

# ANÁLISE DO EQUILÍBRIO CORPORAL ESTÁTICO ATRAVÉS DE UM BAROPODÔMETRO ELETRÔNICO STATIC BODY BALANCE ANALYSIS THROUGH AN ELECTRONIC BAROPODOMETER

Dra. Antonia Dalla Pria Bankoff

Prof. Rafael Gurtler Bekedorf

Dr. Ademir Schmidt

Ms. Paula Ciol

Dndo. Carlos Aparecido Zamai

Faculdade de Educação Física/Unicamp

## Resumo

Um comportamento cotidiano como a manutenção da posição ereta é uma tarefa complexa que envolve um relacionamento preciso entre informação sensorial e atividade motora (BARELA, 2000). O mapeamento do equilíbrio em diferentes posições da base de estabilidade pode ser útil para avaliar a performance do sistema de controle postural em controlar o equilíbrio em situações extremas em que o corpo humano possa cair (DUARTE, 2000). O objetivo deste estudo foi analisar o equilíbrio corporal estático através da utilização da avaliação baropodometria. Participaram deste estudo 30 sujeitos, sendo 18 do sexo masculino com média de idade 38,7 anos, com estatura corporal de 1,73, massa corporal 76,41 e IMC 25,42; 12 do sexo feminino, com média de idade 43,8 anos, com estatura corporal de 1,55, massa corporal de 65,1 e IMC 27,09. Os sujeitos participaram da pesquisa voluntariamente os quais informaram a idade e tamanho do calçado, bem como preencheram o termo de consentimento formal. Os dados para a análise neste estudo são as oscilações ântero-posteriores (eixo y), laterais (eixo x) e a oscilação do centro de pressão em superfície (cm<sup>2</sup>) foi aferida através de um Baropodômetro Eletrônico da Physical Support Italy, sendo que os dados foram coletados com os sujeitos de olhos abertos e depois de olhos fechados, tanto bipodálica quanto monopodálica.

**Palavras-Chave:** Equilíbrio corporal; Estabilometria; Baropodometria.

## Introdução

Os estudos do equilíbrio corporal e da postura corporais proporcionam aspectos que estão englobados no sistema chamado de controle postural. Dentro deste sistema existem dois parâmetros a serem considerados, um envolvendo a orientação postural, ou seja, a manutenção da posição dos segmentos corporais em relação aos próprios segmentos e ao meio ambiente, e o outro, o equilíbrio postural, representado por

relações entre as forças que agem sobre o corpo na busca de um equilíbrio corporal durante as ações motoras (HORAK; MACPHERSON, 1996). Estes dois, a orientação postural e o equilíbrio postural são constituídos por fenômenos distintos, no entanto, apresentam relações dependentes (BARCELLOS; IMBIRIBA, 2002).

Quando se refere a equilíbrio, especifica-se aquela situação na qual o corpo adota uma determinada posição em relação ao espaço, na qual a cabeça é dirigida para cima e a face para frente com ereção do corpo todo com o intuito de posicionar a cabeça na parte alta, essa posição em pé é a posição ortostática ou ereta. (DOUGLAS, 2002).

Segundo Enoka (2000) um sistema está em equilíbrio mecânico quando a somatória de forças que atuam sobre ele é igual a zero, entretanto, essa não é uma tarefa fácil quando se trata do corpo humano. Barela (2000) afirma que oscilações constantes ocorrem mesmo quando uma pessoa procura manter-se em pé o mais estável possível. Essas oscilações são decorrentes da dificuldade em manter os muitos segmentos corporais alinhados entre si sobre uma base de suporte restrita, utilizando o sistema muscular que produz forças que variam ao longo do tempo. Os segmentos corporais controlados pela ação muscular são incapazes de permanecer em orientações constantes.

Além disso, diversos fatores fisiológicos como a respiração, os batimentos cardíacos e o retorno venoso influem constantemente na posição ortostática, como afirmam Oliveira et al. (2000).

Na manutenção do equilíbrio corporal, o sistema vestibular, o sistema óptico e o sistema proprioceptivo precisam estar funcionalmente entrosados. A manutenção do equilíbrio geral é realizada pelo sistema vestibular. Esse sistema detecta as sensações de equilíbrio, sendo composto de um sistema de tubos ósseos e câmaras na porção petrosa do osso temporal chamado de labirinto ósseo e dentro dele um sistema de tubos membranosos e câmaras chamado de labirinto membranoso (ou membranáceo), que é a parte funcional do sistema vestibular (GUYTON, 1986).

