

## Sistema Integrado de Tele-imagiologia

Luis F. C. Figueiredo, Fernando M. S. Ramos, António Sousa Pereira

**Resumo** - Este artigo pretende, de uma forma resumida, apresentar um trabalho desenvolvido no INESC Aveiro, na área da Tele-medicina. Esse trabalho, que é um Sistema de Tele-imagiologia suportado na RDIS, abrange diversas áreas multidisciplinares, que vão desde o Processamento Digital de Imagem (com especial destaque para as técnicas de Compressão e Descompressão de Imagem), a sistemas de Comunicação de Dados e ao desenvolvimento de Interfaces Gráficas Homem/Máquina.

**Abstract** - This paper presents a Tele-radiology system supported in the ISDN, and includes discussion on several aspects of the system, such as digital imaging processing, image compression techniques, communications and human machine interfacing.

### I. INTRODUÇÃO

O conceito de Teleradiologia ou mais genericamente o de Tele-imagiologia surgiu no início da década de 1980, com o aparecimento dos primeiros sistemas que permitiam a transmissão de imagens médicas digitais, através de uma rede de comunicação de dados, de um local para outro. Desde essa altura esses sistemas não pararam de evoluir, sendo essa evolução devida por um lado aos avanços

tecnológicos que se efectuaram na área dos computadores, cuja relação qualidade/preço cresceu substancialmente ao longo dos anos, bem como ao desenvolvimento de novas infraestruturas de comunicações que permitem cada vez mais a transmissão de grandes quantidades de informação em tempos cada vez menores e a custos mais reduzidos. Por outro lado tem vindo a crescer o interesse por parte dos utilizadores destas novas tecnologias (essencialmente Médicos Especialistas) que, desde o início, reconheceram as enormes vantagens que estes sistemas poderiam trazer na prestação dos cuidados de saúde ao público em geral.

Nos últimos anos foram desenvolvidos sistemas mais complexos que tendem a abranger todas as actividades desenvolvidas num Hospital desde a prestação de cuidados de saúde até à sua gestão e planeamento. Estes sistemas, habitualmente designados por "Image Management and Communication Systems" (IMACS) [2], possuem preços bastante elevados o que constitui um dos principais entraves à sua implementação não sendo no entanto o único: a falta de normalização que leva à existência de alguns *sistemas fechados* que não permitem uma fácil integração de novas aplicações e a inércia dos agentes responsáveis pela implementação destes sistemas, constituem outros dos entraves.

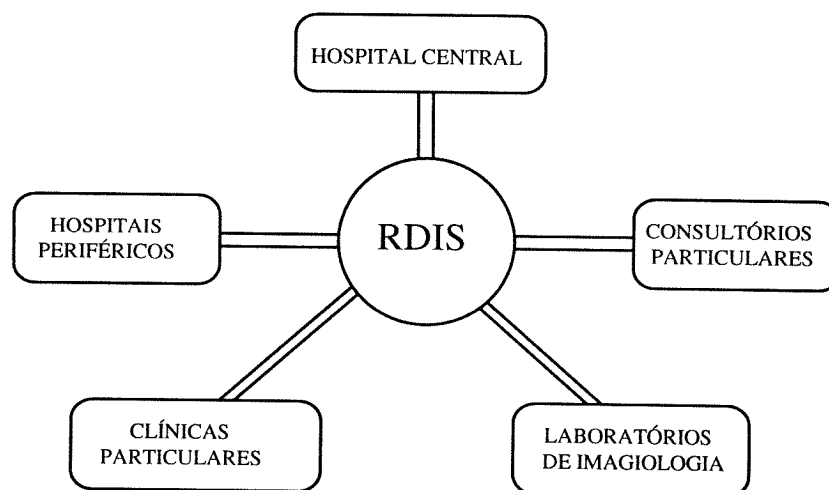


Fig. 1: Diagrama geral do sistema proposto.

