

# UMA PRÁTICA DE DETERMINAÇÃO DA CONSTANTE SOLAR

## A SOLAR CONSTANT DETERMINATION OF PRACTICE

Me. Alessandro Chicarelli Pereira<sup>1</sup>, Dr. Lev Vertchenko<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Sistema Servita de Educação/Escola Regina Pacis, alechicareli@hotmail.com

<sup>2</sup> PUC Minas, vertchlev@gmail.com

**RESUMO:** O objetivo deste trabalho foi elaborar um material com ênfase em um experimento abrangendo a observação do Sol, que consiste em submeter uma bacia de fundo preto contendo água, à luz do Sol, e cronometrar o tempo que a água leva para sofrer uma variação  $\Delta T$  na sua temperatura, nos permitindo fazer estimativas de grandezas que levam à conclusão da existência de fusão nuclear no interior do Sol, mecanismo responsável pela geração da energia do astro. A proposta metodológica foi aplicada, em forma de minicurso, a um grupo de 10 professores de Física do Ensino Médio de escolas da rede estadual de ensino das cidades de Fervedouro, Ponte Alta de Minas, Carangola e Divino no estado de Minas Gerais. A proposta do trabalho foi o de apresentar uma metodologia que pudesse dar significado ao conhecimento adquirido, com a preocupação de mostrar a concatenação lógica dos acontecimentos, visando o aperfeiçoamento do processo de ensino e aprendizagem da Física presente em um tópico de Astrofísica. A escolha deste tema se deu por entendermos que ele é altamente motivador e capaz de permitir o estabelecimento de conexões com diversas áreas do saber. A base teórica deste trabalho foi fundamentada na teoria sócio-histórica desenvolvida por Vigotski. A atividade experimental foca momentos pedagógicos com o objetivo de tornar o tema significativo e relevante para os professores (e os estudantes de licenciatura em Física), permitindo que eles se sentissem seguros em abordá-los durante suas atuações profissionais no futuro. Os indícios da aprendizagem significativa foram obtidos por meio de um instrumento de avaliação que os professores responderam no final da participação no minicurso. Nesse instrumento, os professores apresentaram um índice de aproveitamento satisfatório, e os resultados apontaram que o assunto é reconhecido por eles como potencialmente significativo, mostrando a aprovação da metodologia desenvolvida e utilizada.

**Palavras-chave:** Astrofísica; Ensino de Física; Aprendizagem Significativa.

**ABSTRACT:** The objective of this study was to develop a material with emphasis on an experiment involving the observation of the Sun, which is to submit a black background bowl containing water, sunlight, and time how long the water takes to undergo a  $\Delta T$  variation in its temperature, allowing us to estimate quantities that lead to the finding of nuclear fusion inside the sun, mechanism responsible for the energy star. This material allows an introduction to astrophysics in Physics Degree. The methodology was applied in a short course for a group of 10 Physics teachers who work at public schools in Fervedouro, Ponte Alta de Minas, Carangola and Divino cities in the state of Minas Gerais. This study introduces a methodology in order to give a meaning for acquired knowledge, concerning about showing the logical concatenation of events, aiming to improve the physics teaching and learning that is present in an astrophysics topic. This theme was chosen because it is extremely motivator and it is able to afford connections among different areas of knowledge. This project was founded in the socio-historical theory developed by Vygotsky. The experimental activity focuses on teaching moments in order to make meaningful and relevant topic for teachers (and undergraduate students in Physics), allowing them to feel safe in approaching them for their professional performance in the future. Evidence of meaningful learning was obtained through an assessment tool that teachers responded at the end of participation in short course. In this instrument, the teachers presented a satisfactory

*utilization rate, and the results showed that it is recognized by them as potentially significant, showing the approval of the methodology developed and used.*

**Keywords:** Astrophysics; Physics Teaching; Meaningful Learning.

## INTRODUÇÃO

O Ensino de Astronomia, bem como da Astrofísica nos cursos de Licenciatura em Física é marcado pela descontinuidade e por uma literatura insuficiente para atender os objetivos a que se propõe, e cumprir o estabelecido pela Constituição Federal de 1988 (BRASIL, 1988).

