

A EVOLUÇÃO DE REDES ACADÊMICAS NO PAÍS

Demi Getschko
Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
Rua Pio XI 1500
05060 São Paulo, SP
demi@fosp.fapesp.br

Michael Anthony Stanton
Departamento de Informática
Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro
22453 Rio de Janeiro, RJ
michael@inf.puc-rio.br

Sumário

A primeira geração de redes acadêmicas no país está quase completa, com a extensão a quase todos os estados de uma rede mínima, com suporte para o correio eletrônico. A segunda geração destas redes, em vias de implantação, atenderá a um número maior de usuários, oferecerá um leque bem maior de serviços, e fará uma integração muito mais forte dos recursos computacionais dentro de cada instituição acadêmica servida. O artigo historia a evolução destas redes e aponta direções para seu desenvolvimento futuro.

Abstract

The first generation of academic networks in Brazil is almost complete, with the spread to almost every state of a minimal network providing electronic mail. The second generation networks, already being installed, will serve a greater number of users, will offer a greatly enhanced variety of services, and will bring about the much closer integration of the internal computing resources of each academic institution served. The article traces the evolution of these networks and indicates directions for their future development.

1 Introdução

O esforço conjunto, iniciado em 1987, para dotar a comunidade de pesquisa do país com serviço de rede de computadores de bom nível e alcance nacional já deu seus primeiros frutos, na forma de uma rede para correio eletrônico que integra os principais centros de pesquisa em quase todos os estados. Esta rede já conseguiu aproximar mais esta comunidade, e também estreitar seus laços de intercâmbio com pesquisadores (e estudantes brasileiros) no exterior.

Baseada no sucesso deste esforço, e tendo por objetivo tornar mais variados os serviços de rede disponíveis, está tomando forma uma nova rede nacional de computadores, apoiada no padrão de fato mais utilizado hoje nas redes acadêmicas no exterior. A adesão a este padrão, além de propiciar interoperabilidade de serviços entre Brasil e muitos outros países,

possibilita a ampla penetração destes serviços dentro da comunidade nacional, uma vez que a tecnologia utilizada está amplamente disponível, e o software usado tem baixo ou zero custo.

Neste artigo, historia-se a evolução da atual infra-estrutura de rede, e depois apresenta-se os pontos que foram levados em consideração para projetar a nova rede, que inicia sua operação em 1992. Depois de detalhar alguns dos aspectos mais importantes da nova rede, serão apontadas algumas direções da futura evolução de redes acadêmicas no país, indicando oportunidades para P&D em redes.

2 Redes para correio eletrônico

2.1 A tecnologia BITNET

Uma das maneiras mais simples de construir uma rede de computadores utiliza a comutação de mensagens, às vezes também conhecida como "store and forward". Numa rede deste tipo, o envio de uma mensagem implica no seu percurso de uma sucessão de enlaces entre computadores, iniciando no remetente e terminando no destinatário. Em cada um destes enlaces, a mensagem inteira é transmitida para e armazenada no próximo nó intermediário da sua rota. Quando ela for recebida inteiramente por um nó intermediário, este repete o mesmo procedimento para encaminhar a mensagem por mais um enlace na direção da sua destinação final. A implementação de uma rede deste tipo requer um protocolo simples de transferência de uma mensagem de um nó para seu vizinho, além de uma tabela em cada nó indicando a rota apropriada para cada destinação final. Uma instituição poderá participar de uma rede desta tecnologia com um computador convencional, dotado com o software de comunicação, e com espaço em disco adequado para manter cópias das mensagens em trânsito.

Entre redes deste tipo, aquela que para muitas instituições tem sido tecnicamente a mais fácil para se integrar é a BITNET (Because It's Time Network) [2], que emprega os protocolos RSCS usados em sistemas grandes fabricados pela IBM. Deve-se notar aqui que implementações de RSCS também existem para computadores de outras marcas, tais como VAX com VMS (o JNET, da Joiner Associates) e UNIX (o UREP, da Pennsylvania State University). Para se tornar um nó da BITNET, uma instituição somente precisa instalar uma LPCD (linha privada de comunicação de dados) que a interligue a uma instituição qualquer que já seja nó da rede. De acordo com o espírito cooperativo da BITNET, o novo nó deverá permitir que outras instituições também façam ligações a ela, e se comprometer a dar prosseguimento ao tráfego de mensagens de terceiros.