## II. DESCRIÇÃO DO SISTEMA PROPOSTO

Neste trabalho é proposto um sistema integrado de Tele-imagiologia, que pretende aliar os baixos custos dos equipamentos vulgarmente usados em sistemas de Tele-imagiologia [3], com algumas das facilidades existentes nos sistemas de PACS (Picture Archive and Communication Systems) [1], nomeadamente a possibilidade de acesso a bases de dados onde se encontra

toda a informação relevante, em termos médicos, de cada paciente.

Para tal, além de obedecer ao esquema tradicional dos sistemas de Tele-imagiologia apresentado na figura 1, este sistema pode também funcionar como um sistema interno de Imagiologia, usando como infraestrutura de comunicações uma rede Ethernet e o protocolo TCP/IP, tal como descrito na figura 2.

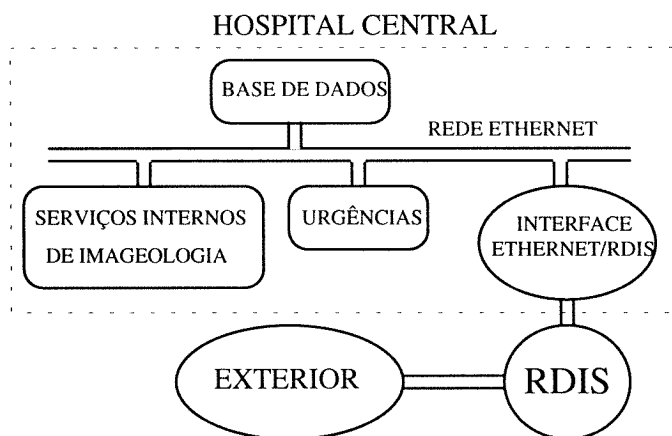


Fig. 2: Diagrama do sistema interno de Imagiologia proposto.

As facilidades oferecidas por este sistema vão desde a manipulação local de imagens médicas com a utilização de várias ferramentas de processamento digital de imagem que permitem aumentar o seu contraste, até à conferência entre especialistas situados em diferentes pontos, havendo aí a possibilidade de qualquer utilizador fazer o ZOMM de uma zona da imagem em *real time* ou utilizar o cursor do rato para apontar um qualquer detalhe. Quando em conferência, qualquer operação feita num lado é imediatamente, e de uma forma automática, reflectida no outro terminal. Permite também a manipulação de uma base de dados onde é armazenada a história clínica de cada um dos pacientes.

## III. COMPRESSÃO DE IMAGEM

Nos últimos anos, com o avanço da tecnologia, e a banalização dos meios informáticos, o processamento digital de imagem começou a ser uma ferramenta bastante útil nos mais diversos ramos de actividade. Na área da saúde, em especial, o uso de imagens digitalizadas têm vindo progressivamente a ter mais importância, em detrimento das imagens analógicas. No entanto, o uso de imagens digitais traz consigo alguns problemas: para que não haja uma degradação significativa das imagens, quando se efectua a sua digitalização, esta tem que ter não só uma boa resolução espacial, mas também uma boa resolução tonal. Testes efectuados por médicos

especialistas em imagens radiológicas, apontam para resoluções espaciais da ordem de 2048\*2048 pontos e resoluções tonais de 12 bits por pixel, como sendo o ideal. Com estes valores, o número de bytes por cada imagem é demasiado grande, quer para o seu armazenamento quer, sobretudo, para o seu transporte. Surge assim a necessidade de se efectuar a compressão digital de imagem.

A escolha do método de compressão a utilizar numa aplicação concreta, depende de um conjunto de factores, alguns dos quais contraditórios entre si. A grande dificuldade consiste em estabelecer um compromisso aceitável entre esses factores. Esta tarefa é sempre discutível, uma vez que o peso de cada factor depende não só da pessoa que o avalia, como também da altura em que essa avaliação é feita. Isto significa que uma escolha feita neste momento, pode com o passar do tempo e a consequente evolução da tecnologia, deixar de ser a melhor opção. Apresentam-se seguidamente alguns dos factores que deverão ser tidos em conta na escolha do método a usar.

