http://geocities.yahoo.com.br/saladefisica5/leituras/infravermelho.htm>
Consultado em dezembro de 2006. Utilizado para consulta de informações sobre o espectro infravermelho.
- <http://www.corpohumano.hpg.ig.com.br>
Consultado em dezembro de 2006. Utilizado para consulta de informações sobre a vascularização facial.
- <http://www.netterimages.com.br>
Consultado em dezembro de 2006. Utilizado para consulta de informações sobre a vascularização facial.

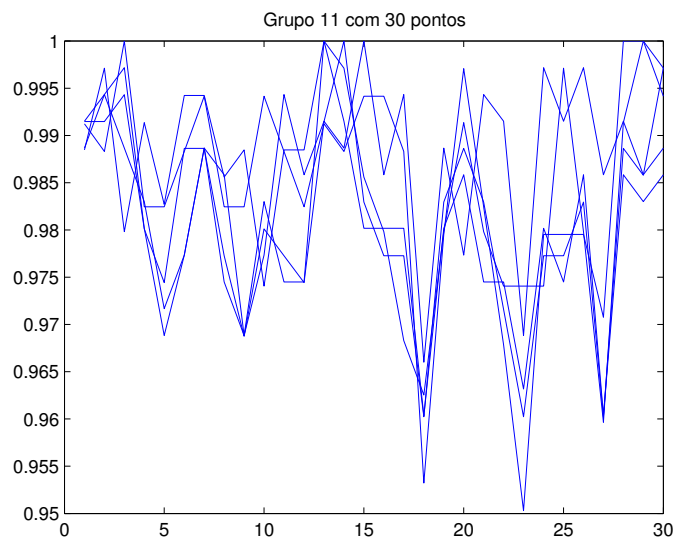
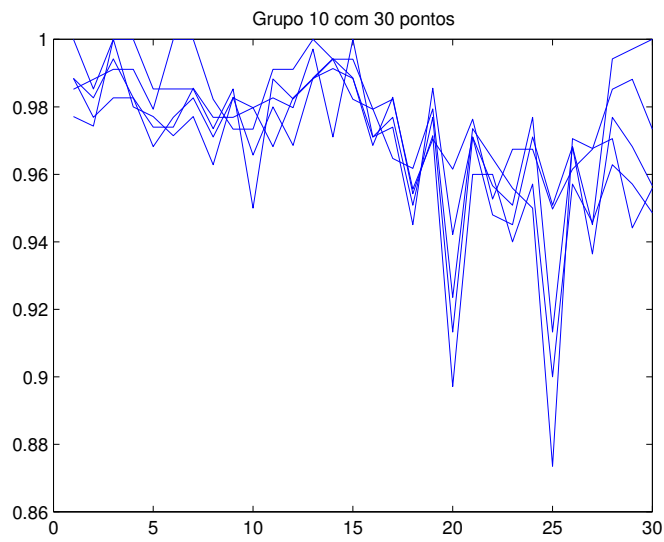
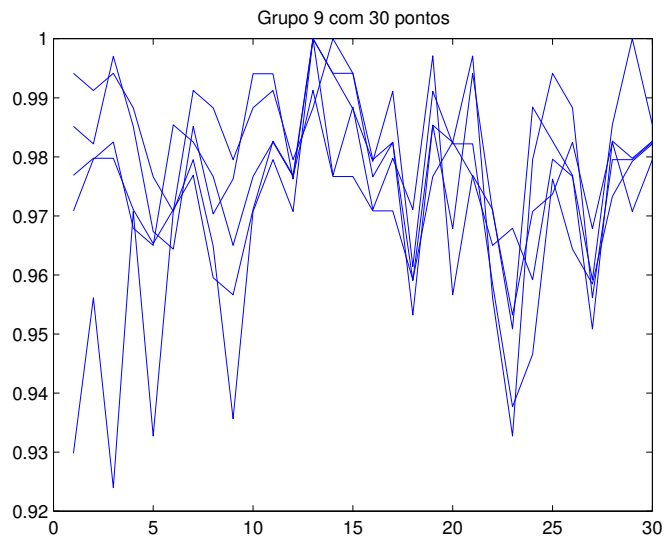
Apêndice B

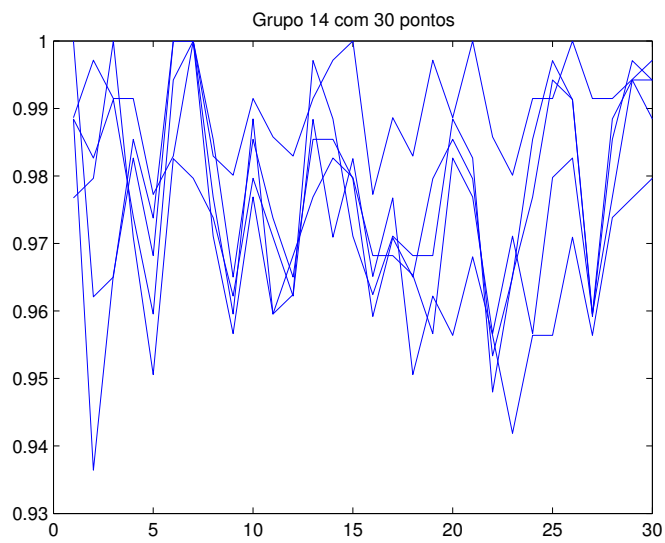
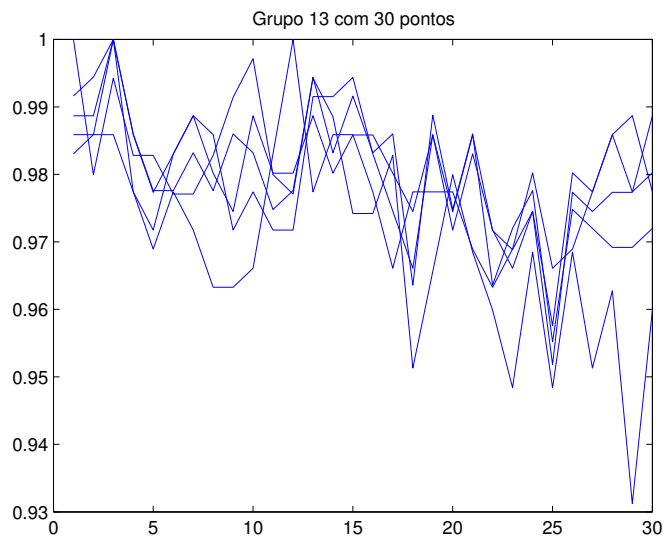
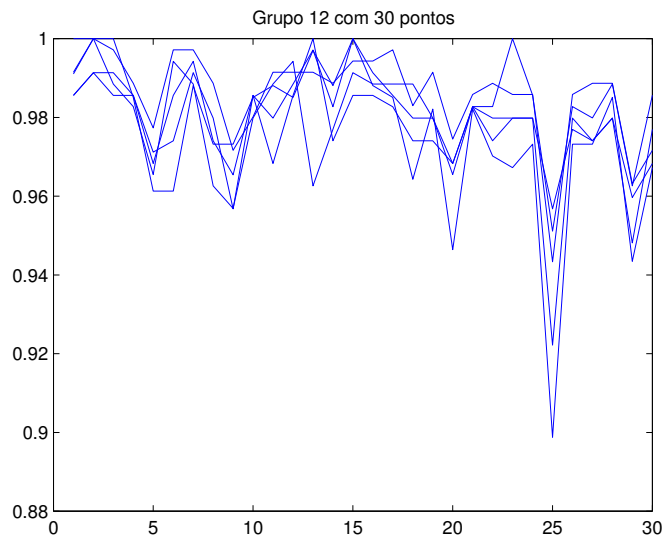
Perfis de Temperatura dos Grupos 1 a 18 com 30 Pontos