Entretanto, sabe-se que é notável o encanto que as pessoas sentem pelo céu. Contudo, os fenômenos celestes e atmosféricos que fazem parte do nosso cotidiano não são compreendidos por grande parte de nós, sendo, muitas vezes entendidos como de natureza mística e não como fenômenos naturais.

O objetivo deste trabalho foi apresentar a proposta de um experimento que possibilite dentro de certas limitações, uma introdução à Astronomia e à Astrofísica para os cursos de Licenciatura em Física, através da apresentação de estimativas de grandezas como a determinação da constante solar, que se constitui um importante parâmetro que leva à conclusão da existência de fusão nuclear no interior do Sol. Isso envolve a determinação da distância da Terra ao Sol, da constante gravitacional  $G$  e da luminosidade do astro. A determinação das grandezas foram apresentadas em perspectiva cronológica, e com a preocupação de mostrar a sua concatenação lógica em direção à evolução da concepção da fonte de energia do Sol, nos auxiliando a fazer inferências importantes sobre a Física presente nos fenômenos celestes aqui estudados.

O referencial teórico-pedagógico aqui adotado é inspirado em Gaspar & Monteiro (2005), em artigo publicado sobre a realização de demonstrações. Apesar de realizarmos apenas uma experiência, o artigo sugere que tais atividades, quando fundamentadas na teoria de Vigotski (2001), podem funcionar como facilitadoras do processo de ensino aprendizagem.

Escolhemos um tópico de Astrofísica a ser desenvolvido, apresentando como importante concepção, o mecanismo responsável pela geração de energia nas estrelas. Optou-se pelo conteúdo, pois, além de apresentar um elevado grau de dificuldade, é um tema que, às vezes, não chega a ser abordado nos cursos de licenciatura em Física.

Considerando o aspecto motivacional que a Astronomia e a Astrofísica podem proporcionar, os fenômenos que observamos no céu e no mundo que nos cerca, possibilitam indagações muito ricas, que se fazem presentes em diversos campos do conhecimento humano, bem como nos sensibilizam significativamente. De onde viemos? – Como surgiu o universo? Esses são alguns exemplos de perguntas que temos nos feito, “em todos os tempos e em todas as civilizações, essas perguntas sempre inquietaram a humanidade e receberam diferentes respostas” (MARTINS, 1994, p.7).

Acreditamos que a introdução de uma atividade experimental abrangendo a observação do Sol servirá tanto de apoio para contribuir para a formação dos conceitos como também de motivação para o estudo da Física presente nos tópicos de Astronomia e Astrofísica propostos para os cursos de Licenciatura em Física. Desta forma, estamos propondo uma nova metodologia que utilizará um

experimento com o intuito de inserir novos signos para formar princípios que servirão de pré-requisitos para uma aprendizagem mais significativa.

Nos cursos de Licenciatura em Física ou outras matérias afins como, por exemplo, na Astronomia e na Astrofísica, as atividades experimentais e as observações exercem um papel importante na formação dos acadêmicos. Quando o aluno verifica e/ou interpreta um problema prático, desenvolve capacidades e competências que dificilmente seriam alcançadas com uma aula teórica convencional.

Utilizamos um experimento que consiste de uma bacia com água, um termômetro, um recipiente graduado para medida de volume, relógio cronômetro e uma calculadora, porque alguns sistemas mais complexos, além de impraticáveis, podem não funcionar da primeira vez, necessitando de diversas revisões e ajustes. Além disso, a precisão do processo pode ser aumentada através do aprimoramento do modelo, pois, como o problema está simplificado, temos condições de exercer um controle maior sobre o seu comportamento. Isso acontece porque estão envolvidas, neste caso, menos variáveis para serem controladas durante a realização do experimento.

O objetivo do experimento foi medir a quantidade de energia proveniente do Sol e recebida na Terra a cada minuto, calcular a constante solar e relacionar essa constante com a potência emitida pelo Sol.

Com esses dados fomos capazes estabelecer o conceito de luminosidade, compreender a relação entre a altitude do Sol no céu e o valor da constante solar medido na superfície da Terra, relacionar a luminosidade com a energia emitida e chegarmos à temperatura efetiva do Sol. Através de condições de equilíbrio, estimaremos o valor da temperatura e da pressão no núcleo do Sol, os participantes do minicurso perceberam que elas se tornam tão altas a ponto de ocorrer fusão nuclear no interior da estrela.