Por causa da simplicidade da sua estrutura e do seu custeio (cada instituição paga somente o custo de se ligar ao seu vizinho através de LPCD, independente do tráfego), a rede BITNET cresceu rapidamente, e hoje tem dimensão global, embora seja mais concentrada na América do Norte, onde é conhecida como BITNET nos EUA e NETNORTH no Canadá, e na Europa, onde é conhecida como a EARN (European Academic Research Network). Com o crescimento de redes de âmbito nacional na maioria dos países, a rede BITNET-NETNORTH-EARN assumiu o caráter de uma rede de trânsito, onde a maior parte do tráfego de mensagens transmitidas nem se originam e nem se destinam a nós desta rede. Em vez disto, se originam em uma rede nacional, da qual são transferidas para a BITNET, através de um nó "gateway" (conexão inter-redes). Após transitar pela BITNET até o país de destino, a mensagem passa por outro gateway para a rede nacional da destinação. Esta função de prover conectividade internacional é bem reconhecida na Europa, onde vários países possuem um único nó da EARN, que serve como gateway para a rede nacional.

As mensagens comutadas na BITNET são arquivos de até 300.000 octetos, e os serviços disponíveis aos usuários de nós da BITNET incluem o correio eletrônico e a transferência

de arquivos pequenos. Além disto pode-se enviar mensagens de uma única linha de texto a usuários ativos num outro nó desta rede. Porém o único serviço disponível através de todos os gateways com outras redes é o correio eletrônico.

2.2 A implantação de uma rede de alcance nacional

A configuração da rede acadêmica no Brasil em 1991 era de origem histórica. Até outubro de 1988 a Embratel obstava o acesso ao exterior de qualquer rede acadêmica nacional em formação, com o argumento que a legislação específica de telecomunicações impedia que tráfego de mensagens originadas ou destinadas a uma empresa pudesse ser comutado para o exterior ou do exterior por uma outra empresa. O padrão de comunicação que existe hoje é decorrência das diversas tentativas de conviver com esta restrição.

O LNCC se tornou integrante da rede BITNET em setembro de 1988, ligando-se a esta rede através da University of Maryland. Para conviver com as restrições da Embratel, o LNCC abriu-se a membros da comunidade científica em todo o país, como pessoas físicas, e incentivava estes a estabelecerem meios de utilizar as suas facilidades computacionais através de terminal remoto, ligado através de LPCD, de linha discada ou da RENPAC (rede de comunicação de dados da Embratel). Não era contemplada inicialmente a ligação de outro computador ao LNCC como nó da BITNET, em virtude das restrições da Embratel.

Um mês depois do LNCC se integrar à BITNET, a Embratel suspendeu "temporariamente" para a comunidade acadêmica o impedimento à comutação de tráfego de terceiros, que ela havia tanto defendido. O caminho agora estava aberto para se ligar uma rede brasileira ao exterior. Na verdade, a FAPESP já estava se preparando a fazer exatamente isto, agindo pela "empresa", o governo do estado de São Paulo, que administra diversas instituições de ensino e pesquisa naquele estado. Com a nova abertura da Embratel, em novembro de 1988 a FAPESP passou a integrar a BITNET e a HEPNET (High Energy Physics Network, uma rede integrando equipamentos fabricados pela DEC), através de ligação ao Fermi National Laboratory em Chicago, EUA, e tornou estes acessos disponíveis para a recém-criada rede ANSP (Academic Network at São Paulo). A ANSP incluía inicialmente a USP, a UNICAMP, a UNESP, o IPT (SP), a UFRGS e a UFMG, através do uso de LPCDs.

Em março de 1989, em cumprimento de outro projeto concebido antes da abertura da Embratel, instalou-se um terceiro canal independente para o exterior, quando a UFRJ passou a integrar a BITNET, através de uma ligação à UCLA (University of California, Los Angeles) destinado a atender inicialmente às suas necessidades internas.