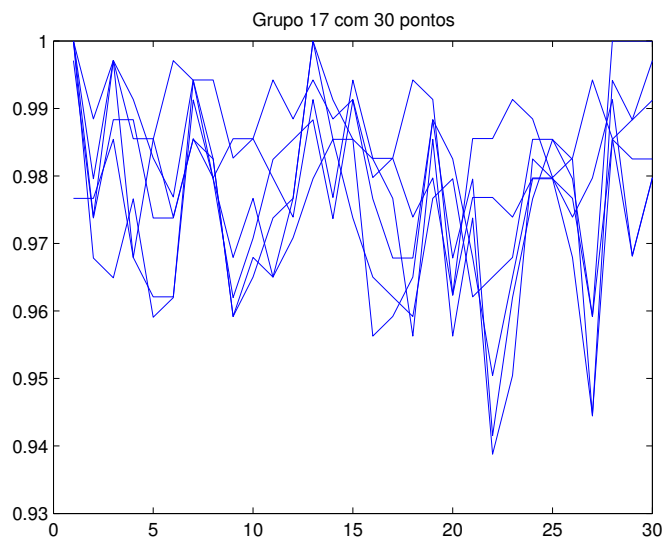
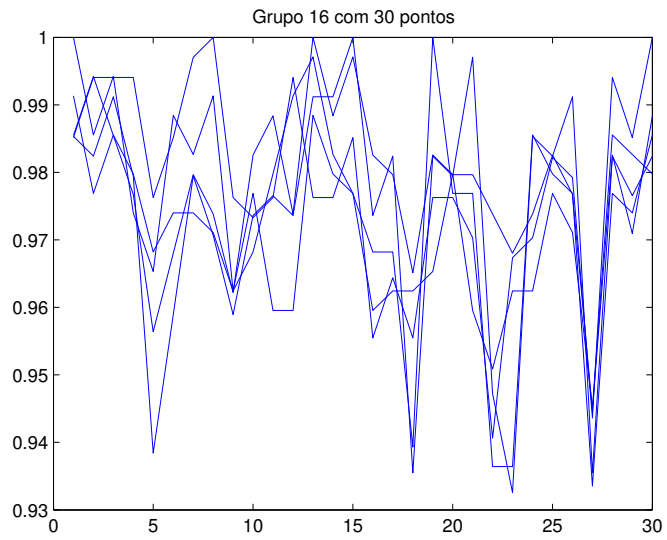
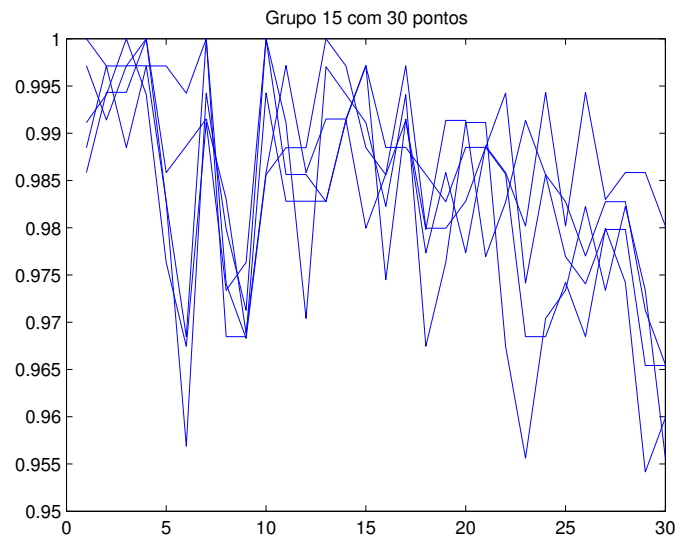


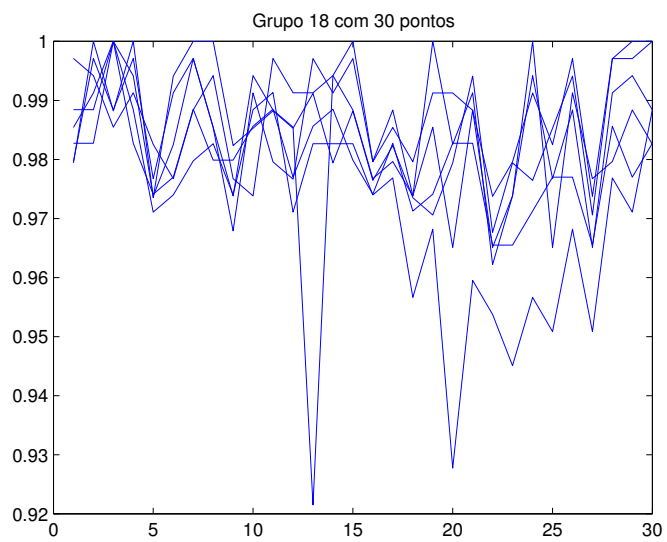






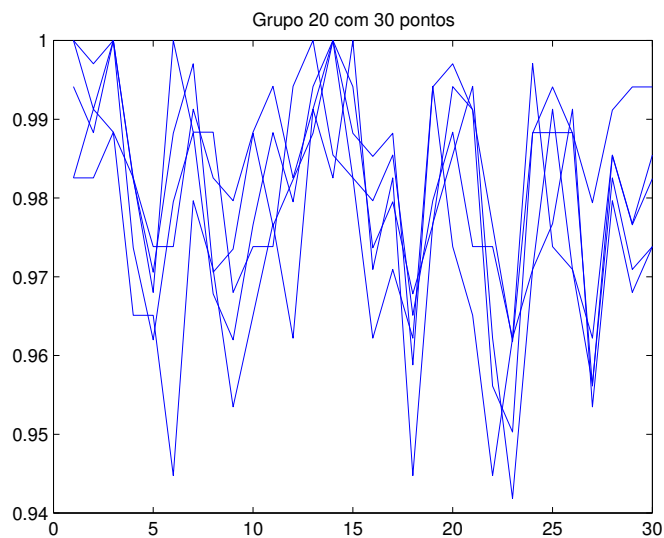
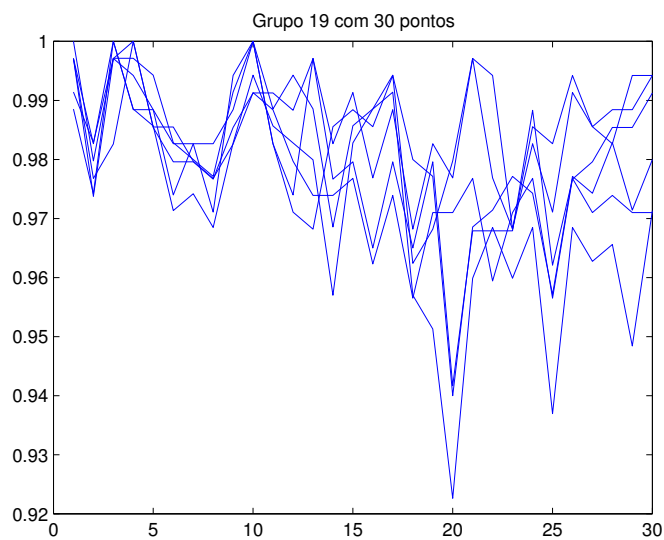


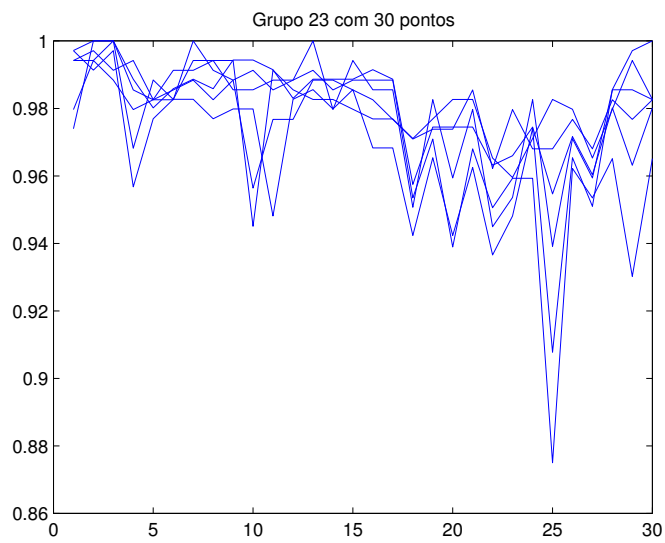
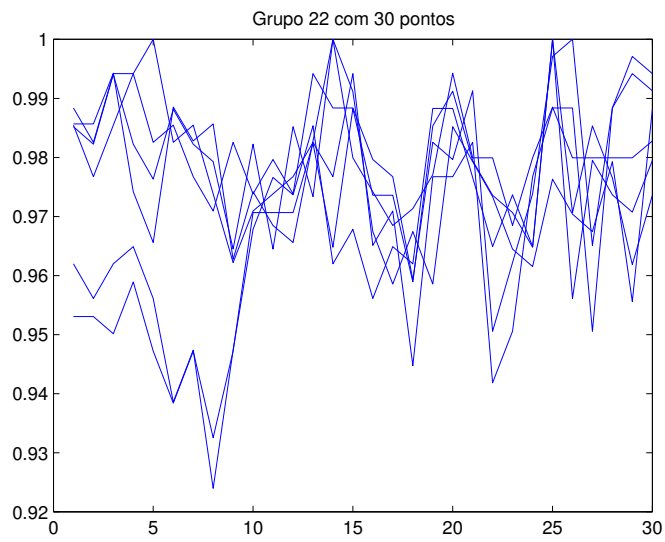
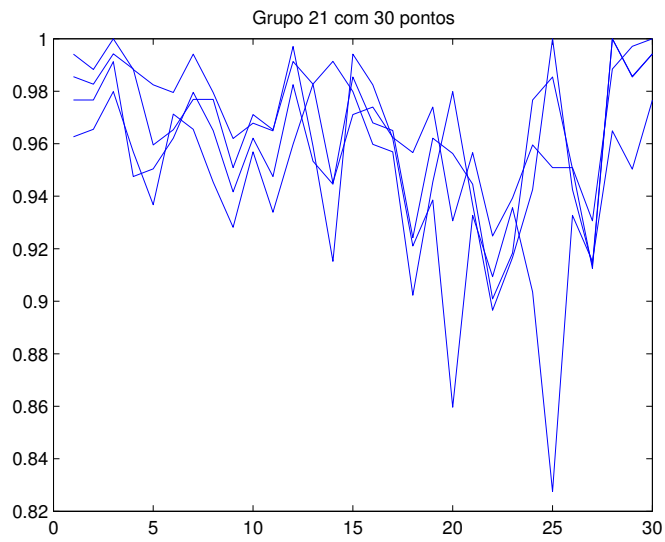


