

Leitura de Fórmulas Matemáticas para Cegos e Amblíopes: A Aplicação AudioMath

Helder Ferreira, Diamantino Freitas

LSS/FEUP – Laboratório de Sinais e Sistemas / Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, Portugal
helder.filipe@sapo.pt; dfreitas@fe.up.pt

Resumo

Neste artigo é tratado o resultado de um projecto de mestrado [1] que aborda o problema da falta de acessibilidade dos documentos com conteúdos matemáticos na Internet para pessoas com necessidades especiais, nomeadamente cegos e amblíopes num ambiente escolar.

A solução apresentada baseia-se na análise e interpretação de documentos com fórmulas matemáticas em MathML[2] e sua conversão para uma forma escrita por extenso, sendo posteriormente lida com recurso a um conversor texto-fala. Foram desenvolvidas três aplicações: AudioMathENGINE, AudioMathGUI e AudioMathWEB. Neste trabalho apresentam-se também algumas considerações sobre a prosódia da leitura da matemática e a forma como os humanos lêem e compreendem a leitura das expressões matemáticas.

O artigo termina com a apresentação de um conjunto de testes objectivos e subjectivos para a determinação da qualidade dos resultados obtidos; assim como um conjunto de conclusões sobre esses mesmos resultados.

1. Introdução

No mundo da ciência e da comunidade técnica e científica, a comunicação, a educação, a distribuição e a partilha de conhecimento é realizada através de canais tais como: livros, revistas, artigos ou até mesmo da Internet, de forma sempre crescente desde o seu aparecimento em 1973 [3]. A quantidade de documentos técnicos ou conteúdos científicos *on-line* tem crescido substancialmente nos últimos 30 anos, e o paradigma da educação começa a mudar na direcção da era digital [4]. Em Junho de 2005 ficou estabelecido que 14,6% da população mundial (cerca de 938 milhões de pessoas) utiliza activamente a Internet [5]. No entanto, apesar do vasto acesso à informação electrónica, existe um grupo considerável de pessoas com necessidades especiais, para as quais este acesso é pouco facilitado e nalguns casos impossibilitado. Estão nesse caso os cegos e os amblíopes. Segundo um estudo realizado em 2002, o ICEVI e a OMS concluíram que 35 milhões de pessoas no mundo são cegas e outras 124 milhões de pessoas sofrem de um tipo qualquer de deficiência visual [6]. Geralmente o acesso à educação e à informação técnica é bastante limitado nas pessoas com deficiências visuais [7][8][9]. Este acesso é feito, tipicamente, com recurso a documentação em Braille, gravações áudio de livros e

revistas ou, em casos mais raros, recorrendo a computadores e a tecnologias de fala, tais como síntese e reconhecimento. Contudo, a percentagem de deficientes visuais que conhece o Braille é consideravelmente reduzida, e existem poucas publicações técnicas em formato áudio. É também conhecido que a dificuldade para os cegos aumenta e o grau de acesso diminui, à medida que aumenta o nível de informação técnica no documento, apesar de existirem meios para que estes possam aceder a informações em formato digital [10]. A introdução de tecnologias assistidas e o uso do computador pessoal contribuíram para um melhoramento das condições de acesso à informação dos deficientes visuais, mas levantaram outras barreiras técnicas [11][12]. Aplicações como os leitores de ecrã são ainda pouco eficazes no que diz respeito à Internet e à leitura de conteúdos específicos como a matemática.

Este artigo faz uma introdução ao projecto AudioMath na secção 2, seguido de uma breve descrição das aplicações AudioMathENGINE, AudioMathGUI e AudioMathWEB nas secções 3, 4 e 5. A introdução de conceitos sobre leitura de expressões matemáticas é feita na secção 6, enquanto que a navegação de expressões matemáticas é abordada na secção 7. A apresentação de resultado de testes efectuados é abordada na secção 8. Na secção 9 apresentam-se conclusões do trabalho realizado.

