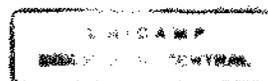


**LUÍS RENATO DA SILVEIRA COSTA**  
- Médico -

**ESTIMATIVA DO TEMPO DECORRIDO DE MORTE ATRAVÉS DA  
ANÁLISE DO ESFRIAMENTO CORPORAL**

Dissertação apresentada à Faculdade de  
Odontologia de Piracicaba da  
Universidade Estadual de Campinas, para  
obtenção do grau de Mestre em Ciências -  
Área de Odontologia Legal e Deontologia.

Piracicaba – São Paulo  
- 1998 -



1998/07

**LUÍS RENATO DA SILVEIRA COSTA**

- Médico -

**ESTIMATIVA DO TEMPO DECORRIDO DE MORTE ATRAVÉS DA  
ANÁLISE DO ESFRIAMENTO CORPORAL**

*Esta exemplar  
foi devidamente  
corrigido de acordo  
com a Resolução  
CCPG- 036/83  
18.12.98*



Dissertação apresentada à Faculdade de Odontologia de Piracicaba da Universidade Estadual de Campinas, para obtenção do grau de Mestre em Ciências - Área de Odontologia Legal e Deontologia.

**Orientador: Prof. Dr. Eduardo Daruge**

Piracicaba – São Paulo

- 1998 -

#### Ficha Catalográfica

C823e Costa, Luís Renato da Silveira.  
Estimativa do tempo decorrido de morte através da análise do  
Esfriamento corporal. / Luis Renato da Silveira Costa. – Piracicaba,  
SP : [s.n.], 1998.  
68f. : il.

Orientador : Prof. Dr. Eduardo Daruge.  
Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas,  
Faculdade de Odontologia de Piracicaba.

1. Tanatologia. 2. Corpo - Temperatura. I. Daruge, Eduardo.  
II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Odontologia  
de Piracicaba. III. Título.

Ficha Catalográfica Elaborada pela Bibliotecária Marilene Girello CRB / 8 – 6159, da  
Biblioteca da Faculdade de Odontologia de Piracicaba / UNICAMP.



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ODONTOLOGIA DE PIRACICABA



A Comissão Julgadora dos trabalhos de Defesa de Tese de MESTRADO, em sessão pública realizada em 02 de Dezembro de 1998, considerou o candidato LUIS RENATO DA SILVEIRA COSTA aprovado.

1. Prof. Dr. EDUARDO DARUGE

2. Prof. Dr. NELSON MASSINI

3. Prof. Dr. ROBERTO JOSÉ GONÇALVES

*“ A falsa ciência gera ateus; a verdadeira ciência  
leva os homens a se curvarem diante da Divindade. ”*

**Voltaire**

Aos meus filhos (*Bruno e Érica*), que sempre incentivaram meu desejo de conhecimento e que por esta razão muitas vezes foram privados do meu convívio.

À minha esposa, **KÁTIA**, pelo amor, pelo carinho e pela compreensão.

## AGRADECIMENTOS

À **Faculdade de Odontologia de Piracicaba da Universidade de Campinas – FOP/UNICAMP**, pela competência de seus professores e pelo estímulo.

À **Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)**, pelo suporte econômico para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores do Curso de Pós-Graduação em Odontologia Legal e Deontologia, **Dr. Eduardo Daruge**, orientador deste trabalho e especial amigo; e **Dr. Roberto José Gonçalves**, sempre afável e humilde em seu imenso saber.

Aos **Drs. Miguel Morano Júnior**, professor do Departamento de Odontologia Social, exemplo de dedicação e disponibilidade; e **Nelson Massini**, fonte de imensurável saber médico-legal.

Aos amigos de todas as horas e companheiros de muitas viagens, **Drs. Romildo Rabbi, André Barbosa e Célio Spadácio**.

Ao amigo e **Prof. Dr. Luis Carlos Cavalcanti Galvão** pela ajuda técnica no desenvolvimento deste tema, colaborando com subsídios importantíssimos.

Aos **funcionários da Faculdade de Odontologia de Piracicaba**, pela atenção, pela amizade e pelo respeito que sempre nos dispensaram, em especial às funcionárias **Dinoly e Célia**.

Aos **funcionários do Departamento Médico Legal de Vitória – ES**, que ajudaram de forma desinteressada e profissional quando da coleta de dados para o presente trabalho.

Aos engenheiros **Maxsuel Marcos Rocha Pereira e Adriano Marcio Sgrancio**, pela ajuda nos estudos matemáticos e estatísticos.

À **Direção da Escola de Medicina da Santa Casa de Misericórdia de Vitória – EMESCAM**, em especial à pessoa do **Dr. Carlos de Faria**, pela confiança e pelo apoio. Aos **alunos do Curso de Graduação em Medicina da EMESCAM – Vitória - ES e do Curso de Graduação em Direito da Universidade de Vila Velha – ES**, pelo incentivo.

A todos os **colegas do Curso de Pós-Graduação em Odontologia Legal e Deontologia da FOP / UNICAMP**.

A **todos** que, direta ou indiretamente, contribuíram na elaboração deste trabalho.

A **DEUS**, razão maior de tudo.

## SUMÁRIO

	Página
<b>LISTAS</b> .....	<b>01</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>02</b>
<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>04</b>
<b>REVISTA DA LITERATURA</b> .....	<b>19</b>
<b>PROPOSIÇÃO</b> .....	<b>34</b>
<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>36</b>
<b>RESULTADOS</b> .....	<b>40</b>
<b>DISCUSSÃO DOS RESULTADOS</b> .....	<b>53</b>
<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>55</b>
<b>ANEXO</b> .....	<b>58</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>61</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>63</b>

## LISTAS

<b>1. Gráficos:</b>	<b>Página</b>
Gráfico 1 – Modelo de Regressão ajustado aos dados .....	48
Gráfico 2 – Região de Aceitação ou Rejeição da Hipótese $H_0$ ....	50
<b>2. Tabelas:</b>	
Tabela 1 – Dados coletados no estudo .....	38
Tabela 2 – Determinação do tempo decorrido de morte (dados utilizados no modelo matemático) .....	44
Tabela 3 – Resultados obtidos .....	45

## RESUMO

O estudo da cronotanatognose (determinação do tempo de morte) baseia-se na avaliação dos fenômenos cadavéricos conhecidos como fenômenos consecutivos, posto que surgem algum tempo após a morte, a saber: a evaporação cutânea, os livores hipostáticos, a rigidez cadavérica e o esfriamento corporal.

Dentre esses fenômenos, somente as variações da temperatura corporal são passíveis de medição, sendo que os demais permitem, apenas, avaliações qualitativas, sujeitas à interpretação individual.

Este estudo teve por finalidade analisar o comportamento da temperatura corporal após a morte, objetivando estabelecer parâmetros que possam orientar os peritos, nas situações em que a determinação do tempo de morte se fizer necessária.

Foi observada a variação da temperatura corporal em 42 (quarenta e dois) cadáveres não identificados, vítimas de morte violenta que faleceram em um Pronto Socorro de Urgências de Vitória - ES e que posteriormente foram encaminhados ao Departamento Médico Legal de Vitória (DML). Foram registradas: a temperatura corporal e a temperatura ambiente na hora da morte; a temperatura corporal e a temperatura ambiente quando da entrada dos corpos na sala de necrópsias do DML; a temperatura corporal e a temperatura ambiente, em intervalos de 01

(uma) hora, em um total de 03 (três) medições. Como critério para a medição da temperatura corporal foi utilizada a via retal, por ser esta via menos sujeita às variações ambientais, empregando-se um termômetro de mercúrio de haste longa, cilíndrico, graduado de - 10 a 200 °C (graus centígrados), introduzido no ânus a uma profundidade de 5,0 (cinco) centímetros, com leitura feita após 05 (cinco) minutos.

Foram analisados cadáveres do sexo masculino, com idade compreendida entre 20 (vinte) e 50 (cinquenta) anos, com peso entre 70 (setenta) e 100 (cem) quilogramas, nus, em posição de decúbito dorsal, sem terem sido lavados. Os resultados obtidos foram submetidos à análise matemática e à análise estatística.

Palavras chave:    **esfriamento corporal**  
**tempo de morte**  
**cronotanatognose**

## INTRODUÇÃO

A morte, segundo ALCÂNTARA<sup>2</sup> (1982), é “a cessação completa e definitiva das funções auto-conservadoras, renovadoras e multiplicadoras da matéria orgânica que perde, assim, suas propriedades vitais”.

CARVALHO<sup>6</sup> (1992) a define como “a desintegração irreversível da personalidade, em seus aspectos fundamentais morfo-fisiológicos, de molde a fazer cessar a unidade bio-psicológica, como um todo funcional e orgânico”.

Para SIMONIN<sup>36</sup> (1966), “a morte constitui um processo que se inicia nos centros vitais cerebrais ou cardíacos e se propaga, progressivamente a todos os órgãos e tecidos, ocorrendo inicialmente a morte funcional e depois a morte tissular”.

No entender de POLSON<sup>30</sup> (1985), existem duas fases na morte: uma que se caracteriza pela extinção da personalidade, quando há imediata cessação dos processos vitais (morte somática); e outra, posterior e progressiva, na qual ocorre a desintegração dos tecidos do corpo (morte molecular).

Até recentemente aceitava-se a morte como o cessar total e permanente das funções vitais. Atualmente, este conceito foi ampliado a partir do conhecimento de que a morte não é um puro e simples cessar

das funções vitais, mas sim uma gama de processos que se desencadeiam durante um período de tempo, comprometendo diferentes órgãos, CROCE & JÚNIOR<sup>7</sup> (1995).

Dois conceitos de morte prevalecem hoje: a morte cerebral, indicada pela cessação da atividade elétrica do cérebro e a morte circulatória, indicada por parada cardíaca irreversível às manobras de ressuscitação e outras técnicas.

Independentemente do critério adotado para a caracterização da morte, o que se procura determinar, na prática, são os sinais indiscutíveis de morte: a cessação dos fenômenos vitais e o surgimento dos fenômenos ditos abióticos ou avitais (imediatos e consecutivos).

Relacionados entre os fenômenos abióticos imediatos, ou seja, aqueles que ocorrem imediatamente após a morte estão: a perda da consciência, a cessação dos batimentos cardíacos com conseqüente ausência de pulso, a cessação da respiração, a perda da sensibilidade cutânea, a abolição do tônus muscular e o relaxamento dos esfíncteres.

Entre os fenômenos abióticos consecutivos, assim chamados os que se seguem à morte, registram-se: a rigidez e o espasmo cadavéricos, os livores de hipóstase, o dessecamento e o esfriamento corpóreo.

Outras alterações orgânicas, essencialmente de natureza bioquímica, são descritas entre os fenômenos consecutivos à morte: a formação dos gases de putrefação, o aparecimento da mancha verde

abdominal, o aparecimento dos cristais de Westenhoffer-Rocha-Valverde no sangue putrefeito, as modificações do ponto de congelação (crioscopia) do sangue, o crescimento dos pêlos da barba, o estudo do conteúdo estomacal e do conteúdo vesical, as alterações observadas ao exame de fundo de olho, as alterações bioquímicas do líquido cefaloraquiano, as modificações da pressão intra-ocular, além das variações de concentração do íon potássio e de outras substâncias no humor vítreo.

RODRIGUES, A.C.<sup>33</sup> (1963), em sua tese de livre-docência, estudou o tempo da morte pela tonometria do globo ocular. Após a morte, há perda de líquido ocular, com diminuição da pressão do globo, que sofre uma retração característica. O autor conseguiu medir, indiretamente, o volume perdido, injetando água na câmara anterior do olho até obter aspecto normal. Com apropriada técnica estatística, relacionou o volume injetado (equivalente ao perdido) com o tempo de morte, e elaborou uma tabela para consulta e verificação indireta.

Todos estes fenômenos são passíveis de estudo, quando o diagnóstico cronológico da morte (cronotanatognose ou tanatocronodiagnose) se faz necessário; entretanto, a maioria das alterações bioquímicas requer, para sua caracterização e sistematização aparelhos especiais e técnicas próprias, recursos estes nem sempre à disposição da maioria dos serviços periciais do país.

Um dos mais interessantes assuntos em medicina forense é o estudo do tempo decorrido de morte, quando se busca, através de análises e avaliações diversas, estimar com maior precisão este período.