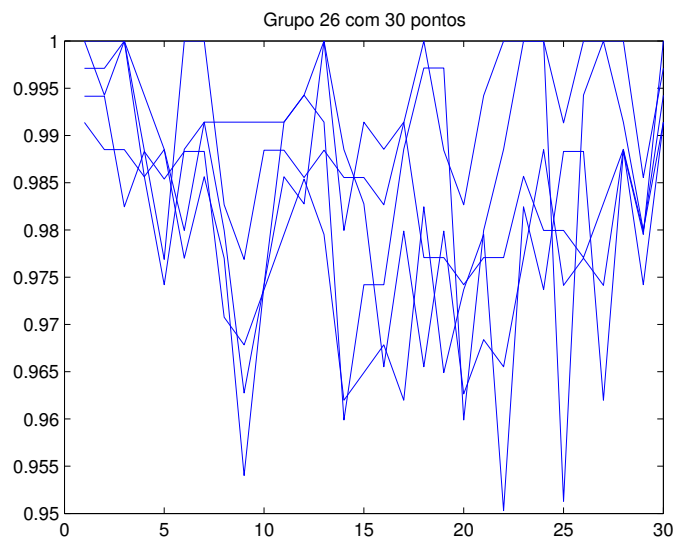
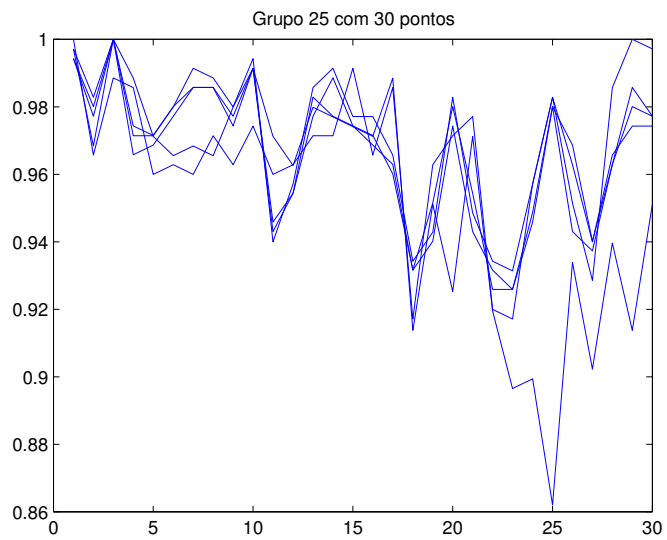
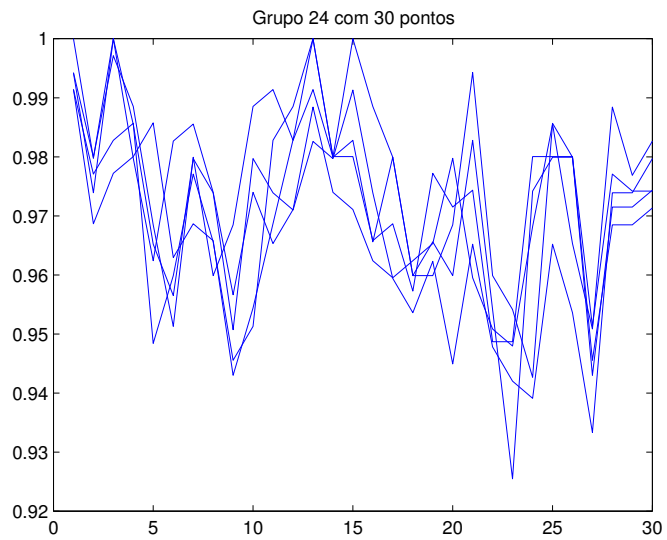


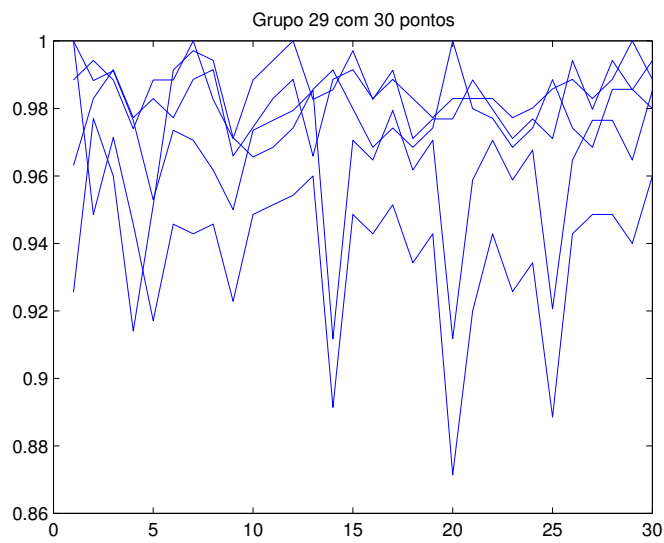
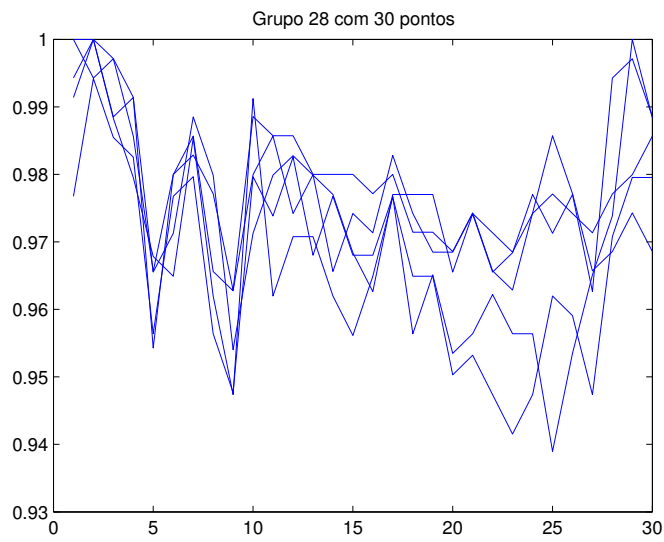
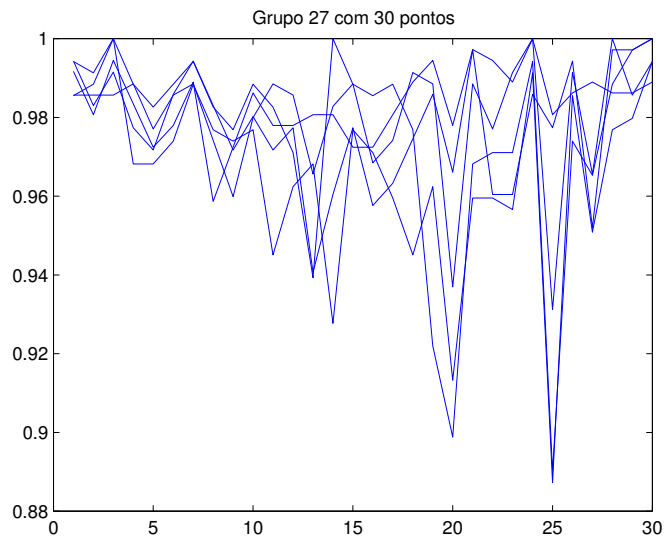
Apêndice C

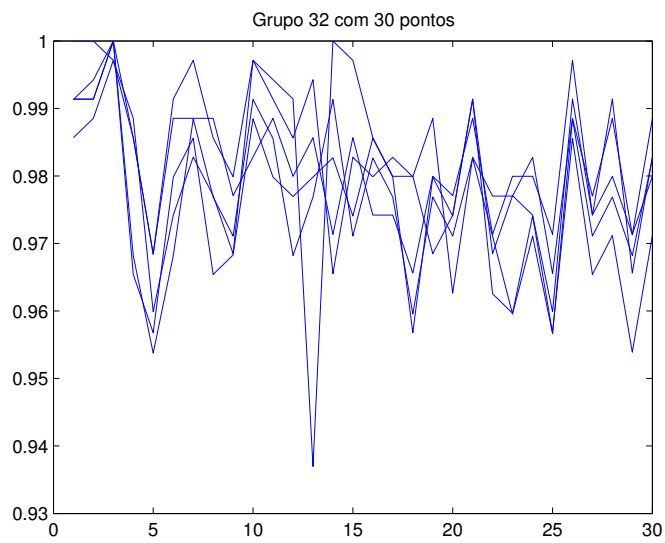
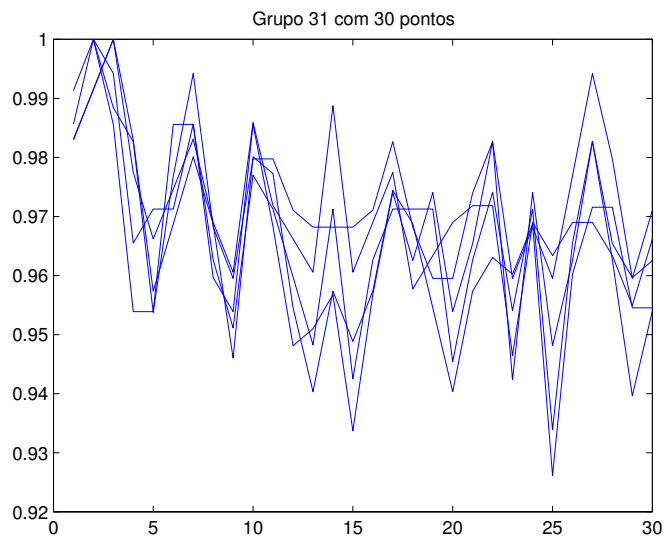
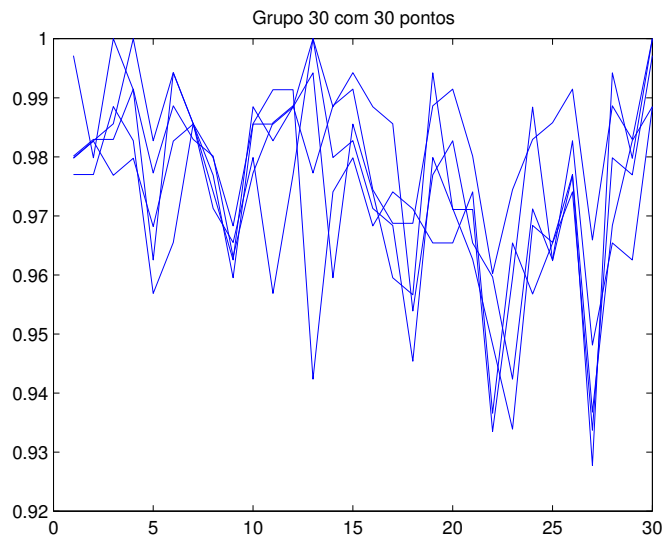
Perfis de Temperatura dos Grupos 19 a 36 com 30 Pontos