2. O Projecto AudioMath

AudioMath [13][14][15][16][17] é um projecto nascido em 2003, com o objectivo da criação de ferramentas de acessibilidade, usadas como *stand-alone* ou integradas em conversores texto-fala, capazes de:

- Falar fórmulas matemáticas – Análise, interpretação e conversão de MathML numa forma de texto por extenso; Gerar o modelo prosódico de expressões matemáticas; e implementar um sistema de navegação.
- Reconhecer e converter elementos de texto ou *mark-up* que não são directamente compreendidos pelo motor de conversão texto-fala, tais como: numerais, abreviações, acrónimos e referências de rede.

A solução proposta consiste no uso de um conversor texto-fala para a reprodução oral de expressões

matemáticas codificadas em MathML (Figura 1), uma vez que: o meio áudio se encontra disponível e é acessível; existem diversos conversores texto-fala no mercado; e em princípio, a matemática pode ser descrita oralmente.

$$\sqrt{\frac{a}{b}}$$

```

<math>
  <msqrt>
    <mfrac>
      <mi>a</mi>
      <mi>b</mi>
    </mfrac>
  </msqrt>
</math>

```

Fig. 1. Exemplo de fórmula matemática em MathML Presentation Markup.

Os desafios deste projecto encontram-se em: -a interpretação inteligente de uma expressão matemática (“*Como interpretar MathML e processá-lo para linguagem natural?*”); o estudo prosódico da leitura da matemática (“*Como ler matemática de forma não ambigua?*”); e a implementação de um sistema para tratar os problemas de cognição em expressões longas (“*Como navegar num documento convertido e rever partes de uma expressão matemática complexa de forma contextualizada?*”). As possíveis aplicações de um trabalho executado neste projecto permitem: a promoção de acessibilidade através da integração em sistemas informáticos; a sua utilização com ferramenta didáctica da matemática; a aplicação isolada de pré-processamento de documentos para conversores texto-fala e o desenvolvimento de serviços de acessibilidade *on-line*.

3. AudioMathENGINE

AudioMathENGINE consiste num motor de análise, interpretação e conversão de documentos com conteúdos matemáticos, e que possui módulos de processamento para numerais, abreviações, acrónimos e referências de rede, incluindo reconhecimento automático dos elementos a converter e interpretação e conversão para texto das expressões matemáticas. Implementa também mecanismos de navegação nas mesmas. Possui as seguintes características técnicas:

- Desenvolvido em PERL (Windows e Unix/Linux);
- Disponível como: ActiveX DLL; EXE; CGI; componente .NET;
- Possui uma arquitectura modular, extensível e configurável;
- Disponível para Português Europeu (mas pode suportar facilmente outras línguas);
- Uso interno de uma linguagem especial do tipo XML – AKML;
- Suporte nativo de MathML Presentation Markup [18];

- Suporte de MathML Content Markup [19] através de uma *stylesheet* da W3C;
- Suporte de Unicode [20].

Todos os algoritmos desta aplicação são fortemente baseados em processamento de texto através de expressões regulares [21] e analisadores XML [22]. Uma das particularidades desta aplicação é também o uso de dicionários de MathML (com mais de 4200 entradas) e Unicode (com mais de 5200 entradas) para a conversão de entidades XML e MathML em Unicode e posteriormente em Português Europeu. Por exemplo, a entidade MathML “∞” encontrada num documento, é convertida em “U+221E” (código unicode) e posteriormente em “infinito” (tradução do código em Português Europeu).

Anteriormente referiu-se uma linguagem da família XML denominada AKML - AudioMath Knowledge Markup Language. Esta linguagem tem por objectivo permitir: a configuração de aplicações AudioMath; suportar a navegação de expressões matemáticas; permitir a marcação de textos pré e pós-processados; e definir dicionários. Na Figura 2 podemos observar um documento em AKML, resultado de uma conversão de um documento XHTML+MathML através do AudioMathENGINE.

```

<akml version="1.0">
  <result>
    <stats>
      <stat name="numeral" value="2"/>
      <stat name="abbreviation" value="3"/>
      <stat name="acronym" value="0"/>
      <stat name="network" value="0"/>
      <stat name="math" value="1"/>
      <stat name="convtime" value="0.121"/>
    </stats>
    <doc>
      <txt>
        O <abr>professor</abr> Helder e a
        <abr>senhora</abr> Ana encontraram a
        <abr>página</abr> que mostrava a
        expressão:
      </txt>
      <mat>
        chis mais <num>cinco</num> igual a
        <num>zero</num>
      </mat>
    </doc>
    <nav>
      <txt value="Texto:">
        O professor Helder e a senhora Ana
        encontraram a página que mostrava a
        expressão:
      </txt>
      <mat value="Fórmula:">
        <node value=" chis mais cinco igual a
        zero ">
          <node value=" chis "></node>
          <node value=" mais "></node>
          <node value=" cinco "></node>
          <node value=" igual a "></node>
          <node value=" zero "></node>
        </node>
      </mat>
    </nav>
  </result>
</akml>