- Compressão com ou sem perda de informação.
- Relação Sinal/Ruído aceitável no caso de compressão com perda de informação.
- Taxas de compressão desejadas.
- Tempo de compressão admissível.
- Utilização ou não de Hardware específico.

No caso concreto do sistema de Tele-imagiologia apresentado neste artigo, optou-se, inicialmente, por desenvolver um método de compressão sem perda de informação, devido ao risco que poderia trazer o facto de se introduzirem erros nas imagens médicas. Numa segunda fase desenvolveram-se também métodos de compressão com perda de informação.

As taxas de compressão desejadas são as maiores possíveis, como se pretende em qualquer método. O tempo de compressão deverá ser o menor possível, uma vez que o sistema de compressão deverá ser usado durante a fase de transmissão de imagens via RDIS [7], tendo em vista a

diminuição do tempo de transmissão com a conseqüente diminuição dos custos a ela associados. A diminuição do tempo de transmissão só poderá ser conseguido, se o tempo de compressão for inferior ao tempo de transmissão da imagem não comprimida.

Em termos de Hardware e por razões de custo, optou-se por não usar placas de compressão específicas, pelo que todo o software foi implementado numa máquina baseada num processador 80386 ou 80486.

O método de compressão desenvolvido consistiu na utilização de um Estimador, um Quantificador e uma Codificador de códigos de comprimento variável, tal como mostra o esquema da figura 3.

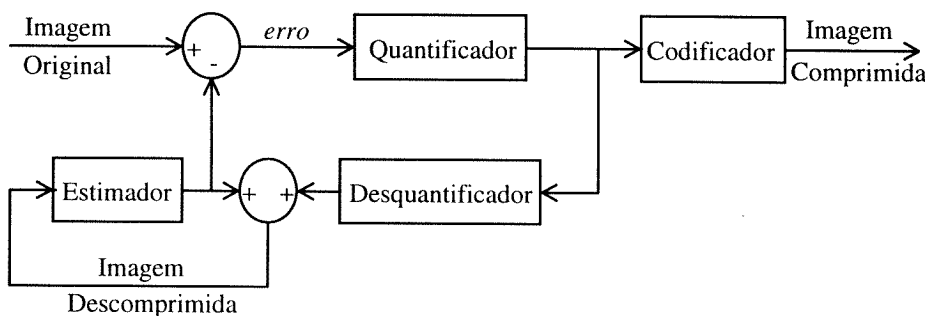


Fig. 3: Diagrama do Compressor de Imagem

O Estimador escolhido mostrou possuir um bom compromisso entre os resultados obtidos e a complexidade de cálculo. Considerando os pixels do esquema da figura 4, a formula do Estimador é a seguinte:

$$P = (A+B+C+1)/3 + ((B-C) + (A-C) + (A-D) + 1)/3$$

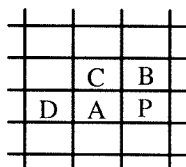


Fig. 4: Distribuição espacial dos pixels usados pelo Estimador

O primeiro termo desta expressão constituído por  $(A+B+C+1)/3$  é a média aritmética dos 3 pixels mais próximos do pixel a prever (P). Este termo é justificado pelo facto de existir uma grande correlação entre os pixels vizinhos nas imagens médicas. O segundo termo  $((B-C) + (A-C) + (A-D) + 1)/3$  foi introduzido por se verificar que os aumentos ou diminuições nos níveis de cinzentos (derivadas) ao longo de uma linha vertical ou horizontal da imagem, eram relativamente constantes. Após a sua simplificação, esta formula resulta na seguinte expressão:

$$P = (3A + 2B - C - D + 1)/3$$

Este Estimador é usado para cada pixel da imagem que não se encontre nas suas extremidades. No caso dos pixels