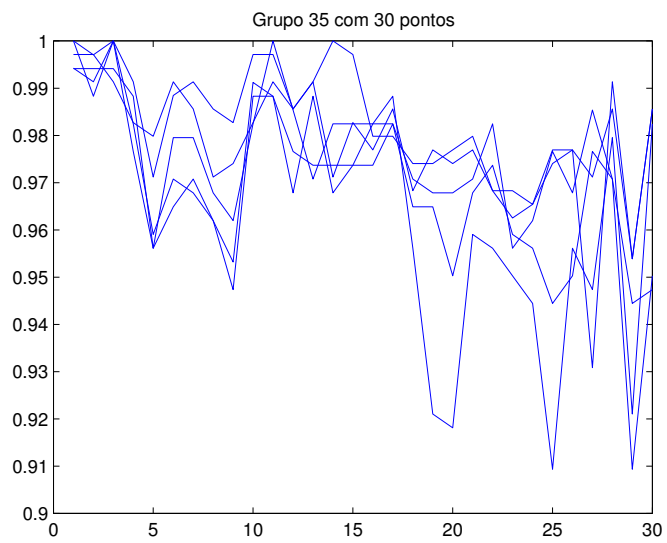
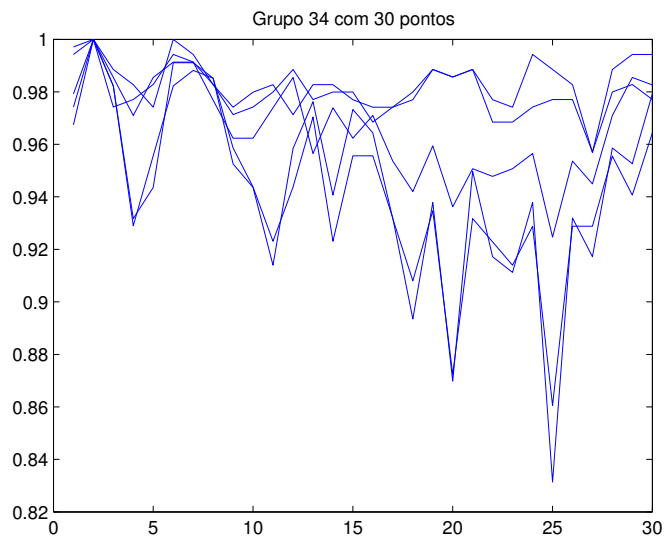
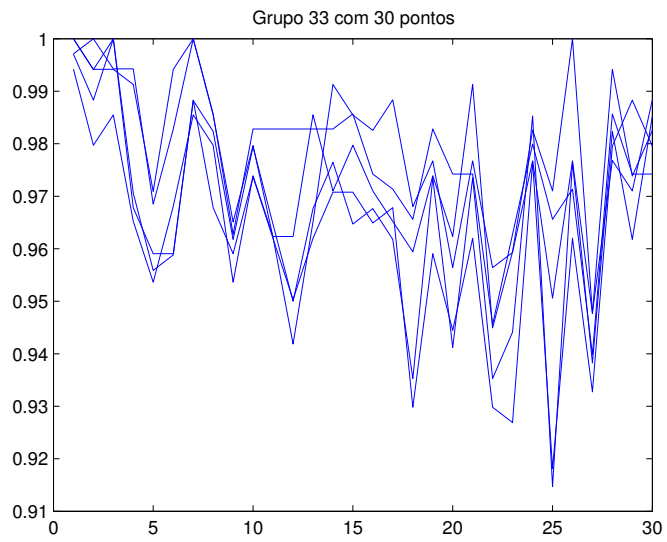


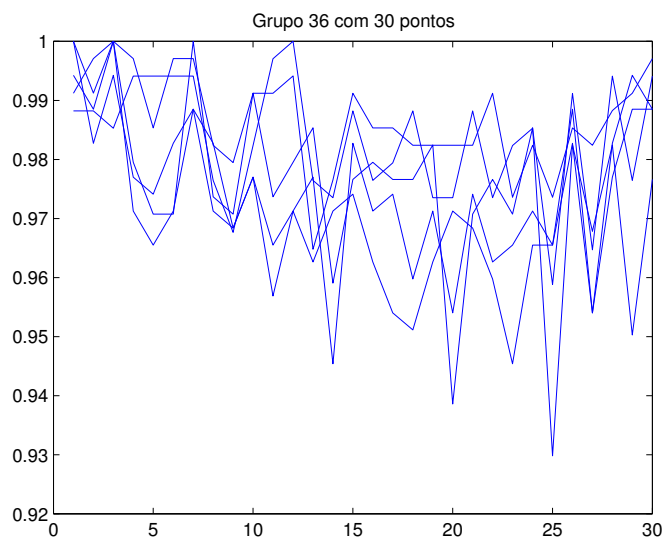






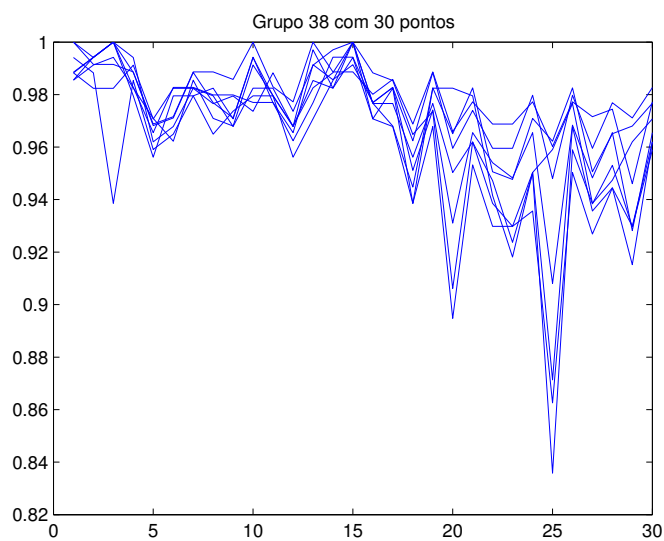
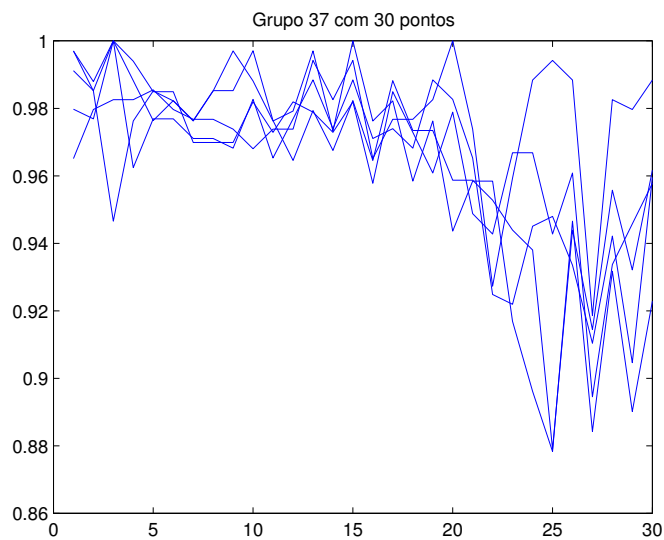