```

Fig. 2. Ficheiro AKML de resultante de uma conversão.

As expressões matemáticas são convertidas com base no seguinte princípio: “Todas as expressões matemáticas podem ser simplificadas em sub-expressões constituintes; a interpretação de cada uma dessas sub-expressões e a análise do contexto onde estas se inserem, permite a interpretação de toda a fórmula.”. Significa isto que foi implementada uma estrutura de dados que permite conhecer a semântica da expressão matemática e seu histórico, a partir da memorização de: a etiqueta de marcação detectada; o conteúdo original dessa etiqueta; e o conteúdo convertido da mesma.

Exemplo de uma conversão do AudioMathENGINE:

$$\frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

“início de fracção, numerador: menos bê mais ou menos raiz quadrada de bê ao quadrado menos quatro à vezes cê fim de radicando a dividir por denominador: dois vezes à fim de fracção”.

4. AudioMathGUI

AudioMathGUI (figuras 3 e 4) consiste numa aplicação gráfica desenvolvida em C# para Windows 2K e XP, que permite a aplicação do motor de análise, interpretação e conversão de expressões matemáticas, assim como a demonstração do mecanismo de navegação contextualizado das fórmulas.

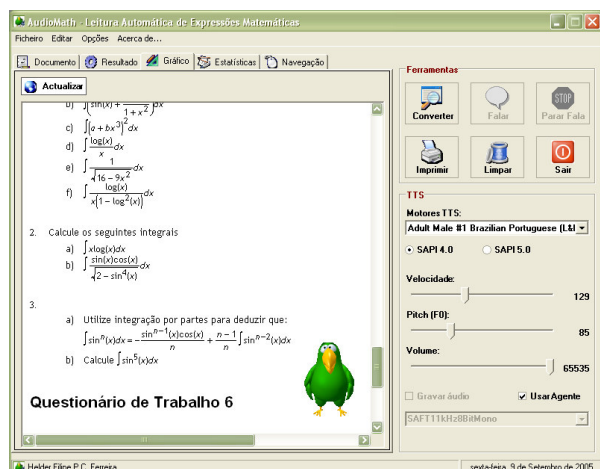


Fig. 3. Documento on-line a ser convertido pelo AudioMath.

5. AudioMathWEB

AudioMathWEB consiste num serviço público on-line de conversão de documentos com MathML, que se encontra disponível no sítio web [1] da dissertação. O seu objectivo é a análise, interpretação e conversão simplificada de páginas on-line com conteúdos matemáticos em MathML Presentation Markup. O resultado de uma conversão apresenta um documento com resultados estatísticos sobre as conversões (nº de numerais reconhecidos e convertidos, nº de abreviações, nº de expressões matemáticas, tempo de conversão, etc),

assim como o documento original convertido, totalmente por extenso.

6. Leitura de Expressões Matemáticas

A leitura de expressões matemáticas apresenta 2 grandes desafios:

- A não-ambiguidade na leitura, isto é, como se deve converter matemática para texto por extenso de forma não-ambígua.
- A influência da prosódia na leitura, isto é, como se deve ler o texto convertido.

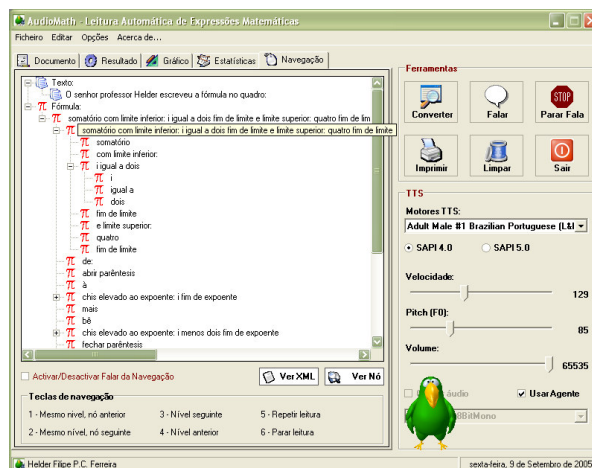


Fig. 4. Árvore de navegação do AudioMathGUI.