a estimar, pertencerem à primeira linha ou à primeira e segunda coluna da imagem, são utilizados estimadores que apenas usam os pixels que se encontram à esquerda ou acima dos referidos pixels. O gráfico da figura 5 mostra o número de ocorrências de cada *erro* (diferença entre o valor verdadeiro e o valor estimado), numa imagem radiológica com 512\*512 pixels. O Quantificador permite agrupar vários *erros* num único símbolo. Desta forma pode-se controlar o erro máximo admitido em cada pixel. Para comprimir sem perda de informação, basta fazer com que o majorante do erro por pixel seja zero. O Codificador permite codificar cada símbolo através de uma variante do código de Huffman [6] em que os símbolos mais prováveis são codificados com comprimentos menores e os símbolos menos prováveis são codificados com comprimentos maiores. Nesta variante são apenas codificados os símbolos cujo valor absoluto seja menor ou igual a onze. Os restantes são codificados através de um símbolo especial seguido do verdadeiro valor do pixel a codificar. Na figura 6 são apresentados os resultados comparativos da aplicação de diversos métodos de Compressão sem perda de informação a um conjunto de imagens radiológicas com 512\*512 pixels. O primeiro (LZW) é o método de compressão usado nas imagens GIF. O segundo (Planos) consiste na divisão da imagem em vários planos binários (tantos quantos o número de bits por pixel) e aplicação do algoritmo anterior aos planos mais significativos. No terceiro método foi usado um algoritmo proposto pela norma JPEG [4] para a compressão sem perda de informação. Por fim, o algoritmo proprietário utiliza as técnicas já descritas anteriormente.

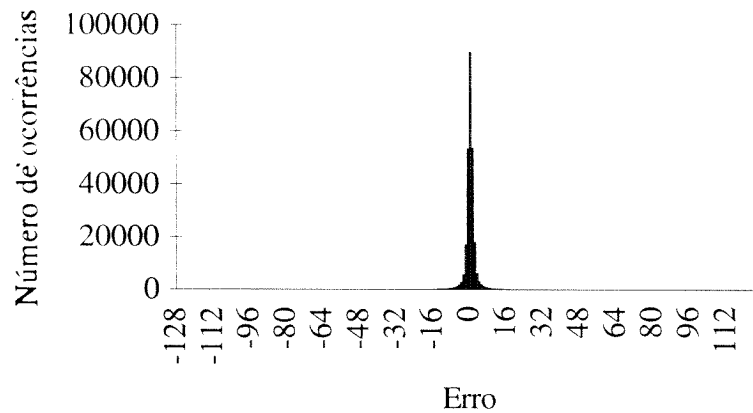
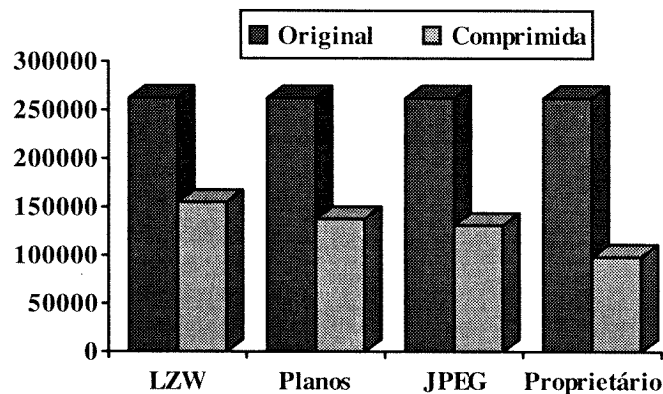


Fig. 5: Número de ocorrências de cada erro.



	LZW	Planos	JPEG	Proprietário
<b>Original</b>	262166	262166	262166	262166
<b>Comprimida</b>	154859	137500	131029	98493
<b>TC</b>	1.69	1.91	2.00	2.66

Fig. 6: Comparação dos diferentes métodos de compressão sem perda de informação.