Na prática pericial, várias são as situações em que se torna necessário estimar o tempo decorrido de morte, como forma de atender aos questionamentos da Justiça.

Na esfera civil, não raramente há necessidade de determinar quem morreu primeiro, se o pai ou o filho pois, na dependência da ordem de falecimento, uma herança pode ir para uma ou outra família.

O artigo 11º. do Código Civil Brasileiro estabelece: *“Se dois indivíduos falecerem na mesma ocasião, não se podendo averiguar se algum dos comorientes precedeu ao outro, presumir-se-ão simultaneamente mortos”*.

Na área criminal, seja para confirmar ou contestar álibis, seja com a finalidade de se estabelecer a dinâmica do fato criminoso, ou ainda para que se possa tentar reconstituir os últimos passos da vítima, também o perito é chamado a estimar a hora da morte.

É comum, nos filmes policiais, o perito afirmar, com absoluta precisão, o tempo de morte, lançando mão apenas dos seus sentidos, como a visão e o tato. Entretanto, rotineiramente, este profissional depara-se com uma enorme dificuldade em tal caracterização, em virtude

da inespecificidade dos dados habitualmente analisados, em sua maioria de avaliação qualitativa, permeados, portanto, de grande subjetividade.

Segundo KNIGHT<sup>24</sup> (1988), o perito de hoje passou a contar com recursos mais específicos para esta análise, como: tabelas de esfriamento corpóreo, dosagens bioquímicas dos fluidos orgânicos, tabelas de avaliação da excitabilidade muscular, entre outros. Mesmo que o profissional pudesse utilizar, em sua atividade pericial, todos esses dados, ainda seria difícil estimar, com absoluta precisão, a hora da morte, tantas são as variáveis a interferir na evolução dos fenômenos cadavéricos, GOMES<sup>15</sup> (1997).

A cronotanatognose desperta hoje, entre os profissionais que se dedicam à ciência legispericial, grande interesse.

Dentre os fenômenos que permitem uma avaliação mais aproximada da hora real da morte e que tem sido habitualmente utilizados, destacam-se, principalmente, a **rigidez cadavérica**, os **livores de hipóstase** e o **esfriamento corporal**.

### **Rigidez cadavérica**

A **rigidez cadavérica**, fenômeno de ordem química, é bastante conhecida. É uma variante da contração muscular provocada pela escassez de oxigênio nos tecidos e conseqüente acidificação. Na instalação da **rigidez cadavérica** desempenha um importante papel a

adenosina tri-fosfato (ATP) e o estado de hidratação das fibras musculares, CARVALHO<sup>6</sup> (1992). Sua instalação depende do número total de fibras musculares, sendo mais demorada quanto maior for o número de fibras ou a massa muscular. O estabelecimento da **rigidez** muscular não é, portanto, uniforme e sofre interferência da temperatura ambiental, com as temperaturas baixas acelerando o seu aparecimento, ocorrendo o contrário na vigência de temperaturas elevadas.

FÁVERO<sup>11</sup> (1980), considera que a **rigidez cadavérica**, fenômeno estritamente de origem muscular, não falta nunca. E salienta que algumas substâncias desidratantes podem precipitar o aparecimento da **rigidez**, como o éter, o clorofórmio, o cloral, o cloreto de cálcio e o álcool absoluto.

Registra ainda este autor que a **rigidez**, seguindo à Lei de Nysten-Sommer, se inicia pela mandíbula e nuca, para depois estender-se ao tronco e aos membros superiores, instalando-se, finalmente, nos músculos da pelve e dos membros inferiores, desaparecendo, na mesma ordem em que surgiu, após desintegração das fibras musculares.

Segundo FRANÇA<sup>14</sup> (1995), o aparecimento da **rigidez** pode ser tardio ou extremamente precoce surgindo, em geral, na mandíbula e na nuca da 1<sup>a</sup> à 2<sup>a</sup> hora após o óbito; da 2<sup>a</sup> à 4<sup>a</sup> hora nos membros superiores; da 4<sup>a</sup> à 6<sup>a</sup> hora nos músculos torácicos e abdominais e, finalmente, entre a 6<sup>a</sup> e a 8<sup>a</sup> hora nos membros inferiores. Acrescenta que

a **rigidez** desaparece na mesma seqüência, ocorrendo a flacidez muscular completa em torno de 36 (trinta e seis) a 48 (quarenta e oito) horas após a morte.

SIMONIN<sup>36</sup> (1966), refere-se à **rigidez cadavérica** caracterizando seu início 03 a 06 horas após a morte; seu completo estabelecimento por volta da 13<sup>a</sup> hora, desaparecendo assim que começa o processo de putrefação, 01 (um), 2 (dois) ou vários dias após a morte. Salienta ainda que uma série de fatores podem acelerar ou retardar seu aparecimento e sua duração, como por exemplo: as vestes utilizadas pelo cadáver, seu estado de nutrição, sua idade e a temperatura ambiente.

Sabidamente, o frio acelera o estabelecimento da **rigidez**; as roupas retardam seu aparecimento e desaparecimento; na criança e nos velhos o fenômeno é menos duradouro; pode não se completar nos casos de caquexia, sendo precoce e intensa em indivíduos que lutam antes de morrer, ALCÂNTARA<sup>2</sup> (1982).

A **rigidez** pode instalar-se, em alguns casos, de maneira instantânea, o que se configura como espasmo cadavérico, ficando a musculatura fixada na atitude em que se encontrava o indivíduo na hora da morte, CARVALHO<sup>6</sup> (1992).

A **rigidez cadavérica**, portanto, é um fenômeno cadavérico consecutivo, constituindo-se em sinal preciso de morte, mas que possui

valor relativo e limitado quando se objetiva a determinação da hora da morte, por ser avaliada através de critérios qualitativos.

No estudo da cronotanatognose, a **rigidez cadavérica** não deve ser considerada isoladamente.

#### **Livores de hipóstase:**

Os **livores ou manchas de hipóstase** são originados pela deposição de sangue nas partes declivosas do cadáver. A parada da circulação torna a pressão nula nos vasos, atuando sobre o sangue apenas uma força, a da gravidade. Isto faz com que o sangue se desloque para as porções mais baixas do corpo.

Os cadáveres, em geral, são colocados em posição de decúbito dorsal e, por este motivo, os **livores de hipóstase** são mais comumente observados nas partes posteriores do corpo; entretanto, se a posição do cadáver for outra, as zonas de aparecimento dos **livores** serão distintas.

O aparecimento dos **livores de hipóstase** se dá em torno de 2 (duas) a 3 (três) horas após a morte, apresentando-se inicialmente, em forma de estrias, arredondadas ou alongadas, para posteriormente, se agruparem em placas, estendendo-se por extensas áreas corporais, CROCE & JÚNIOR<sup>7</sup> (1995).

FÁVERO<sup>11</sup> (1980), destaca que os **livores de hipóstase** se tornam bastante visíveis entre 2 (duas) a 3 (três) horas após a morte, fixando-se

em torno de 12 (doze) horas; após este período, pode-se colocar o cadáver em outro decúbito, e as manchas permanecerão, embora empalideçam um pouco. Ainda segundo este autor, **as manchas de hipóstase**, em geral, são arroxeadas, podendo apresentar-se com tonalidade vermelho-escuro, tendendo à cor de vinho.

Aparecem, de início, sob a forma de um pontilhado e, posteriormente, estas áreas de **hipóstase** vão se fundindo em manchas mais amplas, CARVALHO<sup>6</sup> (1992).

A cor da pele, a transparência desta e a causa da morte concorrem para a variação da tonalidade das **hipóstases**, apresentando tonalidade vermelho-carmim nas mortes por monóxido de carbono; tonalidade marrom na morte pelo clorato de potássio e tonalidade vermelho-claro nas asfixias por submersão.

De acordo com SIMONIN<sup>36</sup> (1966), os **livores** ocorrem em geral, 3 (três) a 5 (cinco) horas após a morte, aparecendo mais rapidamente nos casos de morte súbita, nas asfixias e nas intoxicações, e mais lentamente se a morte ocorreu devido a uma hemorragia ou anemia.

Nos melanodermas, as **hipóstases** são difíceis de serem observadas e variam também de acordo com a causa da morte, sendo menos evidentes e mais pálidas nos casos de hemorragias intensas.

Os **livores** não surgem, entretanto, nos pontos de apoio do corpo, devido à compressão sobre os vasos.

Estudos mostram que a análise dos **livores**, seu aparecimento e fixação, pode contribuir, de alguma forma, no estudo da cronotanatognose, constituindo-se, também, em método complementar, sujeito à possíveis falhas em sua caracterização, devido à subjetividade que permeia esta avaliação.

### **Esfriamento corpóreo:**

A temperatura interna do organismo vivo permanece, quase sempre constante, com pequenas variações (0,4 a 0,6°C), GUYTON<sup>16</sup> (1969).

Os mecanismos que garantem a manutenção da temperatura interna, representam um sistema extremamente organizado, comandado por um centro regulador localizado no hipotálamo.

Além de neurônios sensíveis ao calor, participam do processo outros receptores térmicos localizados na pele (receptores cutâneos) e em alguns órgãos do corpo (receptores viscerais).

A superfície corporal tem uma importância muito grande no controle termo-regulador, posto que é através desta superfície que ocorrem as trocas de calor com o meio ambiente, através dos processos físicos de radiação, condução, convecção e evaporação.

A superfície corporal emite constantemente calor, sob a forma de ondas eletromagnéticas.

Simultaneamente todos os outros objetos densos também irradiam calor. A velocidade de emissão é determinada pela superfície radiante. Assim, se a superfície corporal está mais quente que a média das várias superfícies do meio, há uma perda resultante de calor.

O sol é um poderoso radiador, e uma exposição direta a seus raios reduz grandemente a perda de calor por irradiação.

A condução é a troca de calor não por energia radiante, mas simplesmente por transferência de energia térmica de átomo para átomo e de molécula para molécula. O calor se move a favor de um gradiente de concentração, e assim a superfície corporal ganha ou perde calor por condução somente através do contato direto com substâncias mais frias ou mais quentes, incluindo, naturalmente, o ar.

Já a convecção é o processo pelo qual o ar (ou a água) próximo ao corpo é aquecido, se desloca e é substituído por ar frio (ou por água), que por sua vez segue o mesmo padrão. Isto está sempre ocorrendo, porque o ar quente é menos denso e sobe, facilitado naturalmente por ação do vento (forças externas).

Fica claro então que a perda de calor por radiação e condução é determinada pelas diferenças de temperatura entre a superfície corporal e o meio ambiente.

É conveniente visualizar o corpo como um núcleo circundado por um envoltório, constituído pela pele e pelo tecido subcutâneo, cuja

capacidade isolante pode ser variada. É a temperatura do núcleo central que está sendo regulada aproximadamente a 38°C; em contraste, a temperatura externa da pele modifica-se acentuadamente. Fosse a pele um isolante perfeito, nenhum calor do núcleo seria perdido; a superfície externa da pele se igualaria com a do meio ambiente e a condução ou radiação resultantes se tornaria zero.

A pele, entretanto, não é um isolante perfeito, de modo que a temperatura de sua superfície externa fica entre a do meio ambiente e a do núcleo central.

De grande importância para a regulação da temperatura do núcleo central é que a potencialidade da pele, como isolante, está sujeita a um controle fisiológico pela alteração do fluxo sanguíneo para a pele. Quanto mais sangue alcança a pele, proveniente do núcleo central, tanto mais a temperatura da pele se aproxima da do núcleo. Com efeito, os vasos sanguíneos diminuem a capacidade isolante da pele, transportando o calor para a superfície. Embora tenhamos falado da temperatura cutânea como se fosse uniforme por todo o corpo, certas áreas participam muito mais do que outras nas respostas vasomotoras; conseqüentemente, as temperaturas cutâneas variam com a localização.

Outros dois mecanismos importantes alteram a perda de calor por radiação e condução: alterações na área de superfície e a roupa. Dobrar-se como uma bola, encolher os ombros e manobras semelhantes em

respostas ao frio, reduzem a área de superfície exposta ao meio ambiente, dessa forma reduzindo a radiação e a condução.