Após uma pesquisa sobre esta temática, facilmente se depara com a ausência, quase total, de documentos ou estudos relacionados com a leitura de expressões matemáticas. Existem no entanto alguns trabalhos de referência tais como: Fateman [23], Karshmer [24], Stevens [25] e Raman [26]. Apesar de Fateman ter elaborado uma teoria focada no reconhecimento oral de expressões matemáticas, apresentou diversos artigos de opinião sobre como os humanos deveriam ler oralmente expressões matemáticas, nomeadamente: números, expressões algébricas, somatórios e integrais. Karshmer, por sua vez, procurou basear os seus estudos na forma como é percebida, na audição, a matemática focando-se na área da psicologia. Enquanto que Stevens e Raman desenvolveram teorias focadas na interpretação e análise prosódia ao nível da frequência fundamental (F0) e pausas. Contudo Stevens baseia-se apenas em modelos de expressões algébricas e Raman não apresenta na sua tese resultados e regras provindos da experimentação, mas sim um método de formatação áudio – AFL, *Audio Formatting Language*.

A fim de colmatar esta lacuna, foi criado um corpus matemático do AudioMath constituído por 74 fórmulas matemáticas seleccionadas entre 200 possíveis e agrupadas em: álgebra simples, fracções, raízes, potências, trigonometria, matrizes e sistemas de equações, integrais, derivadas e somatórios. Da análise deste corpus matemático foram retiradas conclusões sobre: vocabulário não-ambíguo (usado nos algoritmos de conversão do AudioMathENGINE), pausas de leitura

(acerca da sua duração – curta ou longa) e frequência fundamental (F0 – do tipo suspensivo ou conclusivo). Na figura 5 é possível observar-se um exemplo de uma fórmula matemática analisada nos pontos anteriores com a utilização do software PRAAT.

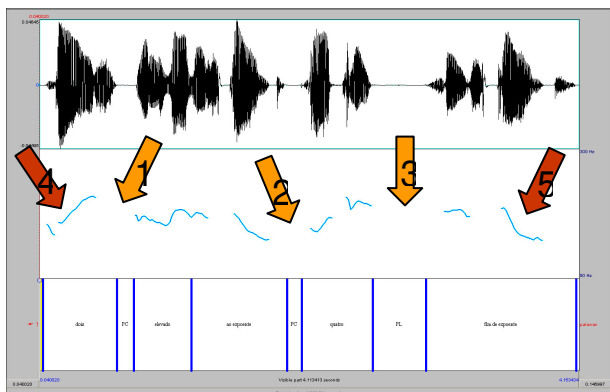


Fig. 5. 2^4 - “dois (PC - 1) elevado ao expoente (PC - 2) quatro (PL - 3) fim de expoente” em que: PC – pausa curta; e PL – pausa longa. O ponto 4 indica um F0 suspensivo e o ponto 5 um F0 conclusivo.

7. Navegação em Expressões Matemáticas

O ser humano possui um mecanismo particular de adquirir conhecimento a partir da leitura de um texto. Sabe-se que as pessoas lêem um texto letra-a-letra começando pelo símbolo mais à esquerda numa linha de texto (se for escrito numa língua cuja leitura se faça da esquerda para a direita); ou pelo símbolo mais à direita (se estiver escrito numa língua cuja leitura se faça da direita para a esquerda). Contudo, a leitura não é directa e sempre seguida. É frequente a re-leitura de trechos do texto que já passaram para correlacionar com a informação lida no ponto corrente. [27] No entanto existem diversas diferenças entre a leitura de um documento com conteúdos matemáticos e a leitura de um documento de foro não técnico [28]:

- Enquanto que a leitura de um texto não técnico possui um sentido de leitura bem definido, algumas partes de uma expressão matemática o sentido de leitura pode ser um qualquer.
- A matemática é uma linguagem bidimensional, ao contrário dos textos literários que são unidimensionais.
- Em quase todas as línguas, primeiro aprende-se a falar e posteriormente a escrever, na matemática isto é feito tipicamente ao contrário: a notação vem primeiro e a leitura depois.