Duarte (2000) cita que o mapeamento do equilíbrio em diferentes posições da base de estabilidade pode ser útil para avaliar a performance do sistema de controle

postural em controlar o equilíbrio em situações extremas em que o corpo humano possa cair.

Marsico et al. (2002) afirmam que a distribuição de carga no pé reflete na postura e no equilíbrio postural. A utilização da baropodometria na análise do equilíbrio corporal é uma tecnologia recente, existindo poucas pesquisas relatando seu uso, pois é normalmente utilizada para fins clínicos, explicando assim a inexistência de artigos acadêmicos sobre o assunto. No entanto, se mostra uma excelente metodologia para avaliar o equilíbrio através do deslocamento do centro de pressão (SCHMIDT et al. 2003).

Bankoff et al. (2004) estudaram através do sistema de baropodometria eletrônica as posturas corporais estática, dinâmica e também, a postura corporal monopodálica direita e esquerda, com olhos abertos e olhos fechados, por um período de 03 segundos, em sujeitos do sexo masculino. Os resultados mostraram que na postura dinâmica o percentual de carga e a área de superfície são maior quando comparada com a postura estática, independente do sujeito estar com ou sem calçado, para as regiões plantares: anterior, posterior e plantar total, nas análises baropodométricas. Quanto às análises posturográficas, monopodálicas olhos abertos e fechados, ficou claramente evidenciado a dificuldade de manutenção do equilíbrio corporal, principalmente com os olhos fechados, mostrando assim, as fortes e consistentes inter-relações neuromotoras entre o sistema visual e posturas corporais.

Nesse sentido, o presente trabalho tem como objetivo estudar o equilíbrio estático humano, através Baropodômetro Eletrônico e verificar a influência da estatura e da massa corporal no controle do equilíbrio postural; analisar a influência da visão no controle do equilíbrio postural; fazer uma análise comparativa da estabilometria monopodálica com a bipodálica; verificar se existem diferenças significativas nas oscilações do centro de pressão, eixo x (oscilação lateral) e eixo y (oscilação ântero-posterior), tanto para o pé direito quanto o pé esquerdo na análise monopodálica; estudar o comportamento das oscilações bipodálicas e monopodálicas, quanto às suas manifestações, em relação aos eixos x e y.

## **Objetivo Geral**

O objetivo deste estudo foi analisar o equilíbrio corporal estático através da utilização da avaliação baropodometria, onde participaram 30 sujeitos, sendo 18 do sexo masculino e 12 do sexo feminino.

## **Metodologia**

A coleta de dados foi realizada através do Baropodômetro Eletrônico, no Laboratório de Eletromiografia e Biomecânica da Postura da Faculdade de Educação Física - Universidade Estadual de Campinas/Unicamp.

## **Sujeitos**

Participaram do estudo 30 sujeitos, sendo 18 do sexo masculino com média de idade 38,7 anos, com estatura corporal de 1,73, massa corporal 76,41 e IMC 25,42; 12 do sexo feminino, com média de idade 43,8 anos, com estatura corporal de 1,55, massa corporal de 65,1 e IMC 27,09. Os sujeitos participaram da pesquisa voluntariamente os quais informaram sua idade e tamanho de calçado, bem como preencheram o termo de consentimento.

## **Instrumento Utilizado**

Para a realização dos testes, utilizou-se um Baropodômetro Eletrônico composto por uma plataforma modular adquirida da Physical Support Italy. Este aparelho é constituído por sensores eletrônicos de platina revestidos por um captador em cacho alveolar que reconhece as informações do apoio plantar conservando a mobilidade natural. As aquisições das imagens são precisas, instantâneas, reproduzíveis e não invasivas. O Baropodômetro Eletrônico Modular registra as imagens de pontos de pressão plantar, oscilações ântero-posteriores e oscilações laterais (ambas em cm), ou seja nos eixos Y e X e oscilações do centro de pressão medidos em superfície por  $\text{cm}^2$ , embora neste trabalho utilizamos apenas as medidas de oscilações.