Em seres humanos, portanto, a roupa é também um importante componente da regulação da temperatura, substituindo os efeitos isolantes das penas, nas aves, e do pêlo em outros mamíferos. A pele perde calor diretamente para o espaço de ar aprisionado pelas roupas; as roupas por sua vez, retém o calor da camada interna de ar e o transfere para o meio externo. A capacidade isolante da roupa deve ser considerada.

Para a perda do calor corporal temos, ainda, a evaporação de água da pele e das membranas de revestimento do trato respiratório. Energia térmica é necessária para transformar a água do estado líquido para o gasoso. Assim, sempre que a água evapora da superfície corporal, o calor requerido para ativar o processo é conduzido da superfície, resfriando-a por essa forma.

As mensurações realizadas em pessoas sadias, mostram que existe uma faixa de temperatura que pode ser considerada normal, faixa esta compreendida entre  $36^{\circ}\text{C}$  e  $37^{\circ}\text{C}$  (medição via axilar).

Quando se mede a temperatura por via retal, o valor obtido é aproximadamente  $1^{\circ}\text{C}$  mais alto que a temperatura tomada através da medição via axilar e  $0,5^{\circ}\text{C}$  mais alto que a temperatura tomada através da mucosa oral.

A temperatura do corpo é mantida pelo equilíbrio entre a produção interna de calor e as perdas para o meio ambiente. Uma série de reações químicas participa ativamente deste processo.

Sem o metabolismo e suas reações químicas exotérmicas nossa temperatura seria semelhante à do meio ambiente, pois as perdas estão sempre ocorrendo por irradiação, convecção e condução, GOMES<sup>15</sup> (1997).

Com a morte, cessado o metabolismo, o corpo humano tende a estabelecer um equilíbrio térmico com o meio ambiente. Entretanto, a temperatura corporal não se reduz imediatamente, podendo até aumentar no período imediato à morte, devido à manutenção de alguns processos metabólicos, visto que alguns tecidos morrem de forma gradativa.

No cadáver, a perda de temperatura por evaporação é mínima, prevalecendo no esfriamento a perda por convecção e por irradiação. A condução também participa contribuindo para o esfriamento. Sabe-se, portanto, que o cadáver não se comporta como um corpo físico homogêneo, sob o ponto de vista térmico.

Por outro lado, a depender do local do corpo onde é realizada a medição da temperatura, pode-se encontrar curvas de **esfriamento** diferentes.

Diversos outros autores, em compêndios, referem-se ao **esfriamento corporal** como sendo um dos principais processos orgânicos



passíveis de análise, no estudo da cronotanatognose, estabelecendo valores para cálculo, sem considerar as variáveis sabidamente existentes.

O **esfriamento corporal** como fenômeno físico, assume na cronotanatognose uma importância significativa, posto que, dentre os processos consecutivos à morte, é um dos poucos que permite uma análise quantitativa, através de medição sistematizada e de fácil aplicação, permitindo o registro das variações de temperatura a intervalos regulares, apesar do conhecimento de que o **esfriamento corpóreo** pode ser influenciado por diversos fatores: a temperatura e a umidade do ambiente, o arejamento, a temperatura do corpo no momento da morte, o tipo de vestuário, o estado de nutrição anterior à morte, a posição em que se encontra o cadáver, entre outros.

Em que pese todas as situações que sabidamente interferem no **esfriamento corporal**, acreditamos que seu estudo, desde que aplicado às condições climáticas locais e mediante um mínimo de sistematização, torna-se de fundamental importância na estimativa do tempo decorrido de morte, não devendo constituir-se em método único de análise, e sim em parâmetro auxiliar às demais avaliações que se enquadram no escopo da cronotanatognose.

## REVISTA DA LITERATURA

A observação de que os corpos se tornam frios após a morte foi registrada desde a antigüidade; mas, os primeiros estudos relacionando esta observação à Medicina Legal, surgiram em meados do século XIX.

Alguns destes estudos foram realizados de forma empírica, sem a metodologia necessária, não permitindo aos pesquisadores conclusões objetivas.

DAVEY<sup>9</sup> (1829), mencionou experimentos realizados em 8 (oito) soldados, na ilha de Malta, nos anos de 1828 e 1829, e, posteriormente em 10 (dez) outros, em climas mais temperados da Grã-Bretanha. Usando um termômetro de mercúrio, fez múltiplas medições durante as autópsias. Observou que, na maioria dos corpos, o esfriamento ocorria de forma muito lenta e que alguns corpos apresentavam temperaturas extremamente elevadas, atribuindo isto ao fato de que grande parte dos cadáveres estavam acometidos de processos infecciosos.

Mesmo com resultados inconclusivos afirmou: *“A aplicabilidade destes procedimentos na jurisprudência médica é óbvia. Muitos julgamentos podem ser feitos dependendo da apreciação médica e das circunstâncias, através do registro da temperatura, para fornecer aos policiais dados importantes às suas investigações, desde que se leve em consideração as variáveis que interferem neste processo.”*

HENSLEY<sup>17</sup> (1846), registrou 09 (nove) casos em que a temperatura corporal após a morte foi medida em diferentes regiões do corpo, em uma seqüência de intervalos de tempo, através da utilização de um termômetro de mercúrio. Assim como nas pesquisas de DAVEY<sup>9</sup>, entretanto, os resultados obtidos foram muito irregulares não permitindo ao pesquisador nenhuma conclusão que pudesse ser aplicável na prática pericial.

TAYLOR & WILKES<sup>38</sup> (1863), realizaram medições de temperatura em 100 (cem) cadáveres e discutiram os resultados obtidos. Uma grande falha neste estudo, considerando os conhecimentos hoje obtidos a respeito, foi a medição da temperatura através da pele da região abdominal, local que sabidamente sofre grande influência da temperatura ambiente. Além disto, em uma quarta parte dos casos analisados, não se conhecia a temperatura corporal no momento da morte.

Os registros foram feitos de forma aleatória, sem sistematização e não conseguiram conclusões importantes. Os autores, salientaram, no entanto, que não se justificava a prática, então utilizada, de se avaliar a temperatura dos corpos através das mãos; e observaram, outrossim, que nas mortes por asfixia o esfriamento corporal ocorria mais lentamente.

Contestaram a teoria de que grandes perdas de sangue aceleravam a queda da temperatura.

RAINY<sup>31</sup> (1868), defendeu a medição da temperatura retal como método mais seguro na análise do esfriamento corporal e introduziu conceitos matemáticos neste estudo.

Realizou 05 (cinco) medições seqüenciais, em 46 (quarenta e seis) corpos e calculou um quociente de esfriamento por hora.

Divulgou pela primeira vez uma fórmula que requeria o uso de logaritmos e preconizou que, com o uso de seus cálculos, o tempo obtido seria sempre inferior ao verdadeiro, devido ao “efeito plateau”, efeito este explicado pelo fato de que após um determinado período de esfriamento regular, as variações de temperatura são menores.

Este autor acreditava que o processo de esfriamento poderia ser representado por uma curva inicial rápida de esfriamento, um período de queda mais lenta e por fim uma estabilização.

BURMAN<sup>5</sup> (1880), estudando o comportamento da temperatura corporal após a morte, descreveu o uso de um termômetro axilar que possuía um ângulo voltado para a direita.

Realizando medições seqüenciais na região axilar de cadáveres, registrou uma queda média da temperatura, da ordem de 1,6°C por hora, nas amostras observadas. Seus gráficos não mostravam uma curva “plateau”. Registrou que a queda da temperatura se dava mais rapidamente, quando a temperatura inicial do corpo era mais elevada. Não há referências à metodologia utilizada.

WOMACK<sup>40</sup> (1887), estudou o processo de esfriamento corporal após a morte, registrando as temperaturas do abdome. Em seu estudo, utilizou termômetros especiais, com tubos planos de vidro, que eram presos na pele do abdome, com plástico adesivo. A temperatura era medida após 05 (cinco) horas, quando se calculava o tempo decorrido de morte.

Elaborou conclusões que envolviam cálculos complexos, incluindo a teoria newtoniana de esfriamento, que levava em consideração a massa total do corpo e sua área, admitindo, entretanto, que as alterações químicas que se seguiam à morte, geravam uma imprecisão em relação às medições de temperatura.

Observou, ainda, que variações ambientais de até 10°C não alteravam significativamente os resultados encontrados.

CUNHA<sup>8</sup> (1925), em estudo realizado em São Paulo, mostrou que o esfriamento dos corpos até o equilíbrio com a temperatura ambiente se fazia, nas crianças, em torno de 20 (vinte) horas e, nos adultos de boa compleição física, em torno de 24 (vinte e quatro) a 26 (vinte e seis) horas.

Estabeleceu que, em geral, a queda da temperatura em nosso meio, ocorria na proporção de 1,5°C por hora; em seus estudos, utilizou a tomada da temperatura axilar como padrão. Recomendava, entretanto, para fins de comparação, a medição simultânea da temperatura retal.

SHAPIRO<sup>35</sup> (1954), analisando alguns trabalhos sobre o tema, contestou alguns autores, tecendo considerações várias. Defendeu a presença de uma curva de esfriamento com efeito “plateau”, quando a queda da temperatura ocorreria mais lentamente.

DE SARAM<sup>10</sup> (1955), estudou 41 (quarenta e um) corpos, executados criminosamente, e considerou como fatores variáveis, que acreditava influir no esfriamento corpóreo após a morte: a umidade do ar, temperatura ambiente e área da superfície corporal.

De posse da temperatura retal, observou que havia um período de retardamento da queda da temperatura imediatamente após a morte, o que era explicado pelo atraso no estabelecimento do gradiente de temperatura das vísceras (principalmente do coração) e no estabelecimento de algumas atividades metabólicas após a morte.

Elaborou uma complexa fórmula matemática, tomando por base seus estudos, quantificando as perdas por radiação, convecção, evaporação e condução, que se mostrou de difícil aplicação prática.

WEBSTER<sup>39</sup> (1957), estudando 57 (cinquenta e sete) corpos, tentou consolidar e aplicar os cálculos feitos por DE SARAM<sup>10</sup>, incorporando fatores de correção, mas não obteve grande aceitação entre os estudiosos do assunto. A literatura não registra a metodologia utilizada, nem os resultados obtidos.

LYLE & CLEVELAND<sup>25</sup> (1957), estudaram o fenômeno do esfriamento através de temperaturas obtidas no tecido cerebral e no reto, iniciando as medições 02 (duas) horas após a morte.

Concluíram que o cérebro era o local mais preciso para tal estudo, por sofrer menor influência das variações ambientais.

Confirmaram a existência de uma curva de esfriamento, estabelecendo que havia uma queda inicial, proporcionalmente maior, da temperatura nas primeiras horas após a morte e variações menores nas horas subsequentes.

FIDDES & PATTEN<sup>12</sup> (1958), divulgaram um estudo que mostrou que o índice médio de esfriamento por hora, nas primeiras 12 (doze) horas após a morte, foi de 1,5°C, com variação de aproximadamente 70% para mais ou para menos, independentemente das condições ambientais, variação esta considerada demasiadamente ampla e de aplicabilidade duvidosa.

De posse do potencial de esfriamento construíram uma curva logarítmica, observando que as variações ambientais geravam pequenos percentuais de erro. A metodologia utilizada em tal estudo também não foi descrita.

SELLIER<sup>34</sup> (1958), defendeu a tese de que o fator que mais influenciava a perda de calor no cadáver era o raio do corpo.

Em aplicação prática, concluiu que a margem de erro, ao se tentar determinar o intervalo decorrido de morte através exclusivamente da medição da temperatura corporal (via retal), era de 40 (quarenta) minutos a 01 (uma) hora, independentemente de fatores ambientais.

MARSHALL<sup>26</sup> (1960), mediante sofisticados cálculos matemáticos, auxiliado pelo físico Hoore, elaborou uma fórmula objetivando determinar a “curva de esfriamento”, fórmula esta que seria aplicável a qualquer corpo, pois considerava como variáveis peso e altura.

Esta fórmula utilizada nos anos seguintes mostrou-se falha e foi contestada pelo próprio autor.

JAMES & KNIGHT<sup>22</sup> (1965), publicaram uma revisão prática analisando os erros encontrados nas pesquisas sobre esfriamento corporal. Analisaram 100 (cem) corpos e, utilizando um cálculo simples e linear, porém com modificações arbitrárias e baseadas em experiências de outros autores, registraram erros substanciais.