Assim sendo, para o ser humano sem necessidades especiais no campo da visão, compreender uma expressão matemática requer diversas releituras de sub-expressões e saltos lógicos entre os mesmos [29][15]. No entanto, este processo pode ser uma tarefa demasiado complexa ou mesmo impossível, para os cegos ou amblíopes, uma vez que o cérebro humano

involuntariamente realiza este tipo de iterações sobre a notação visual da expressão matemática. Em [30] é afirmado que estas notações visuais funcionam como memória externa ou auxiliar. Por outro lado, a leitura completa e seguida de uma fórmula matemática não apresenta uma solução prática devido a restrições de memória, percepção e cognição. Assim sendo, a possibilidade de navegação dentro de uma expressão matemática torna-se essencial para “simular” a capacidade de iteração que o cérebro executa sobre a expressão matemática a fim de a apreender na totalidade. Em [25] discute-se a necessidade da navegação devido a um fenómeno onde os utilizadores se sentem perdidos por não conhecerem a estrutura e a orientação da informação que procuram adquirir. Fenómeno esse que atinge proporções maiores quando o utilizador é cego, uma vez que este apenas se consegue concentrar numa pequena janela de informação, onde o controlo é difícil e impossível sem os mecanismos de navegação. Conclui-se, portanto, que a navegação é um mecanismo essencial na interpretação áudio de uma expressão matemática.

Neste projecto AudioMath, a solução implementada baseia-se num conceito discutido por [26], onde uma expressão matemática complexa pode ser decomposta em expressões matemáticas mais simples, construindo assim uma árvore de estruturas onde a navegação se desenrola. Os níveis mais elevados desta estrutura possuem descrições mais detalhadas da expressão matemática, enquanto os níveis mais interiores da hierarquia da árvore, possuem as descrições mais simples da expressão matemática. A figura 6 apresenta um exemplo da navegação no AudioMath.

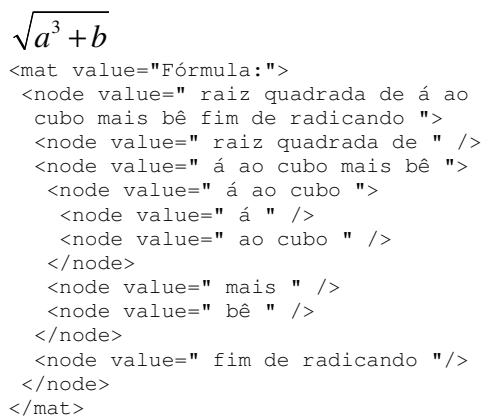


Fig. 6. Árvore de navegação do AudioMath.

8. Testes e Validação de Resultados

Foram realizados testes com mais de 400 expressões matemáticas, com um grupo de 14 utilizadores heterogéneos (2 professoras de matemática, 4 cegos e 8 utilizadores não-invisuais), com idades compreendidas entre os 22 e os 60 anos, e com diversos graus de conhecimento na área da matemática e da informática. Foram elaborados 4 tipos distintos de testes:

- Robustez e qualidade dos algoritmos de análise, interpretação e conversão. Nestes testes foram detectadas pequenas deficiências na conversão, e alguma falta de definições em dicionários de abreviações e acrónimos. O tempo médio de conversão
- Interpretação escrita: foram utilizadas 10 fórmulas de nível de ensino secundário e 10 fórmulas de nível de ensino superior, onde foi pedido ao utilizador que desenhasse ou descrevesse a fórmula depois de ler o texto ou vocabulário que a descrevia.
- Interpretação oral: este teste é em tudo semelhante ao anterior, com a excepção de que foram usados ficheiros áudio para a descrição de fórmulas matemáticas.
- Efectividade do mecanismo de navegação de expressões matemáticas: neste teste foi pedido aos utilizadores que navegassem em diversas expressões matemáticas complexas. Foram detectadas deficiências, nomeadamente na escolha de teclas de navegação, qualidade da fala sintetizada e na necessidade de um pequeno período de adaptação.