### **Aquisição de dados**

A análise da oscilação do centro de pressão foi realizada de duas formas: bipodálica e monopodálica, ambas estáticas. Na avaliação bipodálica, os sujeitos foram instruídos a permanecerem na posição em pé com os pés ligeiramente separados por uma largura confortável (de acordo com a largura dos ombros) com os braços ao longo do corpo.

A análise monopodálica foi executada com os sujeitos apoiados sobre o pé esquerdo, tendo o pé direito elevado com o joelho direito fletido, com os braços no prolongamento do corpo, e posteriormente, o inverso. Para cada uma das situações mencionadas, os sujeitos apresentaram-se descalços e executaram o teste inicialmente com os olhos abertos e posteriormente com os olhos fechados. Em todos os casos o aparelho foi calibrado com o tempo de 05 segundos para a execução dos procedimentos.

### **Tratamento Estatístico**

Para a análise estatística dos resultados foi utilizado o software Statística versão 5.0. Para as funções de correlação foi utilizado o coeficiente de correlação de Pearson e para a verificação de diferenças significativas foi utilizado o teste “t” de Student, com nível de significância de  $p < 0,05$ .

### **Resultados e Discussão**

Os dados referentes ao deslocamento do centro de pressão, tanto para a avaliação bipodálica quanto na avaliação monopodálica, apresentando as oscilações do eixo x (oscilação lateral), do eixo y (oscilação antero-posterior), ambos expressos em cm, assim como as oscilações do centro de pressão em  $\text{cm}^2$  de superfície, encontram-se apresentados nas figuras de 1 a 3 e Tabela 1, que representa as características antropométricas e idade do grupo avaliado:

TABELA 1 - DADOS MÉDIOS, DESVIO PADRÃO (MÍNIMO – MÁXIMO VALOR) DE IDADE, ESTATURA, MASSA CORPORAL E IMC DOS INDIVÍDUOS

	<b>Masculino (n = 18)</b>	<b>Feminino (n = 12)</b>	<b>Grupo (n = 30)</b>
<b>Idade (anos)</b>	38,7 ± 8,45 (21 – 55)	43,8 ± 13,30 (18 – 56)	40,47 ± 10,66 (18 – 56)
<b>Estatura (m)</b>	1,73 ± 0,06 (1,65 – 1,86)	1,55 ± 0,07 (1,44 – 1,68)	1,66 ± 0,11 ** (1,44 – 1,86)
<b>Massa Corporal (Kg)</b>	76,41 ± 10,70 (51,9 – 94)	65,1 ± 10,74 (44 – 83,9)	71,89 ± 11,94 ** (44 – 94)
<b>IMC</b>	25,42 ± 3,49 (18,50 – 31,41)	27,09 ± 4,82 (21,21 – 39,36)	26,09 ± 4,08 (18,50 – 39,36)

\*\*Diferença significativa entre os grupos masculino e feminino, para  $p < 0,05$ .

O grupo masculino diferiu significativamente do grupo feminino nas variáveis antropométricas de estatura e massa corporal, porém quando confrontados os resultados das oscilações corporais entre os grupos masculino e feminino, em nenhuma das situações houve diferença estatisticamente significativa. O mesmo foi encontrado por Oliveira et al. (2000), por isso os resultados serão apresentados considerando-se todo o grupo, uma vez que as variáveis estatura e massa corporal não obtiveram correlação com as oscilações corporais.

Relacionando-se a estatura com as oscilações, foi realizada uma análise comparativa utilizando o coeficiente de Correlação de Pearson para verificar a influência da estatura corporal nas oscilações durante as avaliações realizadas. Esse teste foi realizado com intuito de verificar a existência ou não da relação entre a altura do centro de gravidade corporal com a oscilação do centro de pressão, devido à projeção do centro de gravidade no centro de pressão, como descrito por Fraccarolli (1981). Nessa análise não foi observada relação entre a estatura e as oscilações corpóreas em todas as suas manifestações aferidas na avaliação.

É provável que o aumento proporcional do tamanho dos pés e do calçado em relação à altura de cada um dos sujeitos, tenha sido responsável pela não ocorrência da relação, já que a base de apoio é aproximadamente um retângulo formado por linhas retas através dos dedos e calcanhares e ao longo da largura lateral de cada pé (GARHAMMER, 1991). Oliveira et al. (2000) relata que há mais de duas décadas,

questionava a influência da estatura nas medidas estabilométricas, concluiu em seu estudo que não houve correlação da estatura corporal nas oscilações.