Desta maneira, foram instaladas três "ilhas" de conectividade, que se comunicavam entre si através das suas conexões independentes para os EUA. As "ilhas" associadas ao LNCC e à FAPESP começaram a crescer, pela adesão de novas instituições em todos os cantos do país. Geralmente estas novas conexões eram realizadas através de LPCDs, mas também eram usadas linhas discadas e, pela FAPESP, ligações via a RENPAC.

Em abril de 1990, a UFMG estabeleceu conectividade entre Rio de Janeiro e São Paulo, assim unindo numa única "ilha" todas as instituições nacionais já ligadas à BITNET, exceto a UFRJ. A UFRJ fez sua conexão ao LNCC em setembro de 1990, assim completando uma rede acadêmica genuinamente nacional. Até o início de 1991, quando já havia sido instalada uma LPCD direta entre a FAPESP e o LNCC, mais de quarenta instituições brasileiras podiam utilizar os serviços da BITNET, das quais a maioria estavam ligadas à rede através de LPCD. Na figura 1 mostra-se a topologia desta rede de LPCDs.

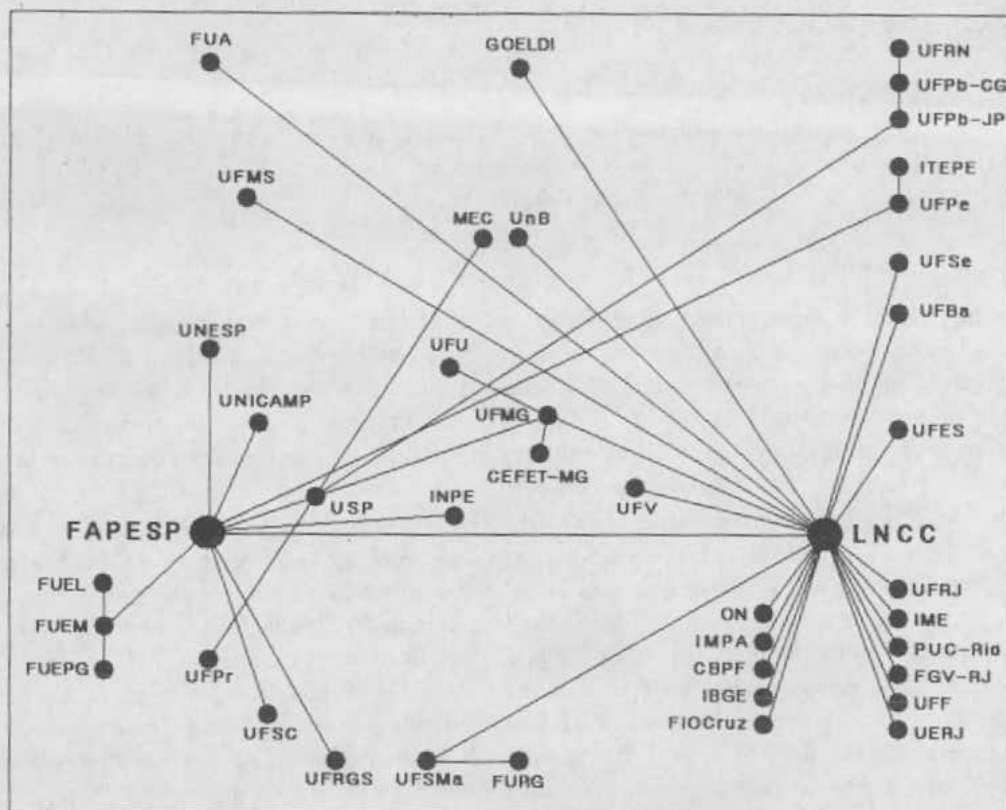


Figura 1: Conexões dedicadas da rede acadêmica nacional (dez/1991)

3 Redes para o compartilhamento de recursos

3.1 Além da BITNET

A tecnologia usada na rede BITNET interligava "mainframes" para permitir a comunicação de mensagens através da comutação de mensagens. Embora esta tecnologia funcionasse com eficácia razoável, ela tinha suas limitações:

- o tamanho das mensagens (arquivos) era necessariamente limitado, pois elas tinham que ser armazenadas em todos os computadores intermediários;
- não era confiável a entrega das mensagens, pois inexistia uma comunicação fim-a-fim;
- o tempo de transmissão fim-a-fim era aproximadamente proporcional ao número de enlaces percorridos, pois um computador intermediário só transmitiria uma mensagem após recebê-la totalmente;
- as rotas seguidas pelas mensagens eram fixas, acarretando interrupção de comunicação por queda de enlace e/ou computador no trajeto.