Em termos de compressão com perda de informação, o grande objectivo foi a obtenção de taxas de compressão tanto quanto possível próximas das obtidas pelo uso da norma JPEG [5], com relações Sinal/Ruído semelhantes, mas com tempos de compressão e descompressão bastante inferiores. O método descrito anteriormente, mesmo com majorantes de erro por pixel de 3, tinha taxas de compressão da ordem dos 5 ou 6 que comparativamente com as obtidas pela aplicação da norma JPEG, que variam entre 30 e 33, eram bastante baixas. Desenvolveu-se uma

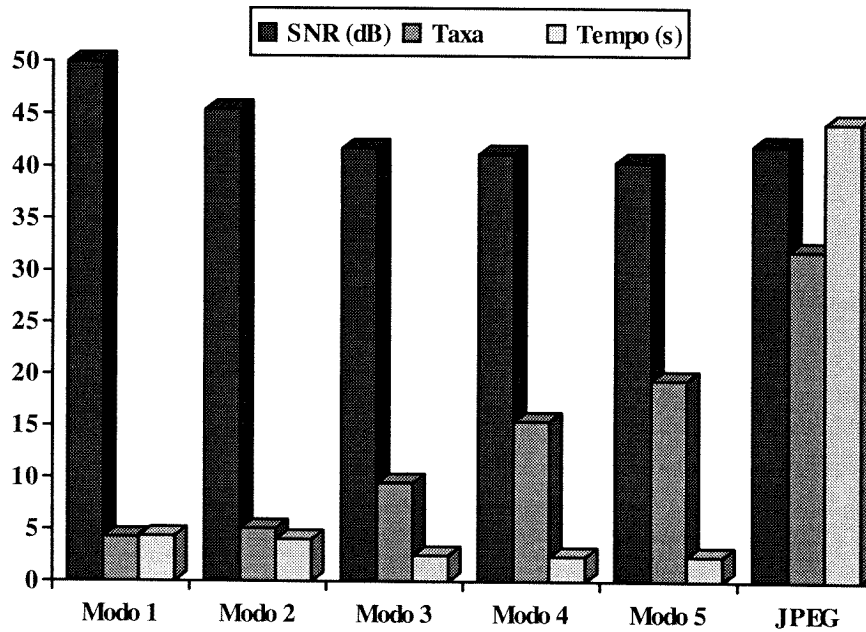
outra técnica, de implementação simples e execução bastante rápida, que quando aplicada em série com a anterior aumenta bastante a taxa de compressão à custa de uma ligeira descida na relação Sinal/Ruído. Esta técnica consiste na substituição de cada grupo de 2\*2 pixels pela sua média aritmética. Por sua vez, na descompressão, além do processo inverso que consiste na geração de um bloco de 2\*2 pixels por cada pixel da imagem comprimida, é feita uma filtragem espacial do tipo *Passa Baixo*, seguido de um ajustamento do valor dos 4 pixels de forma a que a

sua média seja igual à média dos pixels originais. A utilização desta filtragem e ajustamento permite aumentar a relação Sinal/Ruído em cerca de 3dB o que, em termos práticos, corresponde à diminuição do erro médio de cada pixel de 3 para 2, isto relativamente a uma imagem em que estes dois processamentos não sejam efectuados.

A conjugação deste método de compressão com o anterior permite criar diferentes modos de compressão que

vão desde a compressão sem perda de informação com taxas da ordem dos 2.66 (Modo 0), até taxas de 19.4 com relações Sinal/Ruído de 40.38dB (Modo 5).

A figura 7 mostra, de uma forma resumida, os resultados médios da utilização de cada um destes modos de compressão, bem como os resultados obtidos com o uso da norma JPEG.



	Modo 1	Modo 2	Modo 3	Modo 4	Modo 5	JPEG
<b>SNR (dB)</b>	49.96	45.39	41.7	41.15	40.38	41.98
<b>Taxa</b>	4.24	5.08	9.46	15.44	19.4	31.88
<b>Tempo (s)</b>	4.36	4.04	2.5	2.4	2.4	44.1

Fig. 7: Relação sinal/ruído, Taxa de Compressão e Tempo de Compressão dos diferentes Modos desenvolvidos.

A análise destes resultados em termos de relação sinal/ruído, mostra que os modos 1 e 2 possuem valores superiores a qualquer um dos outros modos, incluindo o algoritmo JPEG. Este facto, permite o uso de qualquer um destes métodos em aplicações que seja exigida uma qualidade de imagem superior à oferecida pela norma JPEG. Os Modos 4 e 5, possuem relações Sinal/Ruído ligeiramente inferiores em relação às obtidas pelo algoritmo JPEG. Em termos práticos, a diferença entre a qualidade das imagens resultantes destes dois modos de compressão, e das imagens resultantes do algoritmo JPEG é muito pequena, sendo muito difícil diferenciá-las.