Brunnstrom (1989) descreve alguns fatores que interferem na estabilidade de um corpo, além da altura do centro de gravidade é o peso do corpo. Fraccaroli (1981) também se refere ao peso do corpo, descrevendo que quanto mais pesado o corpo, mais difícil é desequilibrá-lo, porque traz seu centro de gravidade mais para baixo. Para investigar a influência da massa corporal sobre as oscilações nesse estudo, obedecendo ao mesmo princípio de estudo de correlação anterior, verificou-se que não houve correlação entre a massa corporal e as oscilações.

Para o estudo de comparações entre as oscilações, para todas as manifestações, foi aplicado o tratamento estatístico com o teste “t”. Nas oscilações bipodálica ocorridas, não foi observada diferença significativa quando realizada com os olhos abertos comparados com olhos fechados (Figura 1). Provavelmente, isso ocorre devido à manutenção do equilíbrio na posição bipodálica ser muito mais estável do que a monopodálica, que tem uma base de sustentação muito mais restrita e instável, como descreve Schmidt et al. (2003). Esses autores afirmam ainda que o equilíbrio corporal tem maior estabilidade quando se utilizam os dois pés ao solo e apesar da grande importância da visão na manutenção do equilíbrio corporal, as informações periféricas vindas dos pés intervêm a fim de informar o sistema nervoso as posições e os movimentos relativos do corpo em relação ao meio ambiente, garantindo assim maior estabilidade à postura corporal.

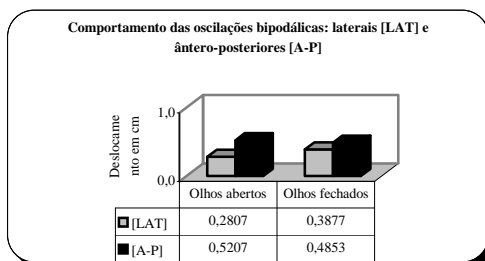


Figura 1: Comportamento das oscilações bipodálicas: laterais [LAT] e ântero-posteriores [A-P].

Foi encontrada maior oscilação ântero-posterior, tanto com os olhos abertos quanto com os olhos fechados. Em relação a esse comportamento. Clapp e Wing (1999) afirmam que valores superiores nas oscilações bipodálicas ântero-posteriores são tipicamente duas vezes mais freqüentes do que nas oscilações laterais, sugerindo assim estabilidade lateral. Esses resultados manifestariam oscilações corporais normais já que oscilações bipodálicas predominantemente laterais sugerem problemas ou distúrbios no Sistema Nervoso Central (HODGES et al., 2002).

Nas oscilações monopodálicas, diferentemente das bipodálicas, observa-se diferença significativa quando comparada às oscilações com os olhos abertos com as oscilações com os olhos fechados em todos os casos, tanto com o pé direito, como o esquerdo e também nas oscilações laterais, antero-posteriores e superfície de oscilação.

A dificuldade encontrada pelo corpo em realizar ajustes posturais com o intuito de restabelecer o equilíbrio sem as informações sensoriais fornecidas pelo sistema visual, pode ser o fator responsável por essa diferença, como comprovado em resultados e descrito por Schmidt et al. (2003). Brunnstrom (1989) a respeito da informação visual descreve que as imagens visuais da localização do corpo e suas partes com relação a pontos de referência no ambiente imediato dão informações complementares para a manutenção do equilíbrio. Duarte (2000) ratifica essa teoria quando afirma que a informação visual é importante para a realização dos ajustes e correção da posição.

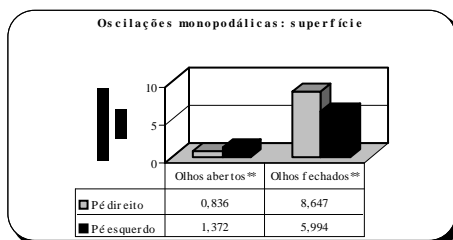


Figura 2: Superfície de oscilações monopodálicas com o pé direito e esquerdo.