Adicionalmente, não dava suporte ao acesso interativo a sistemas remotos (exceto para trocar mensagens de uma linha com usuários ativos destes). Tudo isto era consequência do emprego de software de comunicação desenvolvido com outra finalidade ("spooling remoto").

Mais séria ainda seria a limitação da tecnologia para poucos tipos de sistema de computação, da classe multiusuária. A recente evolução da tecnologia de fabricação de computadores tornou mais eficaz o uso de sistemas *pessoais*, e o pesquisador já tendia a montar seu ambiente de trabalho computacional baseado numa estação de trabalho. Para estas, acesso à rede BITNET somente seria possível através da emulação de terminal remoto de um sistema multiusuário já integrado à rede. Em outras palavras, os serviços de rede, principalmente correio eletrônico, não se integravam bem ao ambiente de trabalho do pesquisador, por estarem realizados em *outro* sistema de computação.

Já existiam alternativas mais eficientes e mais flexíveis que a comutação de mensagens para montar redes de computadores, por exemplo, a comutação de pacotes. A tecnologia básica, neste caso, particionava mensagens em unidades pequenas de informação, chamados pacotes, que eram enviados separadamente através da rede até o destino, onde seriam remontados para formar as mensagens. A tarefa de roteamento ou comutação de pacotes era confiada a certos computadores, chamados roteadores (às vezes, centrais de comutação de pacotes), interligados através de meios de comunicação física. Frequentemente um roteador era um computador dedicado ao serviço da rede. Um computador integrante da rede, que não fosse roteador, tinha que estar ligado diretamente a um roteador, talvez através de uma rede local. A partir de um serviço básico de entrega de pacotes, poderia ser montada uma série de serviços de complexidade arbitrária e funcionando em tempo real, inclusive as aplicações convencionais de transferência de arquivos e de terminal virtual.

Havia duas classes de solução para a montagem de redes desta categoria. A primeira era adotar uma arquitetura proprietária, tal como a SNA da IBM [3] ou a DECNET da Digital, onde os equipamentos e os protocolos usados eram de um único fabricante. A segunda era adotar uma arquitetura aberta de interconexão de sistemas, ou seja, uma que não fosse exclusiva de nenhum fabricante, que fosse largamente difundida e implementada em equipamentos diversos, inclusive computadores pessoais e estações de trabalho. Embora existiam no mundo diversas arquiteturas abertas, na prática as alternativas sérias eram apenas duas: TCP/IP e OSI. Destas duas a arquitetura TCP/IP era de longe a mais usada dentro da comunidade acadêmica internacional, em função da sua maturidade e da disponibilidade por preços módicos do seu software.

3.2 TCP/IP

A tecnologia de interredes TCP/IP [4] foi explicitamente desenvolvida, com financiamento DARPA (Defense Advanced Research Products Agency), para permitir a interoperação de serviços entre computadores ligados a redes físicas de tecnologias distintas. Entre as tecnologias abrangidas se incluíam: redes locais de diferentes tipos, conexões seriais ponto a ponto, e redes X.25. O modelo admitia a interligação direta ou indireta de um número arbitrário de redes distintas, e exigia de uma rede participante somente que esta desse suporte para um serviço (não necessariamente confiável) de entrega de pacotes. A partir desta base, criava-se uma *rede virtual* ou *interrede*, utilizando um esquema global de endereçamento e oferecendo um serviço de datagrama não confiável entre qualquer par de computadores a ela ligados.

Duas (ou mais) redes vizinhas estariam interligadas através de pelo menos um computador comum a elas, chamado de roteador, cuja função era de retransmitir numa das redes datagramas recebidas na (numa) outra. Em cada rede a datagrama era transmitido utilizando o mecanismo de transmissão de pacotes próprio a ela. A escolha da rota (próximo enlace) a ser seguida em cada retransmissão era a função principal do roteador, e era determinada pelo endereço (global) do destinatário final do datagrama. O protocolo de interredes usado era chamado do Internet Protocol, ou IP, e os endereços globais eram chamados de *endereços*

IP.