A análise das taxas de compressão obtidas permite concluir que a norma JPEG é, sem dúvida alguma, a que possui melhores resultados.

Ao analisar o factor tempo verifica-se que os modos 1 a 5 possuem tempos de compressão substancialmente mais baixos do que o tempo obtido pelo algoritmo da norma JPEG.

#### IV. SUB-SISTEMA DE COMUNICAÇÕES

A estrutura de comunicações desenvolvida teve em conta a necessidade de se fazerem alterações frequentes quer ao nível lógico da rede uma vez que se estava a trabalhar com uma versão experimental da RDIS, quer ao nível físico dado que também se pretendia desenvolver uma aplicação usando a rede Ethernet como infraestrutura de comunicação. Desta forma definiu-se uma interface entre a aplicação e os drivers de rede tal como mostra a figura 8.

Esta interface permitiu desenvolver toda a aplicação de uma forma independente da estrutura lógica ou física da rede utilizada, aumentando assim a versatilidade da aplicação. A passagem da aplicação para a rede Ethernet resumiu-se à implementação das rotinas de interface Aplicação/Rede utilizando a Socket Library.

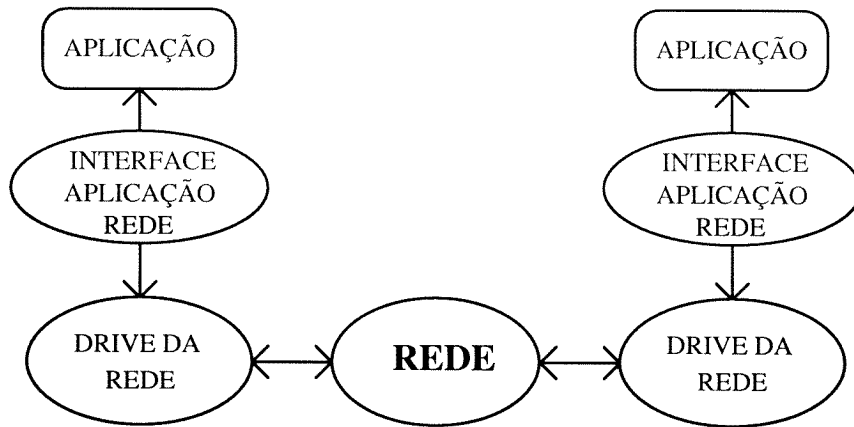
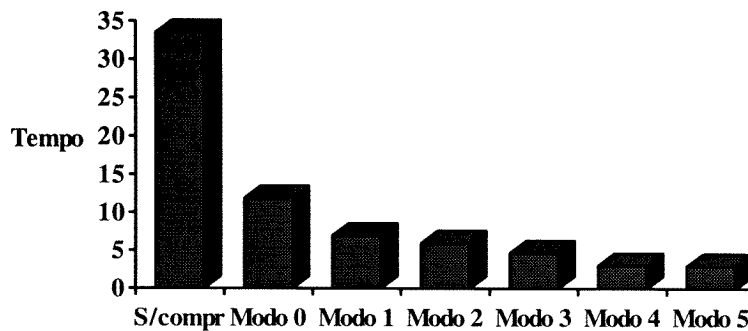


Fig. 8: Diagrama geral da estrutura de comunicações desenvolvida.

A velocidade de transmissão de imagens através da RDIS foi substancialmente aumentada pela integração do software de compressão com o software de comunicação. Esta integração consistiu na paralelização das tarefas de compressão e transmissão do lado do emissor e das tarefas de recepção e descompressão do lado de receptor. Como

resultado foi possível otimizar ao máximo o tempo de processamento do CPU.

O gráfico da figura 9 mostra as médias dos tempos de transmissão de imagens na RDIS, quando da aplicação dos diferentes métodos de compressão desenvolvidos.