\*\* Houve diferença significativa entre os olhos abertos e fechados, para  $p < 0,05$ .



Na comparação monopodálica das oscilações entre o pé esquerdo e o pé direito não foi observado nenhuma diferença significativa nesse estudo. Diversos estudos não encontraram nenhuma diferença e influência entre os membros dominantes nas oscilações monopodálicas (OLIVEIRA et al., 2000; SCHMIDT et al., 2003).

Duarte (2000) cita que as oscilações do centro de pressão nas análises estabilométricas são aleatórias e não estruturadas. Nesse estudo as oscilações monopodálicas apresentaram comportamento diferente das oscilações bipodálicas, apresentando maiores valores nas oscilações laterais. Esses comportamentos distintos acontecem por causa da estabilidade lateral do apoio com os dois pés que dificultam as oscilações laterais, diferentemente do apoio monopodálico, que é muito mais instável principalmente lateralmente.

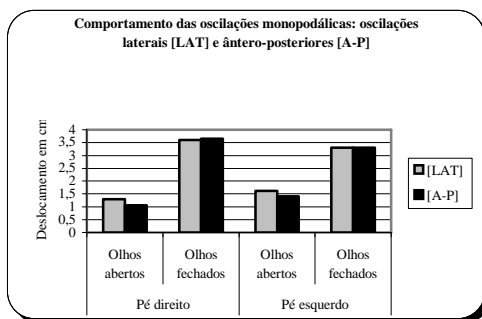


Figura 3: Comportamento das oscilações monopodálicas: oscilações laterais [LAT] e ântero-posteriores [A-P].

Nas oscilações monopodálicas fica evidente a dificuldade em manter a estabilidade lateral em relação à estabilidade ântero-posterior, pois no apoio com apenas um pé, a área de suporte se distribui muito mais ântero-posteriormente do que lateralmente, além da grande diminuição de toda a área de suporte. Nesse aspecto, as oscilações monopodálicas se apresentaram muito semelhantes nos dois apoios (direito e esquerdo), diferindo apenas nos valores numéricos. Com os olhos abertos os valores das oscilações laterais sempre se mantiveram maiores e com os olhos fechados as oscilações se mantiveram semelhantes nos dos dois eixos (lateral e antero-posterior).

### **Considerações Finais**

Observa-se nesse estudo a complexidade da posição ortostática, assim como os diversos fatores e variáveis que influem direta e indiretamente no equilíbrio humano, como os fatores mecânicos, antropométricos e fatores neuromusculares, próprios da complexidade do ser humano.

Bankoff et al. (1992) reforçam a questão que o equilíbrio corporal postural é algo muito difícil em qualquer idade e são necessários muitos estudos para afirmar com segurança qual a melhor e mais eficiente postura corporal. Schmidt et al. (2003) acreditam que a complexidade da discussão a respeito do equilíbrio humano é resultante de fatores mecânicos e antropométricos, assim como, de fatores neuromusculares. Hall (1993) afirma que apesar dos princípios de estabilidade serem geralmente verdadeiros, suas aplicações ao corpo humano somente poderão ser feitas se reconhecermos a influência dos fatores neuromusculares.

Bankoff et al. (2004) salientam que o equilíbrio corporal postural além de toda sua complexidade, também está fundamentado nas relações provenientes das vias aferentes vestibulares e auditivas através do nervo craniano vestibulo-coclear (VIII par), relacionado respectivamente com o equilíbrio e a audição, dois fatores fundamentais para se trabalhar nas questões posturais.

O estudo do equilíbrio humano necessita de aprofundamentos, por falta de mecanismos de avaliação conforme afirmam Bankoff et al. (1992). Hall (1993) afirma que são necessárias mais pesquisas para esclarecer a aplicação dos princípios da estabilidade ao equilíbrio humano enquanto que Schmidt et al. (2003) esclarecem que a utilização da baropodometria para o estudo do equilíbrio humano é uma tecnologia recente, mas demonstra ser uma ótima metodologia para esse tipo de análise.