Os resultados de todos os testes efectuados foram positivos. Todos os utilizadores cumpriram as suas actividades com sucesso, validando assim o trabalho realizado.

9. Conclusões e Perspectivas Futuras

Durante este trabalho foi possível adquirir diversos conhecimentos nas mais variadas áreas, tais como a psicologia, a matemática, a engenharia e a linguística. Foi realizado um estudo tendo como objectivo a interpretação oral da codificação matemática em MathML, onde o primeiro desafio colocado consistia na escolha do conjunto de etiquetas de marcação MathML a usar. Concluiu-se que apesar do *Content Markup* ser o mais adequado (uma vez que exprime a semântica da expressão ou fórmula), por uma questão prática foi seleccionado o *Presentation Markup*, uma vez que todos os materiais produzidos e publicados *on-line* se encontram codificados desta forma.

Um dos desafios colocados consistia na determinação da forma correcta e não-ambígua de leitura de expressões matemáticas. Para esse efeito foi realizado um estudo aprofundado de diversos grupos de expressões matemáticas, do qual resultou um *corpus* matemático e onde foram identificadas palavras-chave na interpretação oral da matemática. Com base nos estudos anteriores foi desenvolvida uma aplicação - AudioMathENGINE – com capacidade de análise, interpretação e conversão de diversos elementos num documento, tais como: abreviações, acrónimos, numerais, referências de rede e fórmulas matemáticas. Durante a elaboração destes algoritmos de análise, reconhecimento e conversão foi necessário criar uma linguagem de XML interna da aplicação – AKML - com

o objectivo de identificar posteriormente as acções de substituição que ocorreram, assim como estruturar os resultados do AudioMathENGINE. O uso do AKML conferiu aos resultados uma maior flexibilidade, permitindo a sua análise e processamento por parte de outras aplicações de outros autores, desde que o seu XML *Schema* seja conhecido. Durante este trabalho foram também desenvolvidos dicionários Unicode para as entidades do MathML, que fazem a transformação do código MathML para Unicode e posteriormente para Português Europeu. Tanto quanto se sabe, estes foram os primeiros dicionários desenvolvidos a permitir esta transformação. Juntamente com a conversão das fórmulas matemáticas foi implementado um algoritmo de navegação das mesmas. Este algoritmo permite a colocação de pontos de navegação e estruturação em árvore de uma fórmula matemática. A colocação dos pontos de navegação que permite construir a árvore de navegação é baseada nos conceitos de que uma expressão matemática pode ser sucessivamente subdividida em sub-expressões menos complexas. Provou-se, com testes realizados, a utilidade deste tipo de estrutura. Como complemento ao motor AudioMathENGINE de análise, interpretação e conversão, foram desenvolvidas mais duas aplicações: um interface gráfico que permite a edição, visualização, conversão e navegação de conteúdos matemáticos em MathML – AudioMathGUI; e um serviço on-line de conversão de MathML – AudioMathWEB. Na conclusão deste trabalho, e como forma de validação do mesmo, foram realizados diversos testes com utilizadores visuais e cegos, obtendo resultado positivos e validando o trabalho executado.

A curto prazo pretende-se:

- Concluir o suporte para *MathML Presentation Markup* e *MathML Content Markup*;
- Adicionar suporte de tecnologias de fala para conversores texto-fala, nomeadamente SAPI4, SAPI5 e SSML;
- Incluir a opção de modos de utilizador para expressões matemáticas;

A longo prazo pretende-se: explorar com mais detalhe a prosódia da matemática, construir um navegador de fórmulas adequado a cegos e amblíopes, suportar a conversão para mais do que uma língua, otimizar os algoritmos de análise, conversão e interpretação de expressões matemáticas; e desenvolver um serviço público e gratuito de acessibilidade a documentos técnicos *on-line* contendo MathML.

Referências

- [1] H. Ferreira, “Leitura de expressões matemáticas – AudioMath”, Dissertação Mestrado em Eng. Informática, Setembro 2005, <http://lpf-esi.fe.up.pt/~audiomath/>
- [2] W3C, Mathematical Markup Language (MathML) – <http://www.w3.org/Math> .
- [3] V. CERF, “Brief History of the Internet”. Internet Society. 2004. <http://www.isoc.org/internet/history/cerf.shtml> .