Concluíram que, por falta de sistematização nos estudos até então feitos, a sub-estimativa do tempo de morte era mais comum do que se poderia supor, podendo a diferença entre o intervalo apurado e o intervalo real chegar ao dobro do encontrado.

Preconizaram, pela primeira vez, que estes estudos não poderiam ser aplicados indistintamente e que na dependência do local,

considerando a variabilidade da temperatura ambiente, a curva de esfriamento apresentaria um perfil distinto.

JOSEPH & SCHIEKELE<sup>23</sup> (1970) realizaram um trabalho, baseado em conhecimentos de física, avaliando a perda de calor, utilizando a teoria do “cilindro infinito”, com cálculos matemáticos a partir de medidas do tronco dos cadáveres. Os resultados encontrados não foram passíveis de aplicação prática e em nada contribuíram para os avanços no estudo do comportamento da temperatura corporal após a morte.

RENTOUL & SMITH<sup>32</sup> (1973), propuseram uma fórmula de cálculo que desconsiderava variações como temperatura ambiente, vestuário, área corporal, posição, etc., e admitiram que o esfriamento se faz de maneira célere, em média com perda de 1,5°C por hora. Assim, o tempo decorrido entre a morte e o momento do exame seria calculado pela seguinte fórmula:

$$H = \frac{N - C}{1,5} \quad ,$$

onde o tempo em horas (H) seria dado pela diferença entre a temperatura retal normal (N) que seria da ordem de 37,2°C, e a temperatura retal do cadáver quando do exame (C), dividida pela constante 1,5.

SIMONSEN<sup>37</sup> (1977), fez uma revisão de literatura sobre o tema e em seguida realizou um trabalho experimental monitorando a queda da

temperatura corporal após a morte, com amostragem de 20 (vinte) casos, utilizando condições ambientais estritamente controladas.

Concluiu que, de todas as áreas corporais passíveis de análise, o cérebro era o local mais adequado para a medição da temperatura, por oferecer maior precisão e que variações de até 10°C na temperatura ambiente, não influenciavam significativamente os resultados.

Afirmou o autor, entretanto, que o cálculo da hora da morte, utilizando apenas a observação do esfriamento corpóreo, estaria sempre encoberto por uma margem de erro (não determinado percentualmente) e recomendou a associação deste dado com outros parâmetros.

HIRSCH; MORRIS & MORITZ<sup>20</sup> (1979) salientaram que o registro da temperatura corporal, na estimativa do tempo decorrido de morte, é de fundamental importância quando se trata de morte de natureza violenta.

Ressaltaram que, durante as primeiras 24 (vinte e quatro) horas após a morte, a determinação da temperatura interna do corpo é um dos métodos úteis para a estimativa da duração do intervalo decorrido de morte.

Constataram que adultos com peso e estatura média, expostos a uma temperatura média de 15 a 20°C, apresentam um índice de esfriamento de 2°C por hora (nas primeiras horas) e de 1°C por hora (nas horas posteriores) até que ocorra o equilíbrio térmico; caracterizaram

ainda, que a perda de calor, após a morte, é acelerada se a temperatura ambiente for baixa e na presença de correntes de ar. Os autores não fazem referência à metodologia utilizada em tal estudo.

Em seus estudos registraram, também, que a queda da temperatura corporal é acelerada em algumas condições especiais, como por exemplo: ambientes frios, ambientes que possuem fortes correntes de ar, locais de baixa umidade e quando o corpo permanece em contato com água fria.

Ainda segundo estes autores, a estimativa do tempo de morte, através da análise da temperatura corporal, é especialmente importante quando se consegue registrar a temperatura do local onde o corpo foi encontrado. Na análise, recomendam que sejam feitas medições seqüenciais da temperatura a intervalos de 1 hora (no mínimo duas), para obtenção de dados mais conclusivos.

FÁVERO<sup>11</sup> (1980), salienta que os cadáveres de adultos se esfriam, em igualdade de circunstâncias, mais morosamente que os de crianças e velhos, isto pela proteção maior da camada gordurosa subcutânea e as proporções diferentes da área de irradiação, relacionadas ao volume corporal.

Acrescenta ainda que, em relação à constituição, os indivíduos mais corpulentos, mais musculosos e com maior teor de gordura se esfriam mais devagar.

Em relação à *causa mortis*, refere-se à influência dos estados febris no retardamento do equilíbrio térmico, considerando que em certos estados mórbidos como cólera, tétano, meningite, varíola, escarlatina, a temperatura *post-mortem* pode elevar-se acima de 40° C, com a queda da temperatura corporal ocorrendo de forma anômala e irregular. Por outro lado, doenças de natureza crônica, afebris, que exaurem e consomem o organismo, produzirão também variações irregulares de temperatura, nesse caso acelerando o equilíbrio térmico, como na tuberculose, no câncer e nas síndromes que cursam com baixa de defesa orgânica.

HIRAIWA et al.<sup>19</sup>, (1980), utilizando a tomografia computadorizada e realizando medições no cérebro e no reto, defenderam a tese de que a flutuação da temperatura ambiente, em menos de 2°C, exerce pequena influência na precisão desta análise.

POLSON; GEE & KNIGHT<sup>30</sup> (1985), divulgaram, que a determinação da temperatura retal é método obrigatório na investigação de toda morte que ocorre em condições suspeitas, exceto quando as evidências indicam que a morte ocorreu há mais de 24 ou 36 horas, quando a temperatura corporal, na grande maioria dos casos, já se igualou à temperatura ambiente e quando os fenômenos cadavéricos transformativos destrutivos (autólise e putrefação) já estão presentes.

Os autores ressaltam que a análise do comportamento da temperatura corporal tem importância fundamental e decisiva em climas

frios, posto que em climas tórridos, em zonas tropicais, a queda da temperatura após a morte pode ser mínima ou mesmo ausente e lembram que, no contexto forense, a medição da temperatura é necessária sempre que se necessita determinar a hora da morte, sendo que esta determinação deve considerar também os demais fenômenos cadavéricos consecutivos: a rigidez e os livores.

Estabelecem os autores que a temperatura corporal normal não se fixa em um único ponto, varia de acordo com o local do corpo onde se faz a medição e de acordo com o metabolismo orgânico (aumentando em períodos do ciclo menstrual, na mulher), chegando a apresentar variações durante o dia. Ressaltam os autores que, se considerarmos como normal a temperatura de 37°C, devemos considerar a temperatura retal como sendo no mínimo 1°C mais alta.

Recomendam que se utilize um termômetro de mercúrio, por via retal, inserindo-o a uma profundidade de 3 (três) a 4 (quatro) centímetros, fazendo a leitura após 5 (cinco) minutos.

Consideram, os autores, que a queda da temperatura corporal é em média 1,5°C por hora, sem mencionarem metodologia adotada para tal estudo.

Destacam ainda, os autores, que, devido à praticidade da medição da temperatura corporal, e devido ao fato de ser de fundamental importância o estabelecimento do tempo decorrido de morte, existe na

literatura forense um enfoque centrado nesta análise. Salientam, entretanto, que outros fatores devem ser considerados na determinação do intervalo após a morte, como as alterações químicas, a rigidez, a atividade elétrica, etc.

Com relação à temperatura do corpo na hora da morte, registram os autores que a maioria dos cálculos aponta para um ponto “0” (zero) de 37°C (medição axilar) e 38°C (medição retal).

AL-ALOUSHI & ANDERSON<sup>1</sup> (1986), através da termografia de microondas, utilizaram medições no cérebro, obtendo resultados semelhantes aos de HENSSGE<sup>18</sup> (1981), fixando uma margem de erro de 02 (duas) e 03 (três) horas, em relação ao tempo real de morte.

Trabalhos baseados em leituras térmicas computadorizadas foi objeto de estudo de NOKES et al.<sup>29</sup> (1986), autores que enfatizaram a eliminação de fatores externos, tais como a temperatura ambiente, a vestimenta, a superfície corporal e a temperatura inicial do corpo.

CARVALHO<sup>6</sup> (1992), afirma que a temperatura corporal cai 1,5°C por hora e que o equilíbrio com a temperatura ambiente ocorre em torno de 20 (vinte) horas em crianças e de 24 (vinte e quatro) a 26 (vinte e seis) horas nos adultos, sem fazer referência à metodologia utilizada em tal estudo.

FRANÇA<sup>14</sup> (1995) registra que, após a morte, a tendência da temperatura do corpo é aproximar-se da temperatura do ambiente, e que

esta marcha depende de diversos fatores, entre os quais a idade, a *causa mortis*, e ainda a compleição física de cada indivíduo.

Assinala que em nosso meio, as observações registram que, nas três primeiras horas, a queda da temperatura do corpo é de 0,5°C e, da quarta hora em diante, o decréscimo é de 1,0°C até equilibrar-se com a temperatura do meio ambiente.

BACCINO et al.<sup>3</sup> (1996) estudaram o esfriamento corporal através da medição da temperatura externa do ouvido, em 138 (cento e trinta e oito) cadáveres, introduzindo um termômetro no conduto auditivo externo até que o bulbo do mesmo entrasse em contato com a membrana timpânica, fazendo o registro da temperatura após 04 (quatro) minutos. Ao mesmo tempo registraram a temperatura retal, estabelecendo uma correlação entre os dois métodos.

Concluíram os autores que a temperatura obtida no ouvido externo e a temperatura retal não sofrem influência significativa do meio ambiente, refletindo de forma mais precisa a temperatura corporal interna.

Estabeleceram ainda, correlação da análise da temperatura corporal com dados bioquímicos, como por exemplo: teor de potássio no humor vítreo, e chegaram à conclusão que a análise da temperatura tem mostrado menor margem de erro que as dosagens bioquímicas, quando necessitamos estimar o período de morte.

McDOWALL et al.<sup>27</sup> (1998), considerando que a estimativa do tempo de morte é um dos mais difíceis problemas da patologia forense, e que a maioria dos métodos utilizados para tal avaliação baseia-se na análise da temperatura, realizaram estudos em nervos ciáticos de rato, analisando a condutibilidade elétrica, registrando as alterações de polarização que ocorrem após a morte.

Concluíram os autores que a queda da temperatura corporal interfere nos gradientes de polarização dos nervos e que, através da medição destes gradientes, é possível estabelecer uma correlação com o esfriamento corpóreo, e que tal campo de estudo deve ser explorado, ampliado e aplicado aos seres humanos.

## PROPOSIÇÃO

Com relação ao estudo da cronotanatognose, e mais especificamente no que diz respeito à importância da análise do esfriamento corporal, a maioria dos registros constantes na literatura especializada, apesar de estabelecerem valores médios de decréscimo da temperatura a intervalos regulares (por hora), não fazem referências às situações em que tais valores foram obtidos, tampouco à metodologia utilizada.

Não constam dos registros encontrados referências às temperaturas dos locais analisados.

Considerando a importância da determinação da hora da morte em várias situações periciais; considerando que dentre os sinais que constituem os clássicos fenômenos abióticos consecutivos o esfriamento corpóreo é um dos que permitem uma análise quantitativa através da medição da temperatura corporal; considerando a lacuna ainda existente sobre o assunto em nossa região e no Brasil, este estudo teve por objetivo:

- avaliar a importância real da análise da queda da temperatura corporal após a morte no estudo da cronotanatognose;
- estimar a queda média da temperatura corporal após a morte em regiões de clima quente, com temperatura ambiente compreendida entre 20 e 30° C.

- desenvolver, a partir dos dados coletados, uma metodologia própria, de fácil aplicação em qualquer Serviço Médico Legal, que permita a estimativa do tempo decorrido de morte através do esfriamento corporal considerando a temperatura ambiente, fator que influencia fortemente o comportamento da temperatura corporal após a morte.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Materiais:

- Amostra estudada;
- Termômetro.

Foram analisados 42 (quarenta e dois) corpos de indivíduos não identificados, vítimas de morte violenta, que vieram a óbito em um Pronto Socorro de Urgências de Vitória – ES, e que posteriormente foram encaminhados para necrópsia médico-legal, no período de abril a outubro de 1998. O estudo foi inicialmente realizado no Pronto Socorro, onde foi registrada a temperatura retal e a temperatura ambiente por ocasião da morte. As medições foram feitas por enfermeiras do Centro de Tratamento Intensivo do Hospital, estando os pacientes monitorados. A avaliação teve continuidade no Departamento Médico Legal de Vitória – ES.