#### ***Determinação da luminosidade do Sol, metodologia utilizada no experimento da bacia com água e equipamento necessário:***

- uma bacia;
- água;
- termômetro;
- fita adesiva preta;
- recipiente graduado para medida de volume;
- relógio cronômetro;
- calculadora.



Figura 1 – Bacia utilizada no experimento  
Fonte: Foto do autor

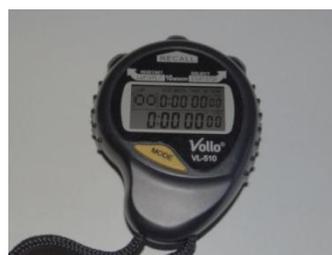


Figura 2 – Cronômetro digital  
Fonte: Foto do autor



Figura 3 – Becker utilizado para a medida do volume da água  
Fonte: Foto do autor



Figura 4 – Termômetro graduado na escala Celsius.  
Fonte: Foto do autor

A ideia básica desta experiência foi colocar uma bacia com água sob o Sol e observar o aumento da temperatura da água devido à absorção da energia solar. A partir deste aumento da temperatura, pode-se calcular a quantidade de energia absorvida. Sabemos que, por definição, é necessária uma caloria para aumentar a temperatura de um centímetro cúbico de água em um grau Celsius.

Para um melhor resultado na experiência utilizamos uma bacia vazia e cobrimos seu interior com material plástico preto. O objetivo desta cobertura preta é propiciar a maior absorção de energia possível. Ao lado da cobertura preta, instalamos com fita adesiva um termômetro para medir a temperatura da água.

Os participantes foram orientados que de preferência, fizessem o experimento num dia sem nuvens e sem vento. Foram feitas medidas de temperatura ao Sol e depois na sombra. As medidas de temperatura na sombra devem ser feitas para determinar a quantidade de calor que fluirá para dentro ou para fora da bacia, que não seja devido à incidência solar direta.

Orientamos que deveriam ser feitas pelo menos quatro medidas de temperatura, que foram anotadas na tabela abaixo, duas no Sol e duas na sombra. Para cada medida, colocamos água fria na bacia.

Orientamos ainda que a quantidade de água deveria ser sempre a mesma, tomando o cuidado de não encher a bacia completamente evitando assim um possível transbordamento.

Para um mesmo intervalo de tempo de exposição da bacia com água ao Sol e na sombra, determinamos a quantidade de energia absorvida pela amostra de água, que é aproximadamente igual ao número de calorias emitidas pelo Sol.

Para determinar a constante solar, calculamos a área coletora da bacia. Finalmente, dividimos as calorias calculadas anteriormente pela área coletora, e pelo intervalo de tempo de exposição ao Sol e obtemos o número de calorias absorvidas por minuto e por  $\text{cm}^2 \equiv \text{CONSTANTE SOLAR}$ , desconsiderando os efeitos atmosféricos como: altitude do local e altura do Sol.

Pedimos então, que os participantes fizessem as seguintes atividades:

1. Determine a constante solar como descrito acima;
2. Calcule a luminosidade do Sol a partir do valor da constante solar determinada anteriormente. Compare com o valor da luminosidade do Sol contido em tabelas astronômicas;
3. Preencha a tabela abaixo com os dados coletados.

	Hora Início	Temperatura	Hora Fim	Temperatura	$\Delta T$
Sol					
Sol					
Sombra					
Sombra					

### Orientação:

1ª medida:

Coloque a bacia com água sob o Sol, e meça imediatamente a temperatura. Anote na tabela 1 a hora e a temperatura medida. Procure maximizar a superfície preta exposta ao Sol. Talvez seja necessário reajustar a posição da bacia ao longo da exposição, de modo a mantê-la o mais perpendicular possível em relação aos raios do Sol. Após 15 minutos de exposição ao Sol, anote novamente a hora e a temperatura medida.

2ª medida:

Repita o procedimento descrito para a 1ª medida.

3ª e 4ª medidas:

Repita os procedimentos da 1ª medida colocando o mesmo volume de água fria usada na 1ª e 2ª medidas, porém deixando a bacia na sombra, “protegendo-a” dos raios do Sol, medindo a temperatura imediatamente e após 15 minutos.