- [4] APGC – “Educação, Aprendizagem e Tecnologia: Um paradigma para professores do século XXI”. Edições Sílabo. 2005. ISBN: 972-618-356-1.
- [5] Internet World Stats
<http://www.internetworldstats.com/stats.htm> .
- [6] WHO, “Magnitude and causes of visual impairment”. 2004. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs282/en>
- [7] R. Bautista, “Necessidades Educativas Especiais”. Dinalivro. 1993. ISBN: 972-576-116-2.
- [8] L. Nielson, “Necessidades Educativas Especiais na Sala de Aula”. Porto Editora. 1999. ISBN: 972-0-34503-9.
- [9] V. Cruz, “Dificuldades de Aprendizagem”. Porto Editora. 1999. ISBN: 972-0-34504-7.
- [10] D. Fitzpatrick, A. Monaghan, “Browsing Technical Documents: Document Modelling and User Interface Design”. BULAG. 1999.
- [11] A. King, G. Evans, P. Blenkhorn, “Blind People and the World Wide Web”, 2005 – <http://www.webbie.org.uk> .
- [12] J. Clark, “Building Accessible Websites”, 2002. ISBN: 0-735-71150-X.
- [13] H. Ferreira, D. Freitas, “Audio Rendering of Mathematical Formulae using MathML and AudioMath”. UI4ALL, pp. 391-399. 2004. ISBN: 3-540-23375-X.
- [14] H. Ferreira, D. Freitas, “Enhancing the Accessibility of Mathematics for Blind People: The AudioMath project”. ICCHP04, pp. 678-685. 2004. ISBN: 3-540-22334-7.
- [15] H. Ferreira, “AudioMath: Speaking Mathematics with MathML”. 2nd European Workshop on MathML & Scientific e-Contents. 2004.
- [16] H. Ferreira, D. Freitas, “AudioMath: using MathML for speaking mathematics”. XATA05. 2005.
- [17] H. Ferreira, D. Freitas, “AudioMath: Towards Automatic Readings of Mathematical Expressions”. HCII05. 2005.
- [18] W3C, MathML Presentation Markup, <http://www.w3.org/TR/2003/REC-MathML2-20031021/chapter3.html> .
- [19] W3C, MathML Content Markup, <http://www.w3.org/TR/2003/REC-MathML2-20031021/chapter4.html> .
- [20] Unicode Home Page - <http://www.unicode.org/> .
- [21] J. Friedl, “Mastering Regular Expressions 2nd Edition”. O’Reilly. 2002. ISBN: 0-596-00289-0.
- [22] P. Coelho, “XML: A nova linguagem da Web”, 2000, FCA, ISBN: 972-722-214-5.
- [23] R. Fateman, “How can we speak math?”, Journal of Symbolic Computation, vol.25, n.2, 1998.
- [24] A. Karshmer, D. Gillan, “How Well Can We Read Equations to Blind Mathematics Students: Some Answers from Psychology”, HCII03 Proceedings, 2003, vol.4, pp. 1290-1294. ISBN: 0-8058-4933-5.
- [25] R. Stevens, “Principles for the Design of Auditory Interfaces to Present Complex Information to Blind People”, Tese de doutoramento. Universidade de York. 1996.
- [26] T.V. Raman, “Audio System For Technical Readings”, Tese de doutoramento, Universidade de Cornell. 1994.
- [27] B. Stöger et al, “Mathematical Working Environment for the Blind Motivation and Basic Ideas”, ICCHP04 Proceedings, pp. 656-663, 2004. ISBN: 3-540-22334-7.
- [28] B. Hayes, “Speaking of Mathematics”, American Scientist Online. Abril 1996.
- [29] K. Rayner, A. Pollatek, “The Psychology of Reading”, Lawrence Erlbaum, 1994. ISBN: 0-80581-872-3.
- [30] R. Stevens, A. Edwards, “An Approach to the Evaluation of Assistive Technology”, ASSETS06 Proceedings, 1996. ISBN: 0-89791-776-6.