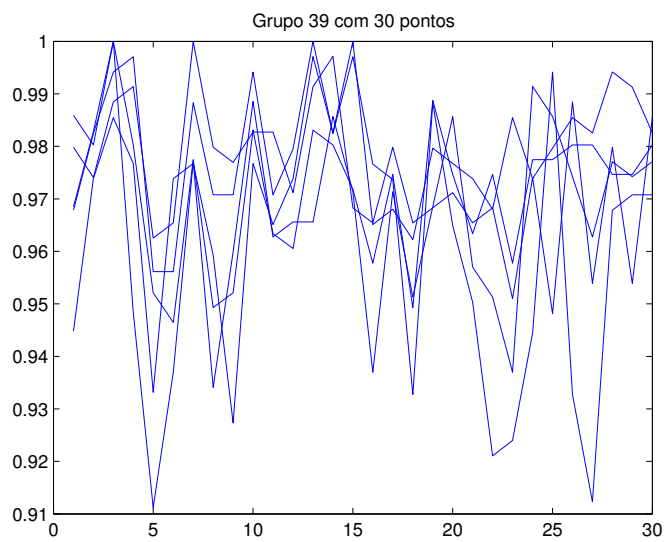




Apêndice D

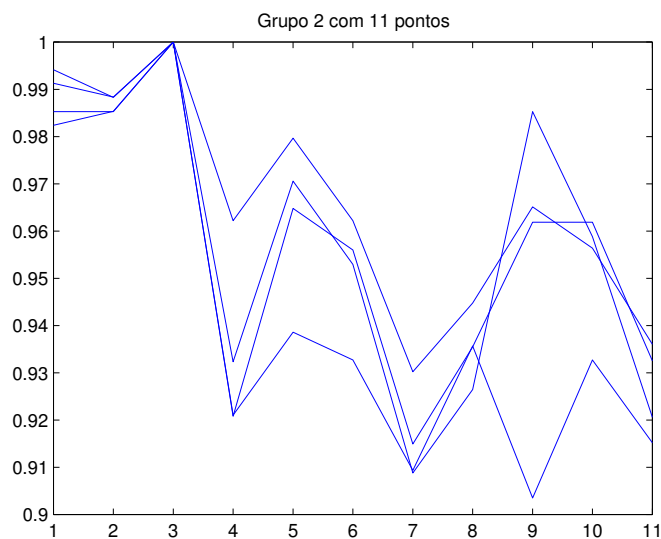
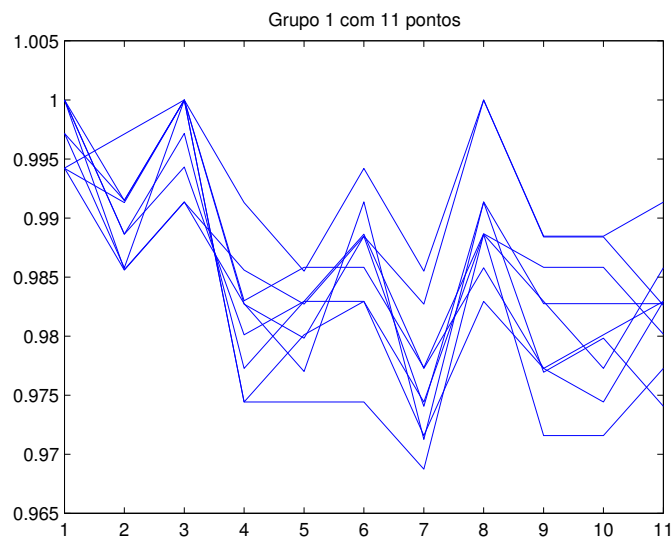
Perfis de Temperatura dos Grupos 37 a 39 com 30 Pontos

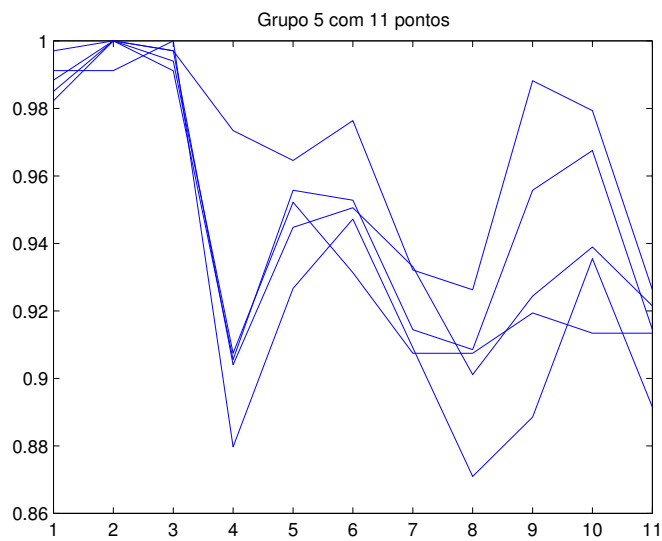
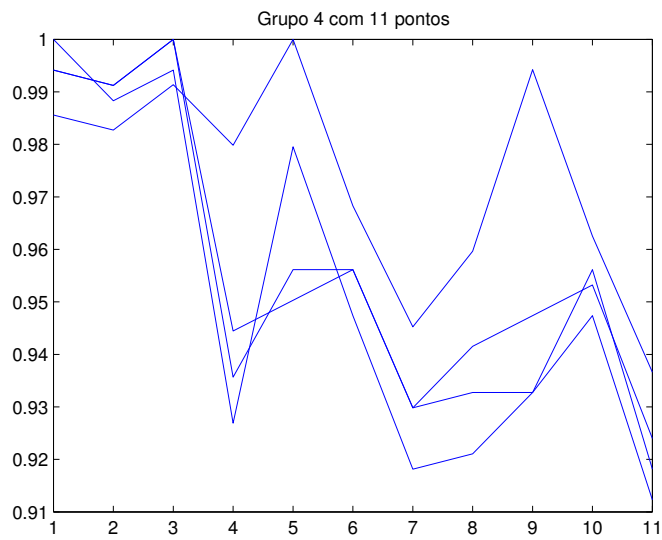
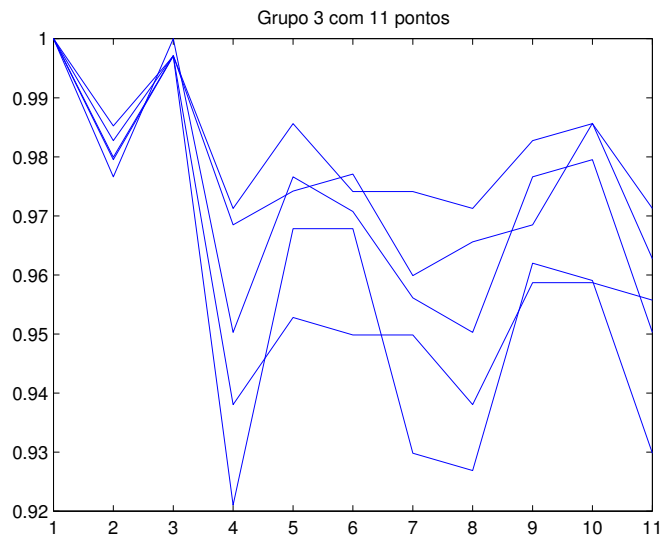


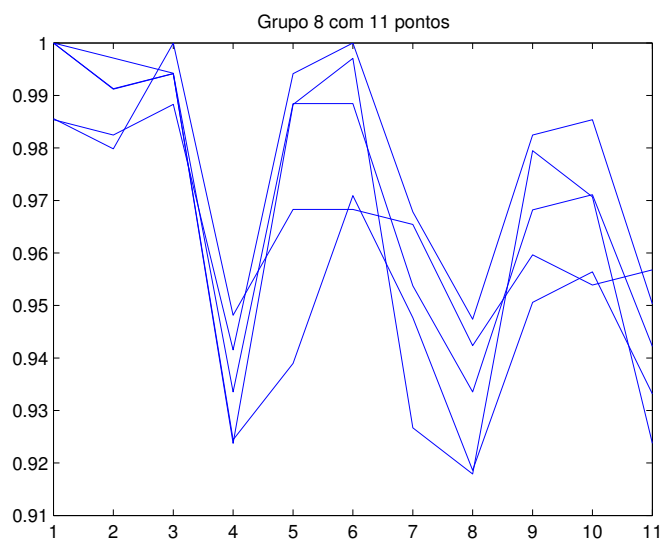
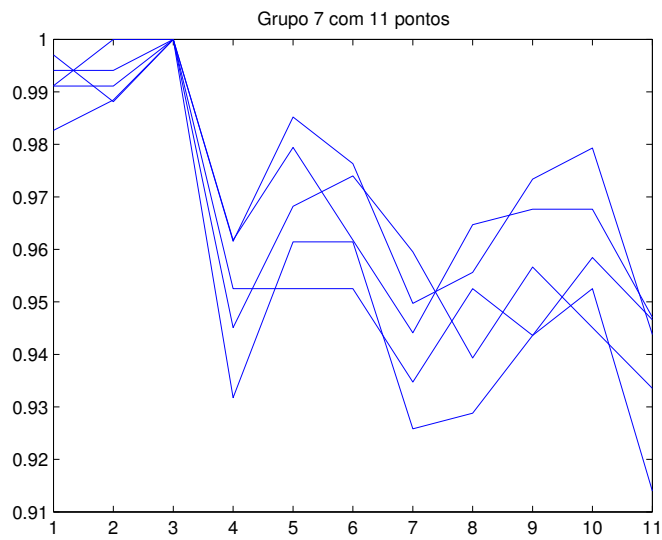
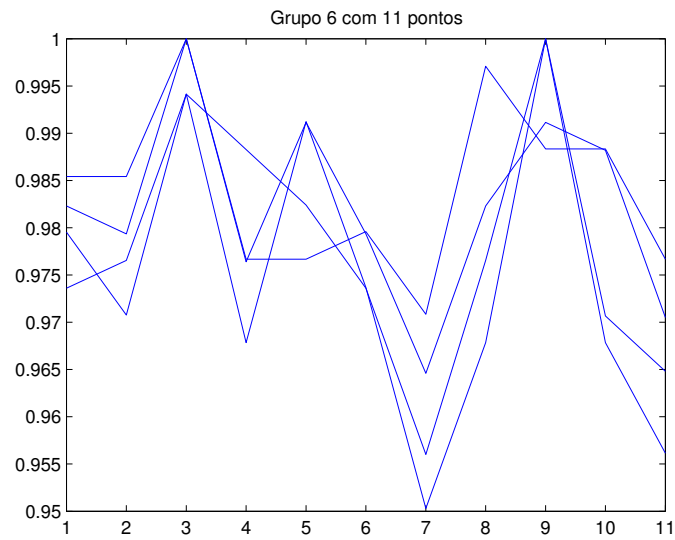