Calcule a variação de temperatura durante 15 minutos. As duas medidas no Sol e as duas medidas na sombra devem ser semelhantes. Se não forem, algum erro deve ter sido cometido durante o experimento (por exemplo, passagem de nuvens, etc.).

**Tabela 01:** Dados obtidos em uma realização do experimento

	Hora Início	Temperatura	Hora Fim	Temperatura	$\Delta T$
Sol	10:55	19,0°C	11:10	23,5°C	4,5°C
Sol	11:15	19,0°C	11:30	23,6°C	4,6°C
Sombra	10:55	19,0°C	11:10	19,3°C	0,3°C
Sombra	11:15	19,0°C	11:30	19,4°C	0,4°C

Fonte: Dados da pesquisa

Varição da temperatura no Sol:  $[(23,5^\circ - 19,0^\circ) + (23,6^\circ - 19,0^\circ)] / 2 = 4,55\text{C}$

Varição da temperatura na sombra:  $[(19,3^\circ - 19,0^\circ) + (19,4^\circ - 19,0^\circ)] / 2 = 0,35^\circ\text{C}$

Varição total da temperatura:  $\Delta t = 4,2^\circ\text{C}$

Volume de água utilizado no experimento: 2 litros



Figura 5 – Medida da temperatura inicial da água (sombra e sol)

Fonte: Foto do autor

Propusemos que o estudante de física (no nosso caso os professores participantes do minicurso) calculassem a luminosidade do Sol utilizando os dados obtidos no experimento anterior, o que permite estabelecer uma relação da luminosidade do astro com a temperatura efetiva  $T_{ef}$  da sua fotosfera (camada visível do astro).

Conforme podemos constatar na literatura, OLIVEIRA FILHO & OLIVEIRA SARAIVA (2004, p. 122 – 123), só podemos observar uma delgada camada superficial do Sol, a fotosfera, que emite a luz que faz o Sol visível, por isso, estaremos considerando, a fotosfera a superfície do Sol.

Medidas realizadas com maior precisão mostram que a energia emitida por segundo, por metro quadrado, e que chega ao topo da atmosfera da Terra (a constante solar) vale:  $f = 1,36 \times 10^3 \text{ W/m}^2$  (valor medido fora da atmosfera da Terra e que usamos para posteriores considerações), e com base na conservação da Quantidade de Energia, podemos calcular a luminosidade  $L$ , que é a potência total irradiada pelo sol.

$$E = mc\Delta t \rightarrow \frac{mc\Delta T}{A \Delta t} = f$$

$$\frac{2000g \cdot \frac{1cal}{g^{\circ}C} \cdot 4,2^{\circ}C}{368 \text{ cm}^2 \cdot 15 \text{ min}} = f$$

$$f = 1,54 \text{ cal/min.cm}^2 = 1,54 \cdot 4,2 / 10^{-4} \cdot 60 = 1078 \text{ W/m}^2,$$

valor que é muito próximo do valor que encontramos na literatura, como por exemplo no livro “Astronomia & Astrofísica, Oliveira Filho, Kepler de Souza e Saraiva, Maria de Fátima Oliveira (2004) 2ª edição página 127”.

### **Aplicação do material**

No início do minicurso os professores assistiram a apresentação de slides sobre o objeto de estudo e a motivação para o trabalho. Neste momento, os professores reconheceram que têm sérias dificuldades ao ensinar conceitos básicos de fenômenos relacionados à Astronomia/Astrofísica, devido às deficiências encontradas em sua formação, uma vez que nenhum deles havia estudado durante a graduação tópicos relacionados com Astronomia/Astrofísica.

Na sequência, os professores resolveram um exercício para determinar a distância da Terra ao Sol, relacionando a 3ª Lei de Kepler com a determinação da Unidade Astronômica, resolveram ainda um segundo exercício e calcularam o

diâmetro do Sol, conheceram como Cavendish obteve o valor da constante G que foi usada na determinação da massa solar e da massa da Terra.

Com o conhecimento do conceito de fluxo de radiação luminosa emitido pelo Sol a chamada “constante solar”, com a equação  $f = \frac{L}{4\pi d^2}$ , relacionaram  $f$  com a luminosidade do astro e com a distância à Terra.

De posse do material e do roteiro que receberam, os professores se dividiram em dois grupos e realizaram a atividade experimental da bacia com água, registrando os dados obtidos em uma tabela.