### **Abstract**

A daily behavior such as the maintenance of the erect position is a difficult task that involves a complex relationship between motor activity and sensorial information (Barela, 2000). The balance identification in different positions of the stability bases might be useful to evaluate the performance of the body control system to keep the balance in extreme situations that the body can face (Duarte, 2000). The aim of this

study was to analyze the static equilibrium corporal through the baropodometer evaluation. 30 subjects were analyzed, being 18 of the masculine sex with age average 38,7 years old, with corporal stature of 1,73, body mass 76.41 and Body Mass Index 25,42; being 12 female, with age average of 43,8 years old with corporal stature of 1,55, corporal mass of 65,1 and Body Mass Index of 27,09. They participated in the study voluntarily, and, before doing the stability test, they filled out a form specifying their age, and shoe size and the formal assent. The data for analysis consisted of the anterior-posterior (y axis) and lateral (x axis) oscillations, and the oscillations of the pressure center on the surface (in cm<sup>2</sup>) that were measured by a Physical Support Italy Electronic baropodometer. All the data was collected from the subjects first with their eyes open and then with their eyes closed in the bipedal and monopodal situation.

**Key Words:** Corporal equilibrium; Stabilometer; Baropodometer.

### Referências Bibliográficas

BANKOFF, A. D. P. et al. Analisis podometrico de los atletas de levantamiento de peso mediante la técnica vídeo-podometrica. In: CONGRESSO CIENTÍFICO OLÍMPICO, 1., Málaga, 1992. *Anais...* Málaga, 1992. v. 1, p. 18.

BANKOFF, A. D. P. et al. Estudo do equilíbrio corporal postural através do sistema de baropodometria. *Conexões*, v. 2, n. 2, 2004.

BARELA, J. A. Estratégias de controle em movimentos complexos: ciclo percepção-ação no controle postural. *Revista Paulista de Educação Física*. p. 79-88, 2000. Supl. 3.

BRUNNSTROM, S. *Cinesiologia clínica*. São Paulo: Manole, 1989.

CLAPP, S.; WING, A. M. Light touch contribution to balance in normal bipedal stance. *Experimental Brain Research*, v. 125, p. 521-524, 1999.

BARCELLOS, C.; IMBIRIBA, L. A. Alterações posturais e do equilíbrio corporal na primeira posição em ponta do balé clássico. *Revista Paulista de Educação Física*. São Paulo v. 16, n. 1, p. 43-52, jan./jun. 2002.

DOUGLAS, C. R. *Tratado de fisiologia aplicada à saúde*. 5. ed. São Paulo: Robe Editorial, 2002.

DUARTE, M. *Análise estabilográfica da postura ereta humana quase-estática*. 2000. 87f. Dissertação (Livre-Docência em Educação Física) – Escola de Educação Física e Esporte, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

ENOKA, R. M. *Bases neuromecânicas da cinesiologia*. 2. ed. São Paulo: Manole, 000.

FRACCAROLI, J. L. *Biomecânica: análise dos movimentos*. 2. ed. Rio de Janeiro: Cultura Médica, 1981.

GARHAMMER, J. Biomecânica. In: RASH, P. J. *Cinesiologia e anatomia aplicada*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1991.

GUYTON, A. C. *Fisiologia humana e mecanismo das doenças*. 3. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1986.

HALL, S. J. *Biomecânica básica*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1993.

HODGES, P.W. et al. Coexistence of stability and mobility in postural control: evidence from postural compensation for respiration. *Experimental Brain Research*, v. 144, p. 293-302, apr. 2002.

HORAK, F. B.; MACPHERSON, J. M. *Handbook of physiology*. New York: Oxford University Press, 1996.

MARSICO, V. et al. Analisi baropodometrica del passo in soggetti sani anziani ed in pazienti gonartrosici prima e dopo intervento di artroprotesi di ginocchio. *G Ital Med Lav Erg.*, v. 24, n.1, p. 72-83, 2002.

OLIVEIRA, L. F.; IMBIRIBA, L. A.; GARCIA, M. A. C. Índice de estabilidade para avaliação do equilíbrio postural. *Revista Brasileira de Biomecânica*, v. 1, n. 1, p. 33-38, nov. 2000.

SCHMIDT, A. et al. Estabilometria: estudo do equilíbrio postural através da baropodometria eletrônica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO ESPORTE, 13., 2003. Caxambu. *Anais...* Caxambu, 2003.

Artigo recebido em 20/06/2006

Enviado ao parecerista em 04/09/2006

Aprovado em 22/09/2006