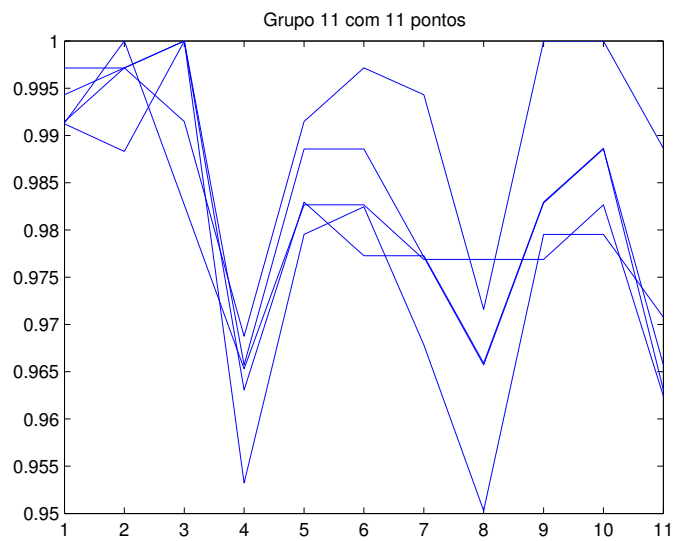
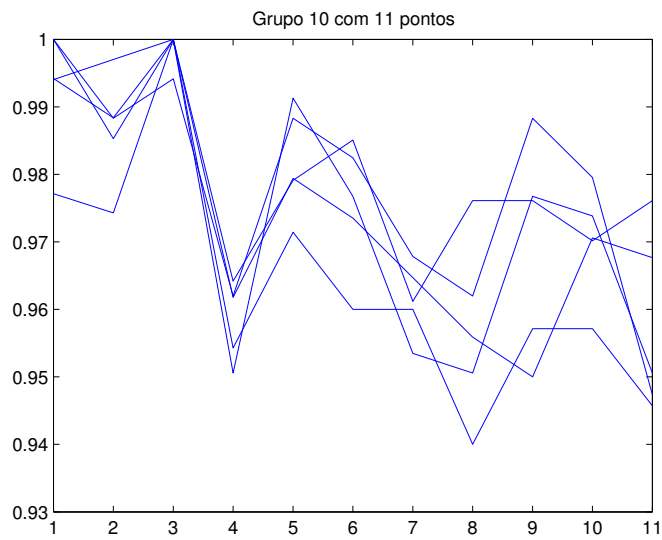
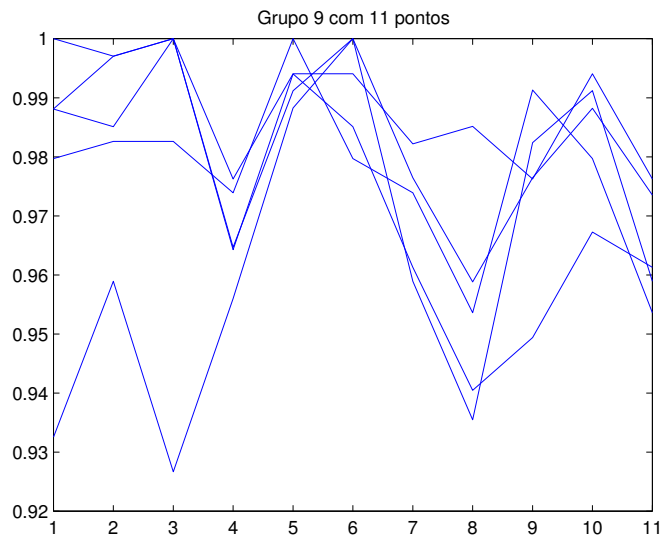
Apêndice E

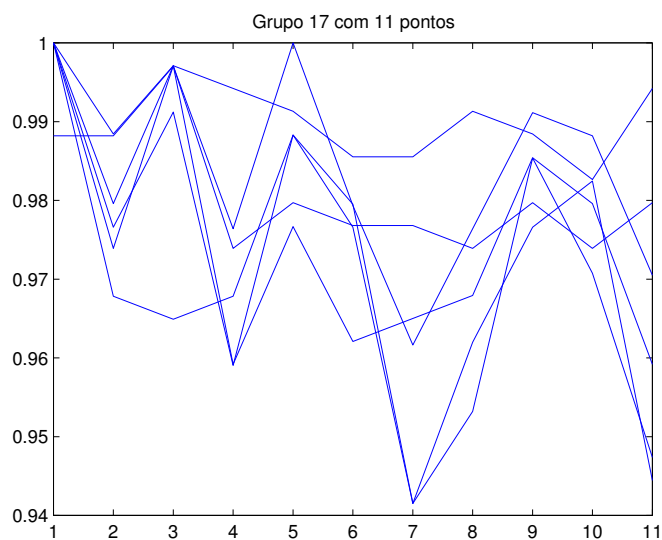
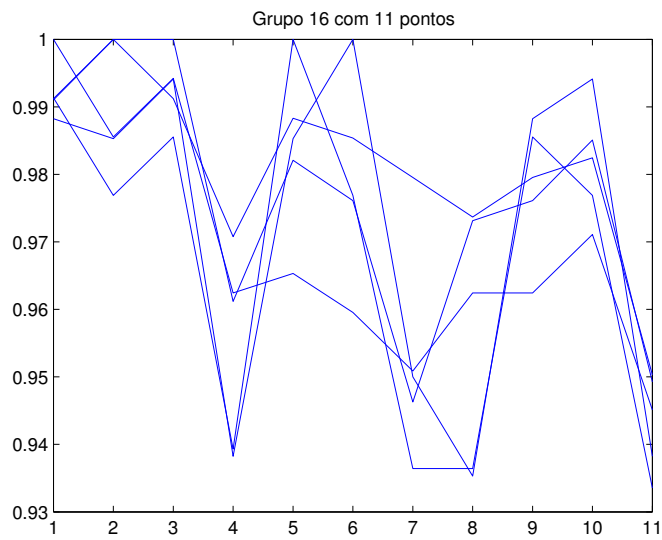
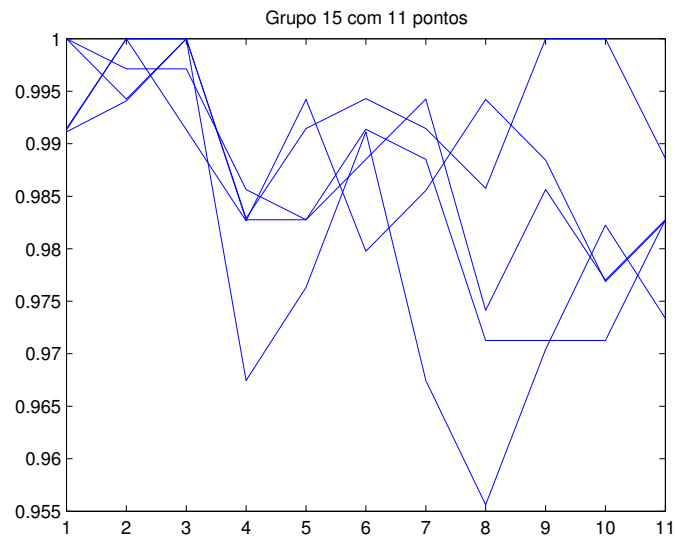
Perfis de Temperatura dos Grupos 1 a 18 com 11 Pontos

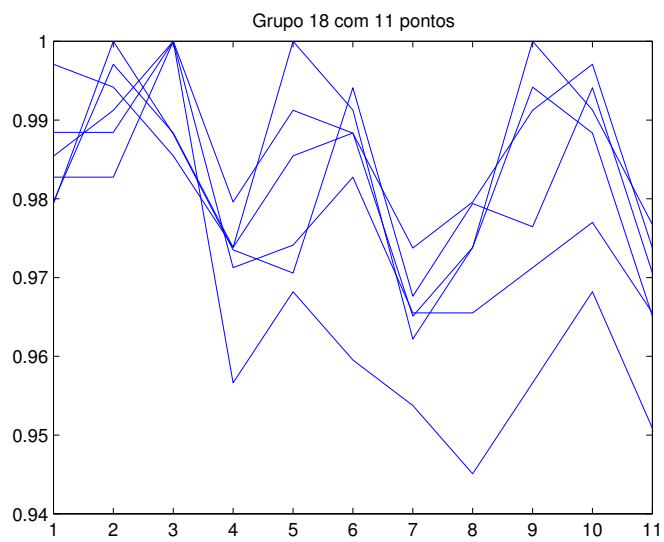






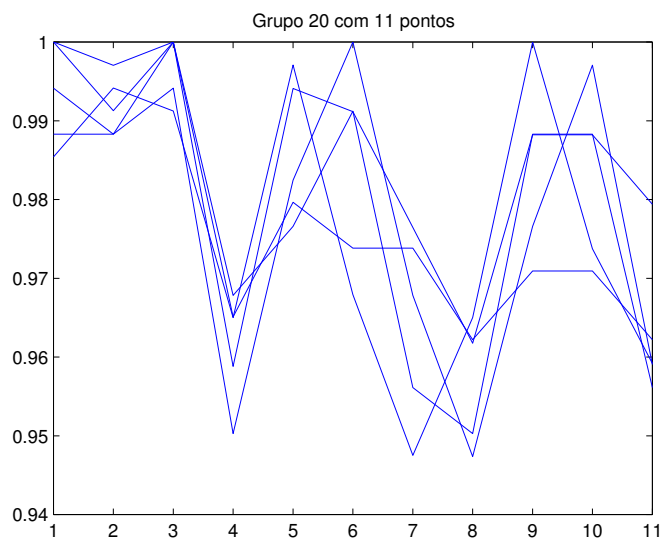
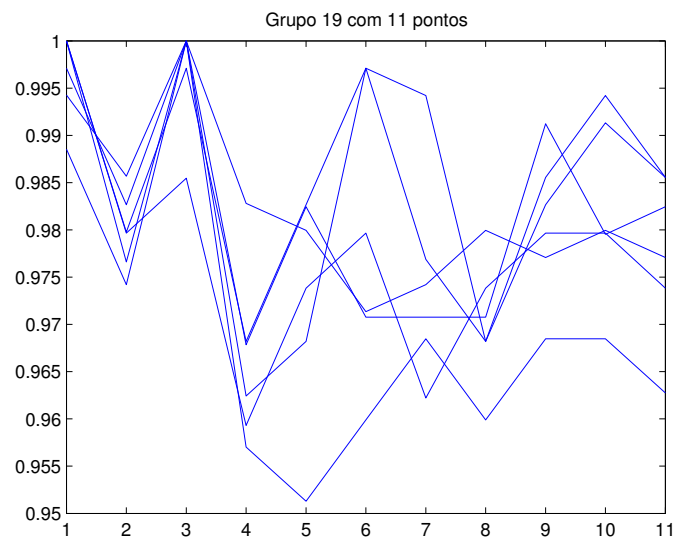