Como padronização, foram estudados corpos de indivíduos do sexo masculino, adultos, com faixa etária estimada entre 20 (vinte) e 50 (cinquenta) anos e com peso corporal compreendido entre 70 (setenta) e 100 (cem) quilogramas.

O aparelho utilizado para proceder as medições foi um termômetro de mercúrio, de haste longa, cilíndrico, graduado de -10 a 200° C.

### Métodos:

- Medições realizadas;
- Registro das medições;
- Análise matemática dos dados;
- Análise estatística dos dados.

A medição da temperatura corporal foi feita por via retal, por ser esta uma via que sofre menor influência das variações climáticas ambientais, SIMONSEN<sup>37</sup> (1977).

Foi registrada a temperatura retal no momento da entrada do corpo no Departamento Médico Legal (sala de necrópsias), com realização posterior de 03 (três) medições seqüenciais a intervalos de 01 (uma) hora.

Medição da temperatura retal: cadáveres em decúbito dorsal, em maca de aço inox, sem roupa, sem serem lavados. O termômetro foi introduzido no ânus a uma profundidade de 5,0 (cinco) centímetros, fazendo-se a leitura após 05 (cinco) minutos.

Para a medição da temperatura da sala de necrópsia foi utilizado o mesmo termômetro, também exposto durante 05 (cinco) minutos, com leitura posterior.

As medições foram anotadas em ficha específica de registro de temperatura, posteriormente submetidas a estudo matemático e a estudo estatístico.

Tabela 1 = Dados coletados no estudo

		Temp.					Temp.	Temp.	Temp.
	Hora da morte	retal na hora da morte	Temp. ambiente na hora da morte	Hora da entrada no DML	Temp. ambiente na sala de necrópsia	Temp. retal 1 <sup>a</sup> medida (hora da entrada)	Temp. retal 2 <sup>a</sup> medida (1h após a 1 <sup>a</sup> medida)	Temp. retal 3 <sup>a</sup> medida (1h após a 2 <sup>a</sup> medida)	Temp. retal 4 <sup>a</sup> medida (1h após a 3 <sup>a</sup> medida)
<u>1</u>	<u>12:40</u>	<u>37,8</u>	<u>22,0</u>	<u>14:30</u>	<u>26,0</u>	<u>35,9</u>	<u>35,2</u>	<u>34,6</u>	<u>34,0</u>
<u>2</u>	<u>16:10</u>	<u>38,0</u>	<u>24,0</u>	<u>17:05</u>	<u>28,0</u>	<u>37,0</u>	<u>36,3</u>	<u>35,6</u>	<u>35,0</u>
<u>3</u>	<u>08:40</u>	<u>37,7</u>	<u>24,0</u>	<u>10:30</u>	<u>27,0</u>	<u>36,3</u>	<u>35,5</u>	<u>34,9</u>	<u>34,3</u>
<u>4</u>	<u>11:25</u>	<u>37,6</u>	<u>23,0</u>	<u>13:19</u>	<u>26,0</u>	<u>36,3</u>	<u>35,4</u>	<u>34,8</u>	<u>34,1</u>
<u>5</u>	<u>20:00</u>	<u>37,6</u>	<u>22,0</u>	<u>22:00</u>	<u>26,0</u>	<u>36,1</u>	<u>35,4</u>	<u>34,8</u>	<u>34,1</u>
<u>6</u>	<u>20:10</u>	<u>37,7</u>	<u>20,0</u>	<u>22:15</u>	<u>25,0</u>	<u>36,2</u>	<u>35,4</u>	<u>34,8</u>	<u>34,3</u>
<u>7</u>	<u>17:20</u>	<u>38,0</u>	<u>21,0</u>	<u>18:25</u>	<u>25,0</u>	<u>37,00</u>	<u>36,3</u>	<u>35,5</u>	<u>34,8</u>
<u>8</u>	<u>19:40</u>	<u>38,0</u>	<u>23,0</u>	<u>21:35</u>	<u>27,0</u>	<u>36,3</u>	<u>35,7</u>	<u>35,1</u>	<u>34,5</u>
<u>9</u>	<u>16:35</u>	<u>38,0</u>	<u>22,0</u>	<u>18:45</u>	<u>27,0</u>	<u>36,2</u>	<u>35,6</u>	<u>35,0</u>	<u>34,4</u>
<u>10</u>	<u>15:10</u>	<u>37,9</u>	<u>22,0</u>	<u>17:15</u>	<u>26,0</u>	<u>36,2</u>	<u>35,5</u>	<u>34,9</u>	<u>34,3</u>
<u>11</u>	<u>14:20</u>	<u>37,9</u>	<u>26,0</u>	<u>15:50</u>	<u>29,0</u>	<u>36,5</u>	<u>35,9</u>	<u>35,2</u>	<u>34,6</u>
<u>12</u>	<u>16:15</u>	<u>37,3</u>	<u>24,0</u>	<u>18:20</u>	<u>27,0</u>	<u>35,6</u>	<u>35,0</u>	<u>34,3</u>	<u>33,7</u>
<u>13</u>	<u>22:20</u>	<u>37,5</u>	<u>22,0</u>	<u>23:25</u>	<u>26,0</u>	<u>36,5</u>	<u>35,9</u>	<u>35,2</u>	<u>34,5</u>
<u>14</u>	<u>21:50</u>	<u>37,5</u>	<u>24,0</u>	<u>22:50</u>	<u>28,0</u>	<u>36,5</u>	<u>35,8</u>	<u>35,2</u>	<u>34,6</u>
<u>15</u>	<u>23:10</u>	<u>37,8</u>	<u>24,0</u>	<u>00:15</u>	<u>29,0</u>	<u>37,0</u>	<u>36,3</u>	<u>35,5</u>	<u>34,8</u>
<u>16</u>	<u>22:10</u>	<u>37,8</u>	<u>25,0</u>	<u>23:20</u>	<u>29,0</u>	<u>37,0</u>	<u>36,3</u>	<u>35,5</u>	<u>34,9</u>
<u>17</u>	<u>22:05</u>	<u>37,4</u>	<u>23,0</u>	<u>23:30</u>	<u>27,0</u>	<u>35,9</u>	<u>35,2</u>	<u>34,4</u>	<u>33,8</u>
<u>18</u>	<u>16:10</u>	<u>38,0</u>	<u>23,0</u>	<u>18:10</u>	<u>26,0</u>	<u>36,5</u>	<u>35,8</u>	<u>35,2</u>	<u>34,6</u>
<u>19</u>	<u>17:10</u>	<u>38,0</u>	<u>24,0</u>	<u>19:15</u>	<u>27,0</u>	<u>36,4</u>	<u>35,7</u>	<u>35,0</u>	<u>34,3</u>
<u>20</u>	<u>17:40</u>	<u>37,9</u>	<u>24,0</u>	<u>19:35</u>	<u>27,0</u>	<u>36,3</u>	<u>35,5</u>	<u>34,9</u>	<u>34,3</u>
<u>21</u>	<u>16:50</u>	<u>37,8</u>	<u>22,0</u>	<u>17:55</u>	<u>26,0</u>	<u>36,8</u>	<u>36,3</u>	<u>35,6</u>	<u>35,0</u>
<u>22</u>	<u>18:20</u>	<u>37,9</u>	<u>22,0</u>	<u>19:20</u>	<u>27,0</u>	<u>36,8</u>	<u>36,2</u>	<u>35,6</u>	<u>34,9</u>

Tabela 1 (Continuação) = Dados coletados no estudo

		Temp.			Temp.		Temp.	Temp.	Temp.
Hora da morte	retal na hora da morte	Temp. ambiente na hora da morte	Hora da entrada no DML	Temp. ambiente na sala de necrópsia	Temp. retal 1 <sup>a</sup> medida (hora da entrada)	Temp. retal 2 <sup>a</sup> medida (1h após a 1 <sup>a</sup> medida)	Temp. retal 3 <sup>a</sup> medida (1h após a 2 <sup>a</sup> medida)	Temp. retal 4 <sup>a</sup> medida (1h após a 3 <sup>a</sup> medida)	
<u>23</u>	<u>19:00</u>	<u>37,6</u>	<u>23:00</u>	<u>27,0</u>	<u>36,1</u>	<u>35,5</u>	<u>34,8</u>	<u>34,2</u>	
<u>24</u>	<u>19:30</u>	<u>37,6</u>	<u>24:00</u>	<u>28,0</u>	<u>36,0</u>	<u>35,3</u>	<u>34,7</u>	<u>34,1</u>	
<u>25</u>	<u>19:45</u>	<u>37,7</u>	<u>24:00</u>	<u>29,0</u>	<u>36,7</u>	<u>36,1</u>	<u>35,4</u>	<u>34,8</u>	
<u>26</u>	<u>21:10</u>	<u>37,7</u>	<u>25:00</u>	<u>29,0</u>	<u>36,9</u>	<u>36,1</u>	<u>35,5</u>	<u>34,8</u>	
<u>27</u>	<u>21:20</u>	<u>35,5</u>	<u>22:00</u>	<u>27,0</u>	<u>36,6</u>	<u>36,0</u>	<u>35,2</u>	<u>34,6</u>	
<u>28</u>	<u>20:10</u>	<u>37,4</u>	<u>22:00</u>	<u>27,0</u>	<u>36,5</u>	<u>35,8</u>	<u>35,2</u>	<u>34,6</u>	
<u>29</u>	<u>21:50</u>	<u>37,8</u>	<u>21:00</u>	<u>24,0</u>	<u>37,0</u>	<u>36,2</u>	<u>35,6</u>	<u>35,0</u>	
<u>30</u>	<u>21:55</u>	<u>37,8</u>	<u>21:00</u>	<u>26,0</u>	<u>37,0</u>	<u>36,3</u>	<u>35,5</u>	<u>34,9</u>	
<u>31</u>	<u>22:10</u>	<u>37,7</u>	<u>22:00</u>	<u>26,0</u>	<u>36,8</u>	<u>36,2</u>	<u>35,5</u>	<u>34,9</u>	
<u>32</u>	<u>20:15</u>	<u>37,6</u>	<u>21:00</u>	<u>27,0</u>	<u>36,6</u>	<u>35,9</u>	<u>35,2</u>	<u>34,6</u>	
<u>33</u>	<u>20:00</u>	<u>38,0</u>	<u>24:00</u>	<u>28,0</u>	<u>37,1</u>	<u>36,4</u>	<u>35,7</u>	<u>35,1</u>	
<u>34</u>	<u>21:00</u>	<u>38,0</u>	<u>24:00</u>	<u>28,0</u>	<u>37,0</u>	<u>36,3</u>	<u>35,6</u>	<u>35,0</u>	
<u>35</u>	<u>20:30</u>	<u>37,9</u>	<u>26:00</u>	<u>29,0</u>	<u>36,8</u>	<u>36,2</u>	<u>35,6</u>	<u>35,0</u>	
<u>36</u>	<u>21:20</u>	<u>37,9</u>	<u>24:00</u>	<u>29,0</u>	<u>36,8</u>	<u>36,1</u>	<u>35,5</u>	<u>34,8</u>	
<u>37</u>	<u>19:10</u>	<u>37,8</u>	<u>23:00</u>	<u>29,0</u>	<u>36,4</u>	<u>35,7</u>	<u>35,1</u>	<u>34,4</u>	
<u>38</u>	<u>19:40</u>	<u>37,8</u>	<u>24:00</u>	<u>30,0</u>	<u>36,7</u>	<u>36,1</u>	<u>35,4</u>	<u>34,8</u>	
<u>39</u>	<u>20:45</u>	<u>37,7</u>	<u>24:00</u>	<u>30,0</u>	<u>36,6</u>	<u>35,8</u>	<u>35,1</u>	<u>34,4</u>	
<u>40</u>	<u>21:00</u>	<u>37,5</u>	<u>25:00</u>	<u>30,0</u>	<u>36,6</u>	<u>35,9</u>	<u>35,1</u>	<u>34,5</u>	
<u>41</u>	<u>22:20</u>	<u>37,6</u>	<u>24:00</u>	<u>29,0</u>	<u>36,5</u>	<u>35,8</u>	<u>35,2</u>	<u>34,6</u>	
<u>42</u>	<u>20:10</u>	<u>37,5</u>	<u>24:00</u>	<u>29,0</u>	<u>36,4</u>	<u>35,8</u>	<u>35,1</u>	<u>34,5</u>	

## RESULTADOS

A análise dos resultados fundamenta-se em dois estudos, o estudo matemático e o estudo estatístico, os quais encontram-se detalhados a seguir.