Dando continuidade, os professores conheceram uma nova equação que relacionava a energia recebida pela bacia com água com a constante solar “ $E = fAt$ ”, e como esta energia estava sendo usada para variar a temperatura da água, estabeleceram uma relação com a equação  $E = mc\Delta T$  e puderam verificar que a constante solar poderia ser determinada por:  $f = \frac{mc\Delta T}{At}$ .

Tomando a nova equação para  $f$ , os professores retornaram aos dados experimentais e estimaram o valor da constante solar. Em seguida, os professores resolveram um exercício que questionava o porquê de o valor encontrado no experimento da bacia com água ser diferente do valor tabelado de  $f$ , resolveram o outro exercício que possibilitou que estimassem a luminosidade do astro. Os valores da luminosidade, da constante solar e da unidade astronômica, permitiram estimar a temperatura efetiva do Sol.

Para entender a luminosidade do Sol, os professores resolveram outro exercício que os levou a se questionarem se seria possível, explicar a energia do Sol através da queima de algum combustível que faz parte do nosso dia-a-dia, caso toda a sua massa fosse formada de um desses combustíveis.

Ao resolver os exercícios percebemos que os professores sinalizaram para o entendimento de que com tais combustíveis o tempo de vida do Sol seria muito curto, o que não estaria de acordo com o tempo de vida da Terra que é mais nova que o Sol.

Para prosseguirmos, os professores conheceram o conceito de equilíbrio hidrostático do Sol, sinalizando que o Sol deve estar em equilíbrio, o chamado equilíbrio hidrostático, e resolveram um exercício para entender se seria possível explicar a luminosidade do astro caso sua energia se devesse à contração gravitacional.

Ao resolverem o exercício, a maioria dos professores concluíram que ainda assim, o tempo de vida do Sol seria pequeno, ao comparar com a idade de fósseis de algas encontradas na Terra.

Neste momento, os professores resolveram um exercício que possibilitou estimar o valor da pressão e da temperatura no interior do Sol, chegando à conclusão de que os valores eram extremamente altos, o que sinalizava para a possibilidade de haver fusão nuclear por estarem de acordo com a quantidade de energia no qual se dão a maioria das reações nucleares nas estrelas.

Prosseguindo com os textos, foram apresentados aos professores fatores que impedem que as reações de fusão dos prótons sejam mais rápidas: a barreira coulombiana e o fato de nêutrons livres serem raríssimos na natureza.

Nesse momento, os professores questionaram de que forma seria possível que os lentos prótons solares ultrapassem a barreira coulombiana.

A partir do questionamento pudemos introduzir a teoria relacionada com o fenômeno denominado efeito túnel, pelo qual existe efetivamente a possibilidade de um próton atravessar a barreira coulombiana, não importando qual velocidade tenha, conheceram ainda o chamado Pico de Gamow, teoria que mostra a maior probabilidade de ocorrer tunelamento, quando a distribuição de Maxwell-Boltzmann indica um máximo, sendo esta, a região da energia onde a maioria das reações ocorrem.

Por fim, os professores resolveram um exercício onde calcularam o tempo de vida do Sol, levando em consideração a relação existente entre massa e luminosidade.

Após a resolução do exercício, os professores compararam o tempo encontrado com o do aparecimento de algas na Terra e suas respostas sinalizaram que o problema do tempo, relacionado ao “combustível” responsável pela geração da energia na estrela estaria resolvido.

Ao final do minicurso, formulamos um questionário que além de propiciar o desenvolvimento da habilidade de comunicação escrita dos participantes, nos forneceu um material para avaliarmos nossa proposta de trabalho.

Analisando as respostas verificamos um fator agravante presente nos cursos de formação de professores, confirmando o que previmos inicialmente, que Astronomia/Astrofísica não são estudadas durante sua formação. Além disso, assuntos de Física relacionados à Astronomia, que fazem parte dos currículos da educação básica, são pouco ou quase nada abordados durante o curso de Licenciatura. Dessa forma, os estudantes, futuros professores, sentem-se inseguros conceitual e metodologicamente para trabalhar com tópicos que abordem a Astronomia/Astrofísica em sala de aula.