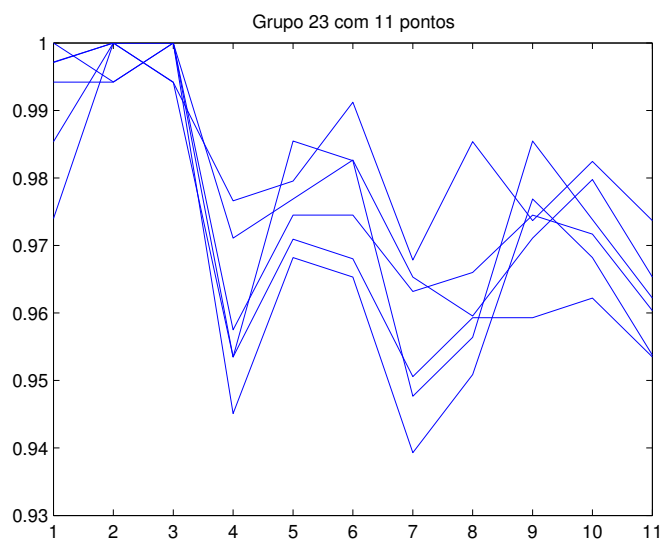
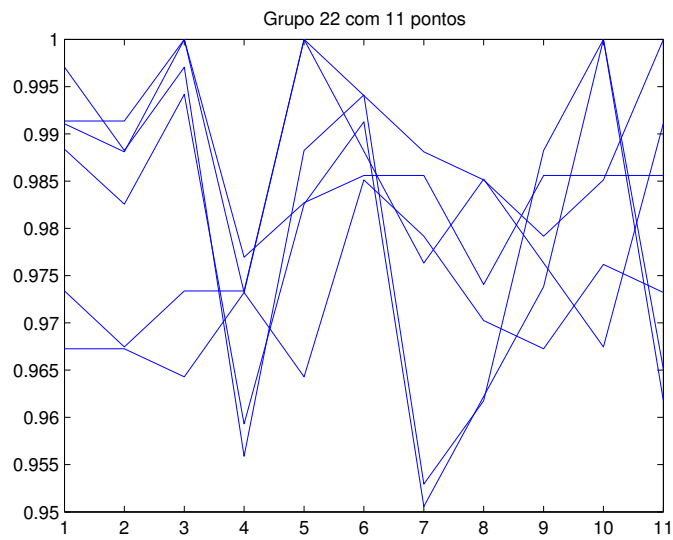
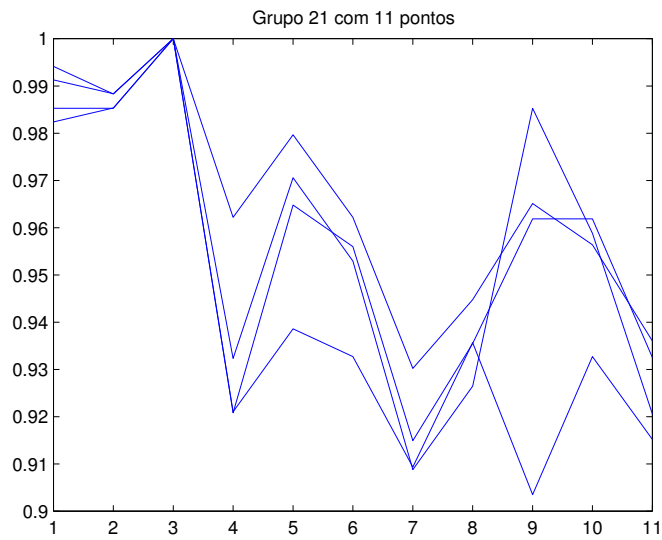


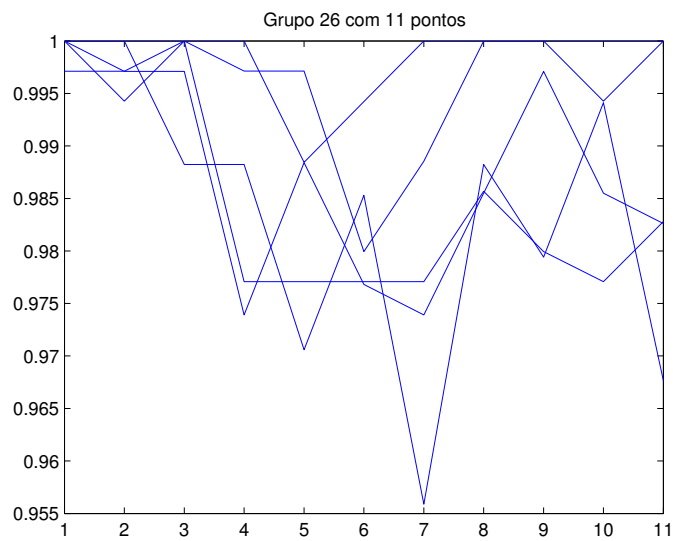
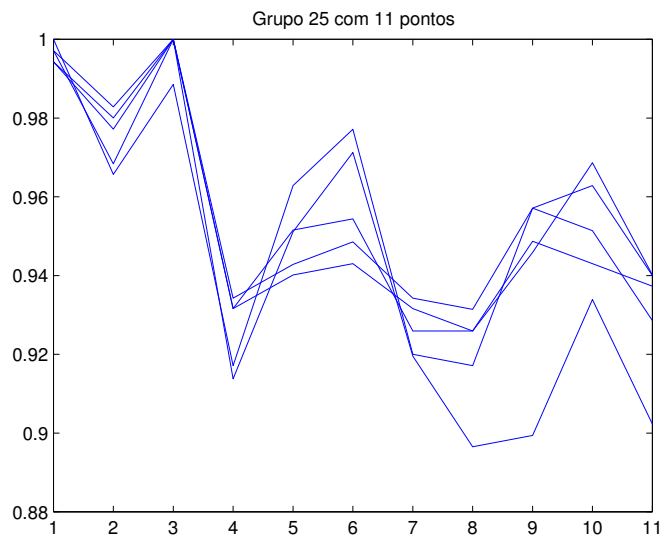
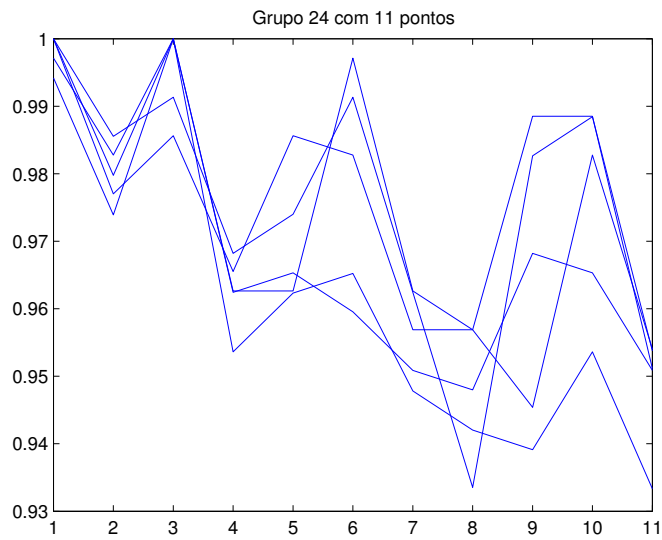