### A - Modelo Matemático

#### A.1) Introdução:

O objetivo desta seção é apresentar uma abordagem matemática para determinação do tempo decorrido de morte de uma pessoa, construindo um método de solução para o problema.

É fato de observação diária, que os objetos quentes e frios esfriam ou esquentam, respectivamente, até atingir a temperatura dos corpos vizinhos. Se não for grande a diferença de temperatura ( $\Delta T$ ) entre um corpo e sua vizinhança, a taxa de esfriamento é aproximadamente proporcional à diferença de temperatura entre o objeto e a vizinhança, HOLMAN<sup>21</sup> (1983).

Dessa forma, sabe-se que, com satisfatória exatidão em muitas circunstâncias, a temperatura superficial de um corpo se altera com uma taxa proporcional à diferença de temperatura das vizinhanças (a temperatura ambiente).

É o que se conhece como a lei de Newton do esfriamento. Assim, se  $\theta(t)$  for a temperatura no instante  $t$ , e se  $T$  for a temperatura constante do ambiente, então  $\theta$  deve obedecer à equação diferencial linear:

$$\frac{d\theta}{dt} = -k(\theta - T) \quad (1)$$

onde  $k > 0$  é a constante de proporcionalidade. O sinal negativo da equação provém do fato de que se o corpo for mais quente que suas vizinhanças ( $\theta > T$ ) então ele se torna mais frio com o tempo.

$$\text{Então } \frac{d\theta}{dt} < 0 \text{ quando } \theta - T > 0.$$

A equação (1) é uma equação diferencial de primeira ordem, e pode ser escrita da forma:

$$t' + p(\theta)t = g(\theta) \quad (2)$$

$$\text{logo, } p(\theta) = k \quad \text{e} \quad g(\theta) = kT.$$

Assim o fator integrante é:

$$\mu(\theta) = \exp\left(\int_0^t k dt\right) = e^{kt} \quad (3)$$

Multiplicando-se a equação (1) por esta função obtém-se:

$$e^{kt} \theta' + e^{kt} k \theta = e^{kt} kT \quad (4)$$

O primeiro membro da equação (4) é a derivada de  $e^{kt} \theta$ , de modo que podemos escrever esta equação como:

$$\left( e^{kt} \theta \right)' = e^{kt} kT$$

e pela integração dos dois membros vem:

$$\theta = T + ce^{-kt} \quad (5),$$

onde  $c$  é uma constante arbitrária.

Admitindo a seguinte condição de contorno: no instante  $t = 0$  descobre-se um cadáver e que sua temperatura é medida e igual a  $\theta_0$ .

Resulta em  $c = \theta_0 - T$ . Então:

$$\theta(t) = T + (\theta_0 - T)e^{-kt} \quad (6)$$

A constante de proporcionalidade  $k$ , que aparece nesta expressão, não é ainda conhecida. Pode-se determinar  $k$  mediante uma segunda medida da temperatura do corpo no instante  $t_1$ , segundo Boyce & Di Prima<sup>4</sup> (1994); supondo que  $\theta = \theta_1$  quando  $t = t_1$ . Levando estes valores na equação (6) chega-se a:

$$\theta_1 - T = (\theta_0 - T)e^{-kt_1},$$

Dai, aplicando logaritmo em ambos os lados da equação, tem-se:

$$k = -\frac{1}{t_1} \ln \left( \frac{\theta_1 - T}{\theta_0 - T} \right) \quad (7),$$

onde:

$\ln$  = logaritmo natural ou logaritmo neperiano;

$\theta_0$  = primeira temperatura medida após a morte;

$\theta_1$  = segunda temperatura medida após a morte;

$T$  = temperatura ambiente;

$t_1$  = diferença do tempo decorrido, em horas, entre a primeira e a segunda temperatura medida após a morte.

Supondo que no instante da morte,  $t_m$ , a temperatura do corpo fosse  $\theta_m$ , se admite que a equação (1) seja válida para modelar esta situação, a tarefa se resume em determinar  $t_m$ .

Fazendo  $t = t_m$  e  $\theta = \theta_m$  na equação (7) e resolvendo em  $t_m$ .

Obtêm-se então a fórmula para cálculo, abaixo representada,

$$t_m = -\frac{1}{k} \ln \left( \frac{\theta_m - T}{\theta_0 - T} \right) \quad (8),$$

onde:

$\ln$  = logaritmo natural ou neperiano;

$\theta_m = 37,7^\circ \text{C}$  (temperatura retal média corporal)

$\theta_0$  = primeira temperatura medida após a morte;

$T$  = temperatura ambiente;

$k$  = dado obtido através da equação (7).

Esta fórmula consiste em um método matemático útil na determinação do intervalo decorrido após a morte.

A Tabela 2 mostra os resultados obtidos pelas equações (7) e (8), onde  $\theta_m = 37,7^\circ\text{C}$  e  $t_1 = 2$  horas.

Tabela 2 = Determinação do tempo decorrido de morte (dados utilizados no modelo matemático)

Número de casos	Tempo decorrido pós-morte EXATA [t <sub>me</sub> ] (h)	1ª. Temp. pós-morte [θ <sub>o</sub> ] °C	2ª. Temp. pós-morte [θ <sub>i</sub> ] °C	Temp. na sala de necrópsia [T] °C	Tempo calculado [t <sub>m</sub> ] (h)	Erro (%) = 100 (1-t <sub>m</sub> /t <sub>me</sub> )
1	2,833	35,2	34,0	26	3,43993	21,4
2	1,916	36,3	35,0	28	1,83005	4,5
3	2,833	35,5	34,3	27	3,02484	6,8
4	2,900	35,4	34,1	26	2,94102	1,4
5	3,000	35,4	34,2	26	3,20525	6,8
6	3,083	35,4	34,3	25	3,57445	15,9
7	2,084	36,3	34,8	25	1,6402	21,3
8	2,916	35,7	34,5	27	2,78831	4,4
9	3,167	35,6	34,4	27	2,90762	8,2
10	3,083	35,5	34,3	26	3,08505	0,1
11	2,500	35,9	34,6	29	2,2208	11,2
12	3,083	35,0	33,7	27	3,27971	6,4
13	2,084	35,9	34,5	26	2,19132	5,1
14	2,083	36,2	34,8	29	1,75043	16,0
15	2,166	36,3	34,9	29	1,64801	23,9
16	2,166	35,9	34,6	26	2,37339	9,6
17	2,417	35,2	33,8	27	2,84288	17,6
18	3,000	35,8	34,6	26	2,71331	9,6
19	3,083	35,7	34,3	27	2,35876	23,5
20	2,916	35,5	34,3	27	3,02484	3,7
21	2,084	36,3	35,0	26	1,8892	9,3
22	2,000	36,2	34,9	27	1,98293	0,9
23	3,000	35,5	34,2	27	2,77347	7,6
24	3,000	35,3	34,1	28	3,16564	5,5
25	1,917	36,1	34,8	29	2,0098	4,8
26	2,083	36,1	34,8	29	2,0098	3,5
27	1,917	36,0	34,6	27	2,04664	6,8
28	2,083	35,8	34,6	27	2,66695	28,0
29	3,000	35,9	34,5	27	2,15243	28,3
30	2,084	36,2	35,0	24	1,23989	7,5
31	1,916	36,3	34,9	26	1,74471	8,9
32	2,083	36,2	34,9	26	2,01268	3,4
33	1,917	35,9	34,6	27	2,33298	21,7
34	2,000	36,4	35,1	28	1,71163	14,4

Tabela 2 (Continuação) = Determinação do tempo decorrido de morte  
(dados utilizados no modelo matemático)

Número de casos	Tempo decorrido pós-morte EXATA [t <sub>me</sub> ] (h)	1ª. Temp. pós-morte [θ <sub>o</sub> ] °C	2ª. Temp. pós-morte [θ <sub>i</sub> ] °C	Temp. na sala de necrópsia [T] °C	Tempo calculado [t <sub>m</sub> ] (h)	Erro (%) = 100 (1-t <sub>m</sub> / t <sub>me</sub> )
35	2,000	36,3	35,0	28	1,83005	8,5
36	2,167	36,2	35,0	29	2,07591	4,2
37	2,084	36,1	34,8	29	2,0098	3,6
38	3,083	35,7	34,4	29	2,42193	21,4
39	2,083	36,1	34,8	30	1,94375	6,7
40	2,083	35,8	34,4	30	2,05147	1,5
41	2,083	35,9	34,5	30	1,96598	5,6
42	1,833	35,8	34,5	29	2,32262	26,7

Tabela 3 – Resultados obtidos

Erro (%)	Quantidade
Menor ou igual a 10	28
Maior que 10 e menor ou igual a 20	6
Maior que 20 e menor ou igual a 30	8
Total	42

#### A.2) Conclusões:

1) O método matemático para a estimativa do tempo decorrido de morte apresenta um erro menor que 30% quando comparado com dados reais;

2) O modelo matemático, obtido através da análise dos dados da pesquisa (em 66,6 % dos casos estudados a margem de erro foi menor que 10% e em 80,9 % dos casos a margem de erro foi menor que 20%),

mostra-se aplicável, com boa precisão matemática, para o cálculo do tempo decorrido de morte.

## **B - Modelo Estatístico**

### **B.1) Introdução:**

O objetivo desta análise é encontrar uma forma de relacionar as variáveis: tempo decorrido após a morte de uma pessoa e temperatura medida no interior do corpo, de tal modo que seja possível caracterizar os seguintes aspectos:

- a) se há relação entre as variáveis e se a mesma é fraca ou forte;
- b) estabelecer um modelo que interprete a relação funcional existente entre as variáveis;
- c) utilizar o modelo encontrado para estimar o tempo decorrido após a morte.

Esta análise é iniciada construindo-se um modelo de regressão linear que relacione as variáveis e permita estimar o tempo de morte de uma pessoa dentro de intervalos de confiança. No decorrer do estudo é determinado o grau de correlação entre as variáveis estudadas.

### **B.2) Modelo de Regressão:**

O modelo de regressão linear, que relaciona as variáveis  $X_i, Y_i$ , tem a forma  $Y_i = \alpha + \beta X_i + U_i$ . Um valor de  $Y$  é formado por dois

componentes: o componente funcional ou regressão  $\alpha + \beta X_i$ , que representa a influência da variável independente  $X$  sobre o valor de  $Y$  e um componente aleatório  $U$  que representa a influência de outros fatores, bem como os erros de medição da variável  $Y$ . Este componente surge devido a variabilidade dos valores de  $Y$  para cada valor de  $X$ .

Neste trabalho definimos as variáveis da seguinte forma:

$Y$ : tempo de morte

$X$ : temperatura medida no corpo

As hipóteses admitidas para o componente aleatório são:  $U_i$  é uma variável aleatória, distribuída normalmente, com média igual a zero e variância constante.

#### B.2.1) Estimação dos Parâmetros do Modelo:

Para o modelo de regressão  $Y_i = \alpha + \beta X_i + U_i$ , é necessário estimarmos os parâmetros  $\alpha$  e  $\beta$ . Neste caso designaremos por  $a$  e  $b$  os estimadores de  $\alpha$  e  $\beta$ , respectivamente. Desta forma a expressão do modelo de regressão se torna:  $Y = a + bX$ .

O método que possibilita determinar valores de  $a$  e  $b$  que minimizem o quadrado do erros, é o método dos mínimos quadrados, sendo que suas expressões para os parâmetros  $a$  e  $b$  são:

$$a = \frac{\sum Y}{n} - b \frac{\sum X}{n} \quad \text{e} \quad b = \frac{\sum XY - \frac{\sum X \sum Y}{n}}{\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n}}$$

onde  $n = 210$  é o tamanho da amostra.