Serviços numa interrede IP faziam uso de dois protocolos de transporte: o Transmission Control Protocol (TCP), que implementava um circuito virtual, e o User Datagram Protocol (UDP), que implementava um serviço de datagrama não confiável. Serviços que usavam TCP incluíam: correio eletrônico usando o Simple Mail Transport Protocol (SMTP), transferência de arquivos usando o File Transfer Protocol (FTP), e "login" remoto usando o protocolo TELNET. Serviços que usavam UDP incluíam: o Domain Name Service (DNS) e o Network File System (NFS).

A divulgação da tecnologia de interredes TCP/IP se deveu em grande parte a duas iniciativas tomadas por agências do governo dos EUA:

1. Em 1983, o Departamento de Defesa adotou a tecnologia para sua rede privada (MILNET), e exigiu que todos os sistemas por ele adquiridos a suportassem.
2. A DARPA financiou o desenvolvimento de uma versão extremamente bem difundida do sistema operacional Unix, chamada 4.2 BSD, que é também a base de Ultrix (da DEC) e SunOS (da Sun Microsystems). É incluída uma interface ("sockets") [5] para o programador poder usar diretamente os protocolos TCP e UDP. Isto facilita inclusive o desenvolvimento de software aplicativo empregando estes protocolos.

Adicionalmente, grupos de P&D vinham adotando esta tecnologia para suas próprias necessidades. Por exemplo, ela foi adotada para o projeto Athena [1], e foi feita no MIT uma implementação para o IBM-PC [6]. Outro resultado concreto do projeto Athena foi o protocolo de janelas X [7], definido usando o TCP.

Há mais de dez anos, a tecnologia TCP/IP vinha sendo usada para interligar um número sempre maior de redes de todos os tipos, cuja união conexa era conhecida como a *Internet*. Nos primeiros anos, a ARPANET funcionava como sua espinha dorsal, por onde passava a maior parte do tráfego de longa distância. Desde 1985 ela vinha sendo substituída neste papel pela espinha dorsal da NSFnet, que foi criada pela National Science Foundation para interligar seis centros de supercomputação financiados por ela, e prover acesso remoto a estes para os pesquisadores que ela apoiava. Até 1988, a espinha dorsal da NSFnet funcionava usando canais com a mesma capacidade que a ARPANET, ou seja, de 56 Kbps. Com a recente disponibilidade de telecomunicações usando fibras óticas, passou-se em 1988 ao uso de canais de cerca de 500 Kbps, e em 1989 para cerca de 1,5 Mbps. Até 1992 seria feita a migração para uma nova espinha dorsal funcionando em 45 Mbps, e uma parte desta já estava funcionando desde 1990.

Além de implementar sua espinha dorsal de âmbito nacional, o projeto da NSF envolveu a criação de uma hierarquia de três níveis de rede: nacional, regional e institucional. O nível regional (ou médio), consistiria de umas duas dúzias de redes geograficamente distribuídas, cada uma das quais estabeleceria a conectividade entre a espinha dorsal nacional e as instituições na sua região, onde trabalhavam os usuários finais dos serviços de rede. Os enlaces usados nas redes regionais em 1991 variavam entre 56 Kbps e 1,5 Mbps. Por sua vez, cada instituição possuía uma rede institucional (ou interna), geralmente usando tecnologia de rede local de velocidade de 10 a 100 Mbps.

A espinha dorsal da NSFnet, que contava desde 1988 com 13 nós (mais três foram adicionados em 1990), era meramente uma (talvez a mais importante) entre as mais de 4000 redes formando a Internet, que em 1991 incluía quase a totalidade de redes de ensino e pesquisa nos EUA, além de uma boa parte de redes deste tipo em outros países, especialmente na Europa. A taxa de seu crescimento ainda era muito alta (20% ao mes), e seu tamanho crescente estava começando a esbarrar em certos limites internos da arquitetura original, especialmente no que dizia respeito ao endereçamento.