Uma das finalidades do trabalho foi dar significado ao conhecimento adquirido, visando o aperfeiçoamento do processo de ensino e aprendizagem, investindo em novas propostas que possam viabilizar a motivação dos alunos e dirigir a aprendizagem para objetivos bem definidos através de problemas práticos.

Com esta abordagem, podemos afirmar que foi possível instigar nos professores o raciocínio, o espírito investigativo, a cooperação mútua na solução dos problemas e a troca de conhecimentos. Outra contribuição que já esperávamos e foi confirmada, foi a tese de que com a atividade experimental o ensino poderia ser planejado para oferecer estratégias favoráveis à apropriação dos conceitos físicos.

Durante o minicurso, observamos o interesse e motivação dos participantes com o que estava sendo trabalhado. Eles reconheciam a importância da compreensão significativa dos temas para suas possíveis aplicações em sala de aula. Constantemente indagavam, comentavam e confrontavam seus conhecimentos iniciais com os novos conceitos apresentados.

## Considerações finais

Analisando os resultados encontrados com a aplicação da atividade experimental, comprovamos que a aprendizagem se concretizou por meio da interiorização dos conceitos, fazendo com que novas estruturas de pensamento se originassem nas interações entre os grupos e se internalizassem por meio da linguagem.

Pelos resultados apresentados e analisados, cremos que a proposta desenvolvida alcançou os objetivos propostos. Acreditamos que o minicurso foi exitoso e pode ser repetido, com convicção de sucesso, com estudantes do curso de Licenciatura em Física. No entanto, nada impede que ele seja adaptado e aplicado a outros cursos de formação de professores principalmente da área de ciências.

Por fim, considerando os bons resultados aqui alcançados, este trabalho se apresenta como uma boa alternativa metodológica capaz de desenvolver conceitos científicos nos alunos. Com esta proposta, temos a expectativa de ter lançado uma importante contribuição para os futuros professores de Física do ensino médio.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FRIAÇA Amâncio, DAL PINO, Elisabete, SODRÉ JR., Laerte e JATENCO-PEREIRA, Vera (orgs.), **ASTRONOMIA: Uma Visão Geral do Universo**. EDUSP, 2000.

BAZZO, Walter Antônio; PEREIRA, Luiz Teixeira. **Introdução à Engenharia**. 6ª edição. Florianópolis: Editora da UFSC, 2005.

BOCZO, R. Astronomia. In: Maciel, W. J. ed. **Astronomia e Astrofísica: texto do curso de extensão universitária do Departamento de Astronomia do Instituto Astronômico e Geofísico, USP**. São Paulo, 1991.

BRASIL. **Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional**. Lei 9394/96 de 20.12.96. Diário Oficial da União, nº 284 de 23.12.1996 Brasília/DF/BRASIL.1996.

MARTINS, R. de Andrade (1994). **O Universo: Teorias Sobre Sua Origem e Evolução**. 1ª ed. São Paulo, SP: Moderna, v. 1.

BRETONES, P. S., MEGID NETO, J. **Tendências de Teses e Dissertações sobre Educação em Astronomia no Brasil**. Boletim da Sociedade Astronômica Brasileira, v. 24, n. 2, p. 35-43, 2005.

NEVES, Margarida Saraiva, MOREIRA, Marco Concesa Caballero. **Repensando o papel do trabalho experimental, na aprendizagem da Física, em sala de aula: um estudo exploratório**. Investigações em Ensino de Ciências, Porto Alegre, v.11, n. 3, dez./2006.p.383-401.

OLIVEIRA FILHO, K. S.; Saraiva, M. F. O. **Fundamentos de astronomia e astrofísica**. Porto Alegre: Departamento de Astronomia do Instituto de Física – UFRGS, 1999.

OLIVEIRA FILHO, K. S.; Saraiva, M. F. O. **O Sol – a nossa estrela**. (on-line) <http://astro.if.ufrgs.br/esol/esol.htm>, 22/06/2001.

VIGOTSKI, Lev S. **A construção do pensamento e da linguagem**. Tradução de Paulo Bezerra. 1ª edição. São Paulo: Martins Fontes, 2001.

VIGOTSKI, Lev S. **Pensamento e linguagem**. Tradução de Jefferson Luiz Camargo. 2ª edição. São Paulo: Martins Fontes, 1999.