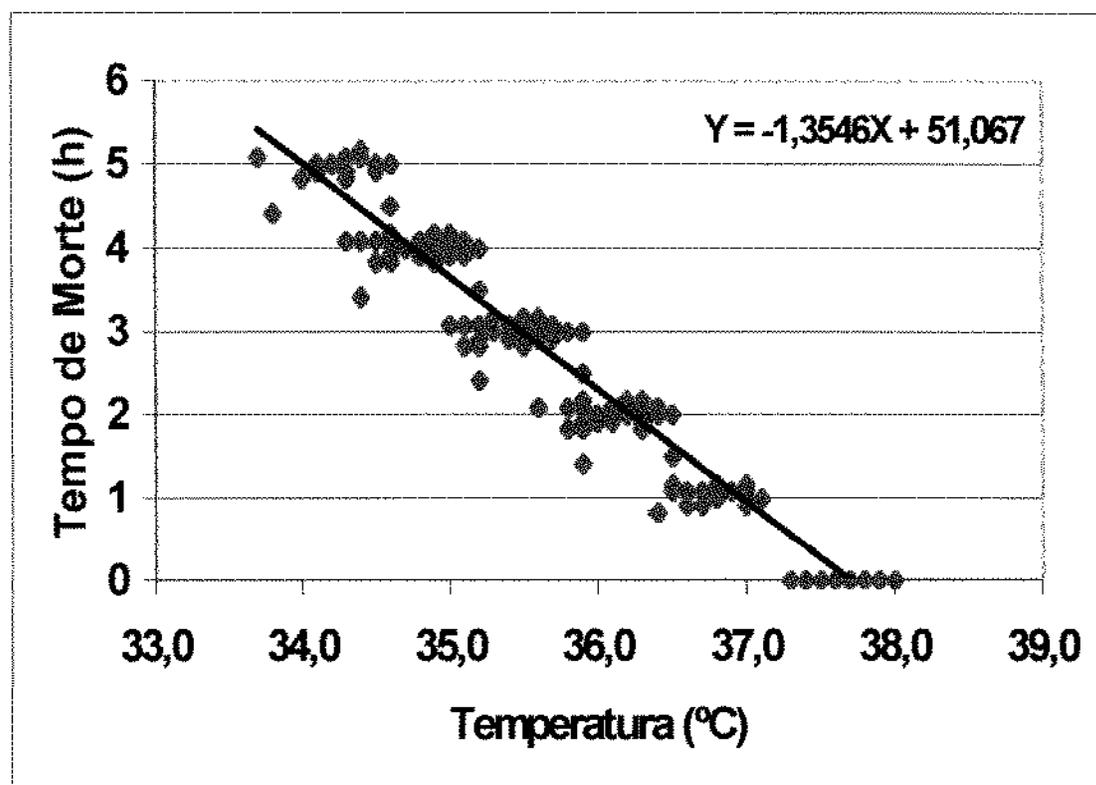
Para os dados estudados os parâmetros  $a = 51,067$  e  $b = -1,3546$ , portanto o modelo de regressão tem a seguinte forma:

$$Y = -13546X + 51,067, \text{ ou seja,}$$

tempo de morte =  $-1,3546 \times$  Temperatura medida no corpo + 51,067.

O gráfico 1 representa o modelo de regressão linear ajustado aos dados da amostra estudada.

Gráfico 1 = Modelo de Regressão Ajustado aos Dados



### B.2.2) Teste de Hipótese:

Após a estimação dos parâmetros  $a$  e  $b$  faz-se um teste para verificar a existência de regressão. Este teste permite avaliar se a variável  $Y$  é dependente da variável  $X$ .

O procedimento para realização do teste é apresentado a seguir:

1º - Formulação das hipóteses:

$$H_0 : \beta = 0 \text{ (não existe regressão)}$$

$$H_1 : \beta \neq 0 \text{ (existe regressão)}$$

2º - Adoção do nível de significância  $\alpha$  que é a probabilidade da hipótese  $H_0$  ser rejeitada quando deveria ser aceita. Para a realização do teste, adota-se  $\alpha = 5\%$ .

3º - Cálculo da estatística *t de Student*:

$$t_{n-2} = \frac{b - \beta}{\frac{S}{\sqrt{S_{XX}}}}$$

onde:

$b$  : tem distribuição *t de Student* com  $n-2$  graus de liberdade

$$S^2 = \frac{S_{yy} - bS_{xy}}{n-2}$$

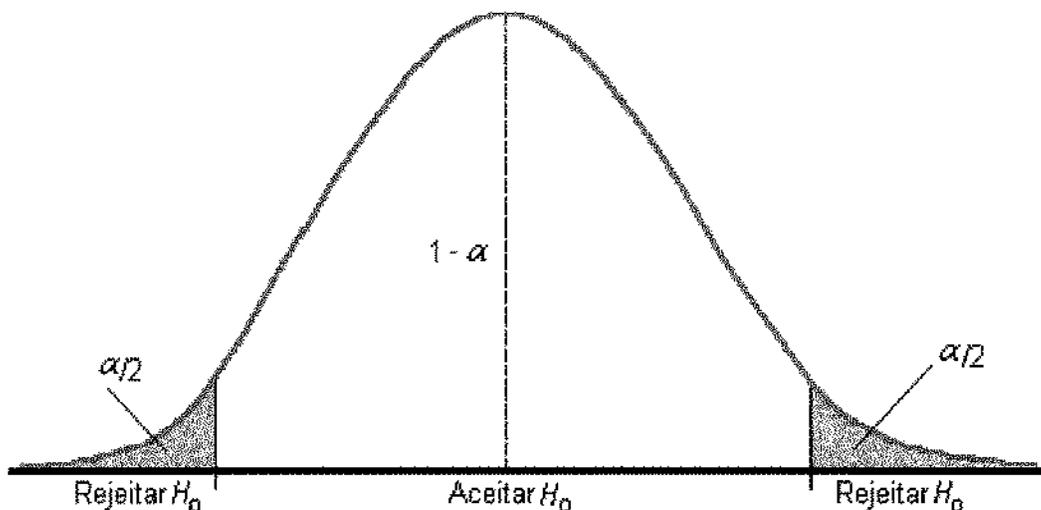
$$S_{xy} = \sum XY - \frac{\sum X \sum Y}{n}$$

$$S_{yy} = \sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{n}$$

Para os dados em estudo  $t_{n-2} = -9,16$ .

4º - Estabelecimento da região de aceitação e de rejeição da hipótese  $H_0$ , através dos valores de  $\alpha$ , dos graus de liberdade e com a utilização da tabela *t de Student*,  $t_{tabela} = -1,65$ . A região de aceitação e de rejeição da hipótese  $H_0$  pode ser vista no gráfico 2.

Gráfico 2 = Região de aceitação ou rejeição da hipótese  $H_0$



5º - Como  $t_{n-2} < t_{tabela}$ , rejeita-se a hipótese  $H_0$  ao nível de significância de 5%. Portanto conclui-se que não se pode rejeitar a existência de regressão neste nível de significância e conseqüentemente a variável tempo de morte pode ser explicada através da variável temperatura medida no corpo.

### B.2.3) Intervalo de Confiança:

O intervalo de confiança para um valor de  $Y$  (tempo de morte) é estimado através da seguinte equação:

$$P\left(\hat{Y}_i - t.S.\sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(X_i - \bar{X})^2}{S_{XX}}} \leq Y_i \leq \hat{Y}_i + t.S.\sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(X_i - \bar{X})^2}{S_{XX}}}\right) = 1 - \alpha$$

onde:

$Y_i$ : valor real do tempo de morte

$\hat{Y}_i$ : valor previsto para o tempo de morte

$1 - \alpha$ : nível de confiança do intervalo

$X_i$ : valor da temperatura de morte

$\bar{X}$ : temperatura média das amostras

$t$ : valor encontrado na tabela *t Student*, com  $n-2$  graus de liberdade

e  $\alpha = 5\%$

### B.3) Coeficiente de Correlação Linear: $r$

Com o objetivo de investigar se há relação linear entre as variáveis e se esta relação é forte ou fraca, determinamos o coeficiente de correlação linear  $r$ . Este coeficiente é calculado a partir de uma amostra de  $n$  pares de observações de  $X$  e de  $Y$  e mede a quantidade de dispersão em torno da equação linear ajustada, através do método dos mínimos

quadrados, ou o grau de relação das variáveis, na mostra. A fórmula para calcular  $r$  é apresentada a seguir:

$$r = \frac{\sum XY - \frac{(\sum X)(\sum Y)}{n}}{\sqrt{\left[ \sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n} \right] \left[ \sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{n} \right]}}$$

Quanto maior a qualidade do ajuste da reta proposta aos pontos do diagrama de dispersão, mais próximo de +1 ou -1 estará o valor de  $r$ . Não havendo relação linear alguma entre  $X$  e  $Y$ ,  $r$  será igual a zero.

Para a amostra estudada neste trabalho  $r = 0,9791$  ou seja, o grau de relação linear entre o tempo de morte e a temperatura medida no corpo é 97,91%.

#### B.4) Conclusão do estudo estatístico:

- a) O modelo de regressão linear encontrado representa a relação de função entre o tempo decorrido de morte e a temperatura encontrada no corpo em estudo.
- b) O valor de  $r = 0,9791$  indica uma forte relação linear entre as variáveis.

## DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A estimativa do tempo decorrido de morte é tema de estudo por parte de cientistas e peritos de todo o mundo, seja valorizando observações clínicas ou mediante técnicas bioquímicas, na dependência dos recursos disponíveis em cada região.

Conforme citado na Revista da Literatura, este estudo, mediante a observação da temperatura corporal não é recente. Vários pesquisadores realizaram experiências, constatando que a temperatura ambiente é um dos fatores que mais interfere nesta análise, podendo ocorrer elevação de temperatura quando a esta for superior à temperatura corporal (aquecimento), sendo seu registro importante na estimativa do tempo decorrido de morte antes que ocorra o equilíbrio térmico, ou seja, nas primeiras horas que se sucedem à morte.

Os resultados do presente estudo mostram que existe uma forte relação linear entre a variação da temperatura corporal e o tempo decorrido de morte, o que vem caracterizar a importância desta análise na cronotanatognose.

A fórmula matemática de cálculo obtida a partir de uma lei física, valoriza uma variável importante, a temperatura ambiente. Por considerar também duas medições de temperatura em intervalo de tempo conhecido esta fórmula poderá ser aplicada em um grande número de situações.

Assim, havendo necessidade de se estimar a hora provável da morte, ao se examinar um corpo, e desde que sejam registradas: a temperatura corporal no tempo zero, a temperatura corporal em um determinado intervalo de tempo e a temperatura ambiente, será possível obter um valor médio (em horas), ao qual deverá ser aplicada a variância de 30 % para mais ou para menos, o que corresponde ao índice de erro máximo encontrado na amostra estudada. Considerando que esta fórmula utiliza dois valores conhecidos de temperatura, sua aplicação independe da escala utilizada, desde que não ocorram variações significativas no ambiente, ou seja, desde que as duas medições sejam realizadas no mesmo local.

Apesar do estudo ter considerado a temperatura corporal medida por via retal, na aplicação do cálculo pode ser também utilizada a temperatura axilar, considerando como temperatura média corporal 36,7°C.

Constitui-se o presente trabalho em uma contribuição à disciplina de Odontologia Legal e Deontologia, ampliando seu campo de atuação à Tanatologia, estudo dos fenômenos da morte.

## CONCLUSÕES

O estudo da cronotanatognose, nas primeiras horas que se sucedem à morte, quando se lança mão da análise dos fenômenos abióticos consecutivos, é extremamente importante; reveste-se, porém, de grande complexidade, devido à gama de fenômenos químicos e físicos envolvidos.

O estudo em questão permitiu as seguintes conclusões:

1. O modelo de regressão linear estimado representa a relação de função entre o tempo de morte e a temperatura corporal, constituindo-se em ferramenta de fundamental importância neste estudo.

2. O valor do coeficiente de correlação linear encontrado ( $r = 0,9791$ ) indica uma forte relação linear entre as variáveis, confirmando que o modelo de regressão, ajustado aos dados, explica bem a relação de dependência entre o tempo de morte e a temperatura corporal, sendo aceitável estatisticamente.

3. O método matemático para a determinação do tempo decorrido de morte apresenta um erro menor que 30%, quando comparado com dados reais, o que valida sobremaneira sua aplicabilidade, e permite estimar, com boa precisão, este intervalo (dos casos estudados, 66,6% apresentaram erro inferior a 10% e 80,9% apresentaram erro inferior a 20%).

4. Na amostra estudada, em ambientes com temperatura variável entre 20 e 30°C, a queda média da temperatura corporal, observada na primeira hora após a morte, situou-se na faixa de 0,9 a 1,0°C e nas horas subsequentes entre 0,6 e 0,7°C.