3.3 A Internet chega ao Brasil

Tendo em vista a convergência mundial na comunidade acadêmica para uso da tecnologia TCP/IP [9], não deveria surpreender que houve diversas tentativas de estabelecer um acesso brasileiro à Internet utilizando as LPCDs internacionais já instaladas para a rede BITNET. Inicialmente, estas tentativas foram dificultadas pela falta de hardware ou software apropriados no lado brasileiro, para permitir comunicação com o parceiro no exterior. Assim teve insucesso uma experiência conduzida pela equipe da UFRJ no meio de 1990.

Em fevereiro de 1991, a FAPESP adquiriu e instalou o software MULTINET (da empresa TGV) no seu VAX, e passou a transmitir e receber datagramas IP sobre sua conexão aos EUA. Na verdade, a conexão entre FAPESP e o Fermi National Laboratory utilizava protocolos DECNET, e mensagens BITNET e datagramas IP eram transmitidos através de conexões DECNET, uma técnica conhecida como "tunneling". Por este meio a FAPESP agora estava ligada à ESNET (Energy Sciences Network), a rede nacional do Departamento de Energia dos EUA, e integrante da Internet. Conectividade também foi estendida ao mesmo tempo para a USP e UFRGS, e em maio para o LNCC e a PUC-Rio. Todas estas conexões utilizavam LPCDs, com as ligações FAPESP-USP e FAPESP-LNCC empregando o protocolo SLIP (Serial Line IP), e a ligação entre LNCC e PUC-Rio o IP sobre X.25.

Esta conectividade era funcional, mas não podia ser considerada de capacidade suficiente para dar suporte à utilização pesada, em função da baixa velocidade das LPCDs usadas (geralmente 9600 bps, às vezes 4800 bps ou até menos). As limitações de velocidade das LPCDs eram ditadas pela rede de telecomunicações disponível no país. Se fosse limitado o uso (por razões de custo) à rede terrestre de telecomunicações, seria necessário aguardar a disponibilidade de circuitos mais velozes (pelo menos 64 Kbps), prevista pela Embratel para alguns enlaces interurbanos radiando de São Paulo a partir de 1992. Na mesma época estava também prevista a disponibilidade de acesso via a rede terrestre a canais de pelo menos 64 Kbps para o exterior.

4 A segunda geração de redes acadêmicas no país

4.1 A RNP e um projeto nacional

Até 1990, praticamente toda atividade em redes acadêmicas no país era puramente cooperativa, no sentido que os enlaces entre instituições, usados para montar as redes, eram custeados por uma (ou talvez ambas) das instituições interligadas. Os custos do software e do hardware necessários eram pagos pela própria instituição envolvida, e freqüentemente eram pequenos ou nulos, pois já os possuíam para outra finalidade. Os grandes custos eram das LPCDs internacionais, que eram cobertos pelas três instituições que as operavam: LNCC, FAPESP e UFRJ. O processo da integração das três "ilhas" BITNET também foi feito através do mesmo estilo de cooperação, agora muito facilitada pela disponibilidade de correio eletrônico entre os atores.

Haveria, porém, limites à eficácia de trabalho cooperativo, e em algum momento a escala ou a complexidade de uma rede obrigaria estabelecer uma efetiva coordenação, responsável para o planejamento do seu crescimento e sua operação. Ao nível nacional, existia desde 1987 uma coordenação embrionária, que mais tarde desaguaria no pré-projeto RNP - Rede Nacional de Pesquisa. Porém, até 1990, a única contribuição deste projeto à rede acadêmica nacional em crescimento havia sido uma LPCD entre FAPESP e LNCC, entregue em dezembro de 1990, e utilizada a partir de abril de 1991 para tráfego Internet, como descrito acima.

Mais importante havia sido a adoção do pré-projeto RNP pela SCT/PR em julho de 1990, e a indicação do CNPq como seu órgão executor. Existindo o pré-projeto e dispondo

de recursos (limitados), foi possível iniciar o trabalho árduo de coordenar efetivamente os recursos e os esforços de diferentes projetos e órgãos de fomento, para dar um rumo organizado para redes acadêmicas no país.