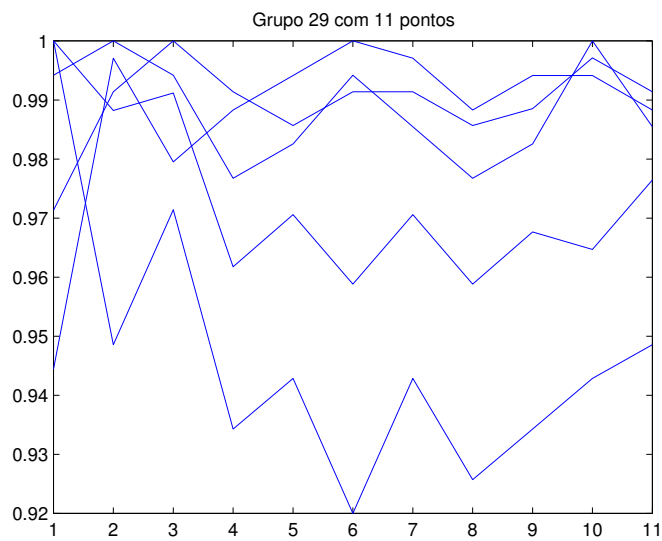
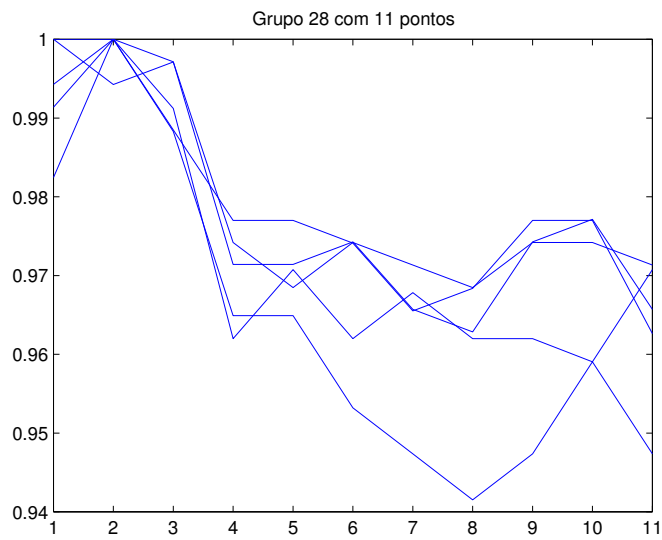
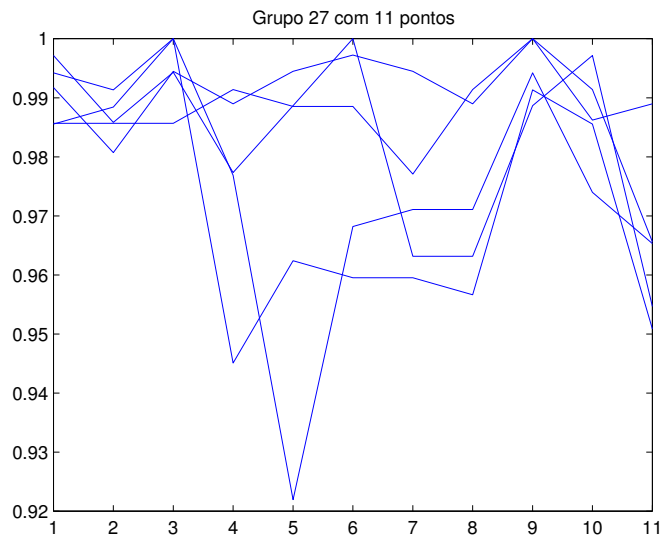
Apêndice F

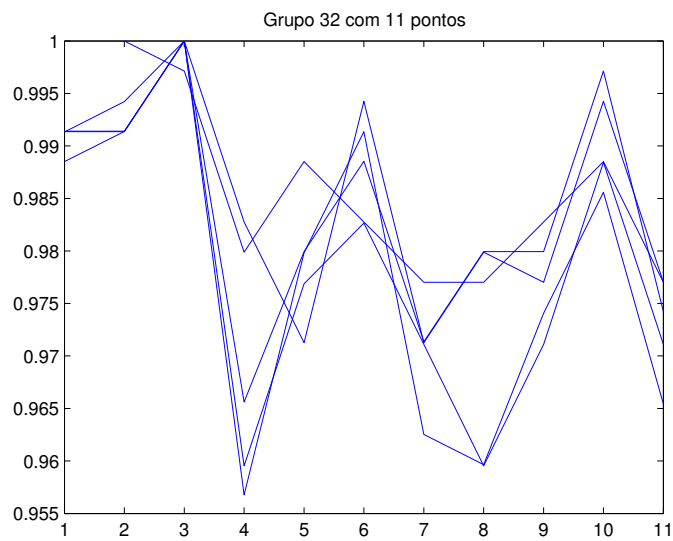
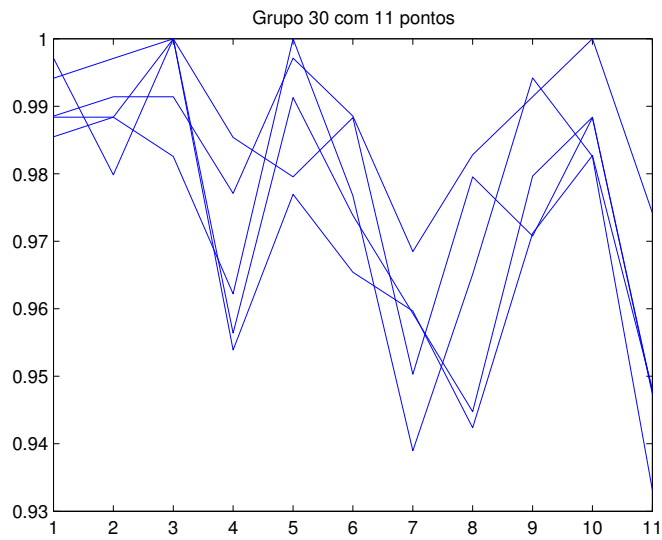
Perfis de Temperatura dos Grupos 19 a 36 com 11 Pontos

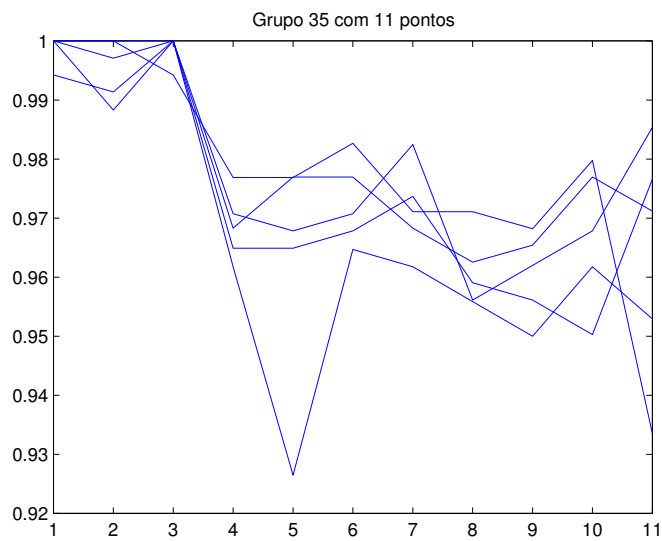
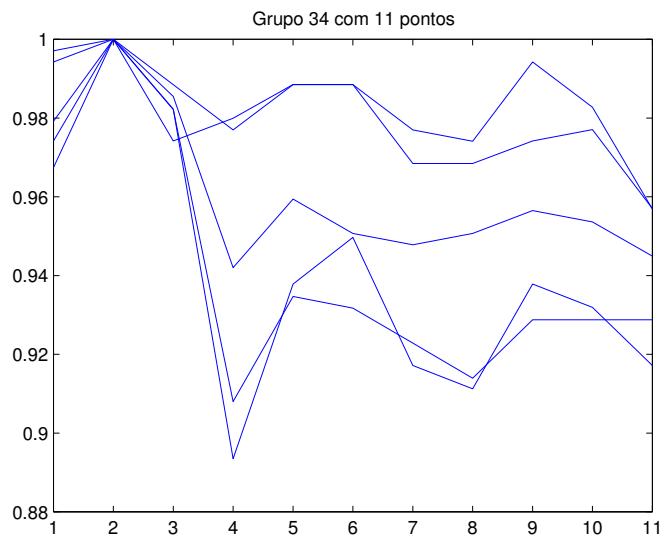
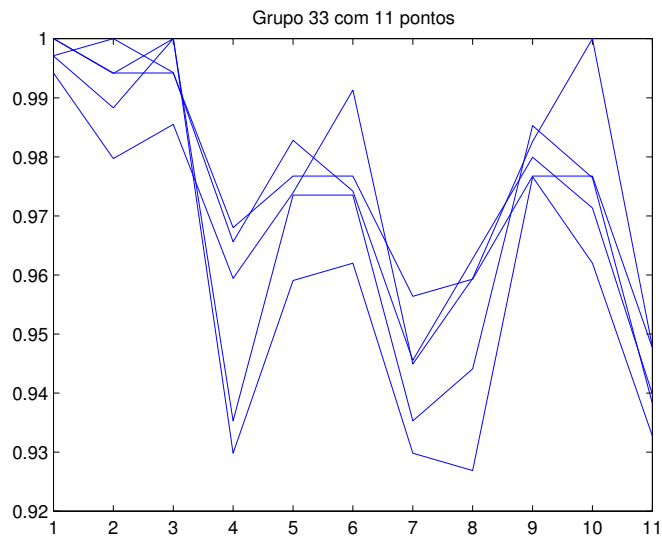


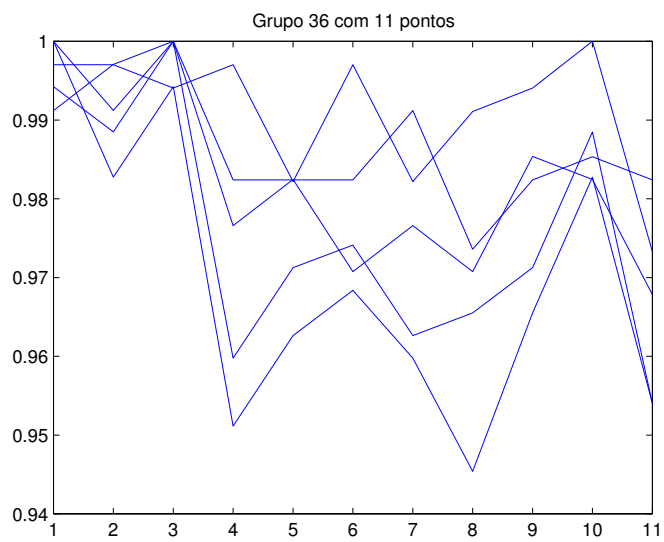












Apêndice G

Perfis de Temperatura dos Grupos 37 a 39 com 11 Pontos