5. Foi possível a elaboração de uma fórmula matemática para a estimativa do tempo decorrido de morte ( $t_m$ ), a partir das seguintes variáveis: temperatura ambiente ( $T$ ); temperatura corporal média ( $\theta_m = 37,7$  via retal e 36,7 via axilar); primeira temperatura medida após a morte ( $\theta_0$ ); segunda temperatura medida após a morte ( $\theta_1$ ); diferença do tempo decorrido, em horas, entre a primeira e a segunda temperatura medida após a morte ( $t_1$ ).

$$t_m = -\frac{1}{k} \ln \left( \frac{\theta_m - T}{\theta_0 - T} \right) \quad \text{onde} \quad k = -\frac{1}{t_1} \ln \left( \frac{\theta_1 - T}{\theta_0 - T} \right)$$

e  $\ln$  = logaritmo natural ou neperiano.

A fórmula considera a temperatura ambiente uma variável, podendo ser aplicada em qualquer região, independentemente da escala adotada (°C, °F ou °K).

Para facilitar a utilização desta fórmula, foi desenvolvido um “*software*”, que permite um cálculo direto, a partir dos dados coletados. Os cálculos levam a um valor absoluto, em horas, ao qual deverá ser aplicado um índice de variância de 30% para mais ou para menos.

6. A tomada da temperatura corporal com a finalidade de se estimar o tempo decorrido de morte deve constituir-se em método auxiliar na cronotanatognose, sendo recomendado ao perito lançar mão de outros dados, o que permitirá conclusões mais consistentes.

7. As variações de temperatura corporal observadas na amostra estudada constituem-se em uma referência experimental sistematizada e confiável, por refletirem condições locais, com temperaturas ambientes variando entre 20 e 30°C.

8. Novos estudos tornam-se necessários como meio de assegurar a representatividade dos resultados obtidos. Isso leva à necessidade de produção de mais experimentos controlados, que gerem novos dados para comparação, o que deve ser objetivo de trabalhos futuros.

## ANEXO

### CRONO.EXE

Informações a respeito do funcionamento do “*software*”.

#### **1. Objetivo**

O programa CRONO.EXE foi desenvolvido visando permitir o cálculo do tempo de morte através do registro da temperatura corporal. As fórmulas foram desenvolvidas a partir da Lei de Newton do Esfriamento e tomando por base os dados obtidos no estudo em questão. Mediante o conhecimento de alguns dados, que podem ser facilmente obtidos por ocasião de uma perícia médico-legal, o programa calcula o tempo de morte, em valor absoluto, ao qual deverá ser aplicado um índice de variância de 30% para mais ou para menos.

Tal programa é, portanto, parte integrante deste estudo, realizado através de amostra coletada em padrões nacionais.

#### **2. Equipamento mínimo necessário**

Para utilização do “*software*” é necessário: um PC (personal computer) modelo 386 ou superior, uma unidade de disco para leitura de

disquete 1.44 e um monitor de vídeo. Compatível com os sistemas operacionais Windows 95 e Windows 98.

### 3. Procedimentos

Recomenda-se que seja feita uma cópia de segurança, de forma que uma eventual perda do disquete não implique na perda do *“software”*.

Feita a cópia de segurança, o disquete deve ser colocado na unidade de disco flexível, geralmente configurado nos computadores como Drive A.

A utilização do *“software”* pode ser feita a partir do disquete ou do disco rígido.

Na área de trabalho da interface Windows, clique o botão INICIAR. Ao abrir uma caixa de diálogo, clique em EXECUTAR. Será aberta uma nova caixa de diálogo onde deverá ser digitado: A: \CRONO (caso a leitura seja feita através do drive A) e C: \diretório para onde foi copiado o arquivo CRONO.EXE (caso seja feita a leitura através do disco rígido).

Realizado este procedimento clique no botão OK e aguarde a abertura da tela inicial do programa.

Uma vez aberto o programa, este poderá ser maximizado clicando-se no botão (□) presente no canto superior direito da janela. Será então mostrado o seguinte menu:

- (1) Tela de Apresentação**
- (2) Tela de Ajuda**
- (3) Determinação do tempo pós-morte**
- (4) Sair do Programa**

Entrando com a **opção (1)** será mostrada uma tela com a especificação básica do programa.

Caso seja selecionada a **opção (2)** será aberta uma página de ajuda com outras informações pertinentes ao estudo.

Para a realização do cálculo matemático deverá ser selecionada a **opção (3)**, quando o programa pedirá os dados necessários, oferecendo ao final um resultado, ao qual será aplicado um índice de variância de 30%, para mais e para menos.

Com a seleção da **opção (4)** o programa é encerrado.

**Obs.:** O disquete contendo o programa encontra-se acondicionado em um envelope na última página do trabalho.

## SUMMARY

The time of death determination is based on the body's transformation known as consecutive phenomenon, such as: they surge some time after the death, to know: skin evaporation, post-mortem hypostasis (lividity or suffusion), rigor mortis and body's cooling. Inside these phenomena, only variation of body's temperature are possible to be measured, and others are passive only to quantitative evaluations, subject to individual interpretation.

This study research has to objective to analyse the behavior of the body's temperature after death, and aim create parameters that can help the policeman experts on the situations in such: "time of death" is imprecindible to know.

It were observed the corporal body's temperature in 42 (fourty-two) corpses, not identified, victim of violent death, and subsequently were sent to Legal Medical Department of Vitória – ES, Brazil, and all of those corpses the time of death were known. There were registred: the body's temperature and ambient's temperature at death time; the body's temperature and ambient's temperature when the corpses got in the Legal Medical Department.

At the necropsis room, it took register of the ambient's temperature and took the register of the body's temperature, and the ambient's

temperature in such intervals of one hour (1 h); and totalizing 3 (three) measurements. The measurements were made in the rectum, because this location is less subject to ambiental's variations of temperature, and to do it; it were utilized one thermometer, with mercury collumn graduate from  $-10^{\circ}$  (less ten) to  $+200^{\circ}$  (two hundred) Celsius degrees.

The thermometer were introduced 5,0 (five) centimeters inside the corpses, and the reading were done after 5,0 (five) minutes. There were analized male's sex corpses; age between 20 (twenty) and 50 (fifty) years old, weight between 70 (seventy) and 100 (one hundred) kilograms, nude, in the position of dorsal decubit in a stainless steel table, the corpses were not washed.

The results were submit to statistical analisis.

*Key words:*        **body's cooling**  
                          **time of death**  
                          **cronotananatognosis**

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AL-ALOUSI, L.M., ANDERSON, R.A. **Microwave thermography in forensic medicine.** Police Surg., Glasgow, v.30, p.30-42, 1986.
2. ALCÂNTARA, H.R. **Perícia Médica Judicial.** São Paulo: Guanabara Dois, 1982.
3. BACCINO, E. et al. **Outer ear temperature and time of death.** Forensic Science International, v.83, n.2, p.133-146, Dez. 1996.
4. BOYCE, W.E., DI PRIMA, R.C. **Equações Diferenciais Elementares e Problemas de Valores de Contorno.** Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 5<sup>a</sup>.ed., p.11-37, 1994.
5. BURMAN, J. **On the rate of cooling of the human body after death.** Edinburgh Medicine J., v.25, 1880.
6. CARVALHO, H.V., **Compêndio de Medicina Legal.** São Paulo: Saraiva, 2<sup>a</sup>. Ed., 1992.

7. CROCE, D., JÚNIOR, D.C. **Manual de Medicina Legal**. São Paulo: Saraiva, 2<sup>ª</sup>.ed., 1995.
8. CUNHA, M.S. **Cronologia dos fenômenos cadavéricos em São Paulo**. Tese, São Paulo, 1925.
9. DAVEY, J. **Observations on the temperature of the human body after death**. Res. Physiology Anatomy, London, v.1, 1839.
10. DE SARAM, G. **Estimation of death by medical criteria**. Forensic Med. J., v.4, p.4, 1957.
11. FÁVERO, F. **Medicina Legal**. Belo Horizonte: Editora Itatiaia Ltda, 10<sup>ª</sup>.ed., 1980.
12. FIDDES, F., PATTEN, T.A. **Percentage method for representing the fall in body temperature after death**. Forensic Med. J., v.5, p.2-15, 1958.
13. FONSECA, J.S., MARTINS, G.A., TOLEDO, G.L. **Estatística Aplicada**. São Paulo: Atlas, 1995.

14. FRANÇA, G.V. **Medicina Legal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 4<sup>a</sup>.ed., 1995.
  
15. GOMES, H. **Medicina Legal**. Rio de Janeiro: Freitas Bastos Editora, 32<sup>a</sup>.ed., 1997.
  
16. GUYTON, A.C. **Tratado de Fisiologia Médica**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1969.
  
17. HENSLEY, B. **Experiments on the temperature of bodies after death**. The Medical Examiner, Philadelphia, v.2, p.149-152, 1846.
  
18. HENSSEGE, C. **Todeszeitatzungen durch die mathematische beschreibung der rektalen Leichenabkühlung unter verschiedenen Abkühlungsbedingungen**. Zeit Rechtstmed, v.87, p.147-178, 1981.
  
19. HIRAIWA, K. et al. **Estimation of postmortem interval from rectal temperature with the use of computer**. Med. Sci. Law, v.20, p.115-125, 1980.
  
20. HIRSCH, C.S., MORRIS, R.C., MORITZ, A.R. **Handbook of legal medicine**. London: The C.V.Mosby Company, 5<sup>a</sup>.ed., p.16-21, 1979.

21. HOLMAN, J.P. **Transferência de Calor**. São Paulo: McGraw-Hill, p.1-6, 1983.
22. JAMES, W., KNIGHT, B. **Errors in estimating time since death**. Med. Sci. Law, v.5, p.111-116, 1965.
23. JOSEPH, A., SCHIEKELE, A. **A general method for assessing factors controlling post-mortem cooling**. Forensic Science J., v.15, p.364-391, 1970.
24. KNIGHT, B. **The evolution of methods for estimating the time of death from body temperature**. Forensic Science International, v.36, p.47-55, 1988.
25. LYLE, H., CLEVELAND, F. **Determination of the time since death by heat loss**. Forensic Sci. J., v.1, p.11-24, 1956.
26. MARSHALL, T. **The cooling of the body after death**. MD Thesis, University of Leeds, 1960.

27. McDOWALL, K.L. et al. **The use of absolute refractory period in the estimation of early postmortem interval.** Forensic Science International, v.91, p.163-170, 1998.
28. NETO, P.L.C. **Estatística.** São Paulo: Blucher, 1977.
29. NOKES, L. et al. **The use of trachea temperature as a means of determining the postmortem period.** Med. Sci. Law, v.26, p.199-202, 1986.
30. POLSON, C.J., GEE, D.J., KNIGHT, B. **The essentials of forensic medicine.** Oxford: Pergamon Press, 4<sup>a</sup>.ed., p.3-17, 1985.
31. RAINY, H. **On the cooling of dead bodies as indicating the length of time since death.** Glasgow Med. J., v.1, p.323-330, 1868.
32. RENTOUL, E., SMITH, H. **Glaister's Medical Jurisprudence and Toxicology.** Edimburg: Churchill Livingstone, 1973.
33. RODRIGUES, A.C. **Contribuição para o estudo do tempo de morte através da tonometria ocular.** Tese, São Paulo, 1963.

34. SELLIER, K. **Determination of the time of death by extrapolation of the temperature decrease curve.** Acta Med. Leg. Soc., v.2, p.279-301, 1958.
35. SHAPIRO, H. **Medico-legal mythology: the time of death.** Forensic Med. J., v.1, p.1-159, 1954.
36. SIMONIN, C. **Medicina Legal Judicial.** Barcelona: Editorial Jims, 2<sup>a</sup>.ed., 1966.
37. SIMONSEN, J.V. **Determination of the time of death by continuous postmortem temperature measurement.** Med. Sci. Law, v.17, p.112-121, 1977.
38. TAYLOR, A., WILKES, D. **On the cooling of the human body after death.** Guy's Hospital Rep., 1863.
39. WEBSTER, G. **Postmortem temperature and the time of death.** Crim. Law J., v.45, 1955.
40. WOMACK, F. **The rate of cooling of the body after death.** St. Bart's Hosp. Rep., v.23, 1887.