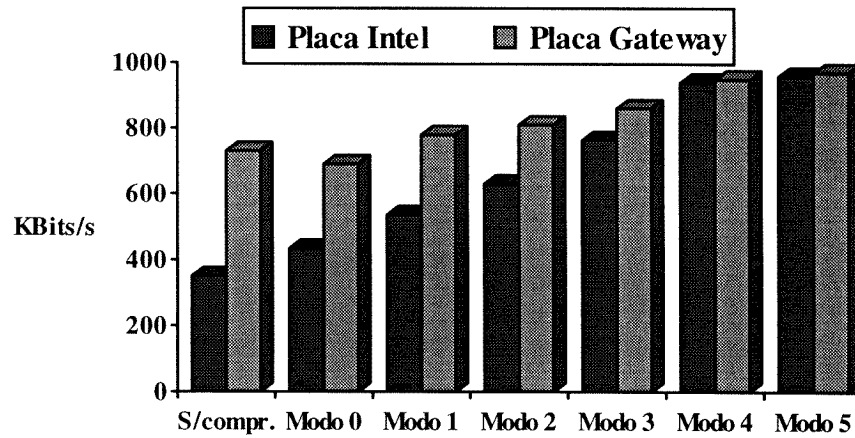
	S/compr	Modo 0	Modo 1	Modo 2	Modo 3	Modo 4	Modo 5
<b>Tempo (s)</b>	33.5	11.9	7	6	4.7	3.1	3

Fig. 9: Tempos de transmissão de imagens em função do Modo de compressão usado.

A rede Ethernet possui características bastante diferentes da RDIS. O facto da sua largura de banda ser substancialmente superior e a maior utilização do CPU na implementação das camadas protocolares, impede a utilização do esquema proposto de *paralelização* das tarefas de Compressão/Transmissão e Recepção/Descompressão uma vez que o CPU não tem tempo disponível entre o envio de dois pacotes. Apesar disto os resultados obtidos na utilização da compressão de

imagem durante a sua transmissão na rede Ethernet foram relativamente bons tal como mostra a figura 10.

Estes resultados foram obtidos numa rede com tráfego real, em que a taxa média de ocupação era inferior a 10%. Como se pode verificar a taxa de transmissão é dependente do tipo de placa de interface à rede usada. O uso destes algoritmos de compressão na transmissão de imagens, possui ainda a vantagem de diminuir o tráfego médio na rede, permitindo assim a obtenção de melhores performances globais da rede.



	S/compr.	Modo 0	Modo 1	Modo 2	Modo 3	Modo 4	Modo 5
<b>Intel</b>	350	434	536	630	763	940	960
<b>Gateway</b>	730	690	780	810	860	950	970

Fig. 10: Taxas de transmissão obtidas na rede ETHERNET em função da placa de interface e dos modos de compressão.

V. INTERFACE GRÁFICA

A interface gráfica desenvolvida veio dar resposta à necessidade de utilização de um sistema gráfico de alta resolução (1024\*768 com 256 cores) em ambiente MS-DOS, uma vez que na altura ainda não estava disponível a API da RDIS para MS-WINDOWS. Procurou-se criar uma interface com o utilizador simples, prática e agradável, de forma a poder ser utilizada facilmente por pessoas pouco familiarizadas com os meios informáticos.

Foi desenvolvido um algoritmo que permite fazer uma gestão inteligente do espaço de visualização de imagens. Esse algoritmo distribui as imagens automaticamente pelo espaço disponível, procurando não utilizar o espaço ocupado pelas últimas imagens visualizadas. Desta forma, o utilizador fica liberto da tarefa de escolher o local de visualização das imagens. A figura 11 é um exemplo da forma como esse algoritmo distribuiu várias imagens de tamanhos diferentes. Note-se que esta distribuição é dependente da ordem pela qual se efectua a visualização das imagens.

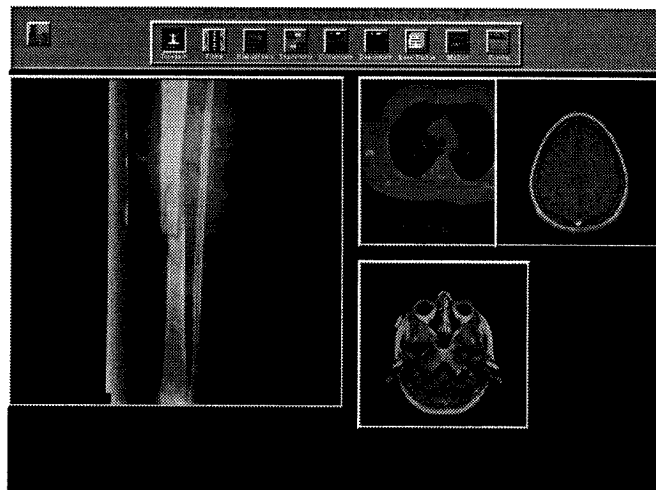


Fig. 11: Aspecto da distribuição automática de várias imagens com tamanhos diferentes.

O utilizador pode ainda escolher uma de várias paletes de cores disponíveis, abrindo assim a possibilidade de utilização de pseudo-cor como ajuda no seu diagnóstico.

## VI. CONCLUSÕES

Este trabalho, tendo sido desenvolvido a pensar na utilização da RDIS como infraestrutura de comunicação, serviu para mostrar as suas potencialidades em aplicações que exijam um ambiente integrado de comunicações de voz e dados.

A possibilidade de interacção entre os sistemas internos de Imagiologia, através do sistema de Tele-imagiologia, permite que cada hospital deixe de ser uma *ilha informática*, passando a estar ligada em rede a todos os centros que possuam o mesmo sistema.

A utilização da compressão de imagem, com os diversos modos desenvolvidos permite que o utilizador possa obter diferentes taxas de compressão em função da relação sinal/ruído pretendida. As taxas e sobretudo os tempos de compressão obtidos pelos algoritmos proprietários, justificam plenamente a sua utilização, isto em detrimento de algoritmos mais comerciais.

A forma como se integraram os algoritmos de compressão com os protocolos usados na transmissão de imagens, através da *paralelização* das tarefas de compressão, transmissão, recepção e descompressão, permitiu otimizar bastante os recursos das redes usadas com especial destaque para a RDIS cujo custo de exploração é mais elevado, permitindo assim diminuir

bastante os tempos de transmissão.

A utilização destes algoritmos de compressão na transmissão de imagens através da Rede ETHERNET, cujas características são substancialmente diferentes da RDIS, mostrou que, de uma forma geral, se obtém ainda uma diminuição do tempo de transmissão.

Em resumo, pode-se afirmar que a utilização de compressão de imagem permitiu diminuir o custo de manutenção e exploração deste sistema, quer pela diminuição do espaço necessário ao armazenamento das imagens clínicas quer, sobre tudo, pela diminuição dos custos de transmissão dessas mesmas imagens.

## REFERÊNCIAS

- [1] "Impact of PACS on Radiologists Daily Work in Western Countries" IEEE Journal on Selected Areas in Communications. vol 10. no 7 Setembro 1992.
- [2] "Multimedia Communications in Medical Imaging" IEEE Journal on Selected Areas in Communications. Vol 10. Nº 7, Setembro de 1992.
- [3] "Computers for Clinical Practice and Education in Radiology", INFORAD, Maio de 1993.
- [4] "JPEG-9-R6: Working Draft for Development of JPEG CD", Janeiro de 1991.
- [5] Rui Rocha Ribeiro, "Implementação de um Algoritmo de Compressão de Imagem Baseado em JPEG", relatório da disciplina de Redes de Computadores do Mestrado de Electrónica e Telecomunicações da Universidade de Aveiro, Setembro de 1992.
- [6] Rafael C. Gonzalez, "Digital Image Processing", ed. Addison-Wesley Publishing Company, Junho de 1992.
- [7] Mário Serafim Nunes, Augusto Júlio Casaca, "Redes Digitais com Integração de Serviços", Editorial Presença, 1992.