Um exemplo claro dos benefícios a serem obtidos seria a racionalização da topologia de LPCDs usadas no país, para implementar as redes acadêmicas. Por exemplo, existiam LPCDs entre FAPESP e as universidades federais de Pernambuco em Recife e Paraíba em João Pessoa, porque estas linhas foram solicitadas isoladamente. Seria mais racional estabelecer instalar uma única LPCD entre São Paulo e a região Pernambuco-Paraíba, sendo interligadas as duas universidades federais por uma LPCD de distância (e aluguel) menor. O mesmo raciocínio se aplicaria a conexões internacionais.

Outro exemplo é a necessidade, às vezes sentida, de montar uma rede própria para fins específicas. Por exemplo, para conduzir um projeto específico entre um laboratório em Campinas, e duas universidades, uma no Rio de Janeiro, a outra em Florianópolis, seria montada uma rede privada para interligar os participantes do projeto. Naturalmente, existindo uma rede acadêmica de envergadura nacional, seria razoavelmente simples efetivamente criar as facilidades de rede privada (na verdade, virtual) requerida para este exemplo, desde que fosse apropriada a tecnologia usada.

Finalmente, seria de enorme importância o envolvimento de governos estaduais nas redes acadêmicas, por vários motivos. Primeiro, a própria constituição do país é federativa, tendo os governos estaduais grandes responsabilidades nas áreas de ensino e pesquisa. Em segundo lugar, muitos destes governos possuem uma fundação de amparo à pesquisa (FAP) ou uma secretaria de ciência e tecnologia, que poderia carrear recursos estaduais para a montagem e operação de redes acadêmicas.

A estratégia seguida inicialmente pelo CNPq era conseguir a colaboração de pessoas envolvidas em outros projetos, regionais e setoriais, para que em conjunto fosse definido o que seria o projeto de rede da RNP. Ainda em 1990 havia consenso que o papel da rede da RNP seria de prover *interconexão* entre redes estaduais ou regionais, que por sua vez dariam acesso às instituições individuais. Num outro nível, a coordenação das conexões internacionais da rede acadêmica nacional ficaria por conta da RNP. A hierarquia de redes e conexões e suas respectivas responsabilidades era então definida:

Institucional: proveria conectividade e serviços de rede internos a uma instituição, e seria responsabilidade da própria instituição.

Regional: proveria conectividade entre instituições na mesma região geográfica, e geralmente seria da responsabilidade de um ou mais governos estaduais.

Nacional: proveria conectividade entre redes regionais, e entre estas e redes no exterior, e seria da responsabilidade do governo federal.

Deve-se notar que este modelo hierárquico era basicamente o mesmo que o adotado no projeto da NSF nos EUA. A principal diferença que poderia haver era em função da tecnologia de comunicação adotada, que nos EUA era o TCP/IP. Esta também seria a tecnologia de preferência, mas não a única, do projeto da rede brasileira.

Finalmente, deve-se registrar que o processo evolucionário das redes acadêmicas no país teve um alto grau de paralelismo, pois envolveu a elaboração simultânea de projetos de redes em todos os três níveis, com considerável acoplamento entre si. Uma cronologia estrita mostraria que o primeiro componente da segunda geração de redes no país a ter seu projeto definido foi a rede regional do Rio de Janeiro, seguido por São Paulo e Rio Grande do Sul. O projeto da rede da RNP foi elaborado mais tarde. Agora, o entrosamento entre estes projetos

foi muito grande em função da grande abertura das discussões sobre o projeto nacional, nas quais participaram os responsáveis diretos dos projetos das principais regiões.

4.2 Considerações tecnológicas

A experiência obtida desde fevereiro de 1991 com o uso da tecnologia TCP/IP e o acesso à Internet mostrou claramente que esta era uma alternativa que logo traria benefícios notáveis em termos de serviços para os pesquisadores nacionais. Faltava resolver os problemas de infraestrutura, especialmente de LPCDs de pelo menos 64 Kbps, e de equipamentos (roteadores) que poderiam funcionar com esta velocidade sobre linhas seriais.

O problema de LPCDs de pelo menos 64 Kbps tinha duas vertentes:

Comunicação interurbana e internacional, onde já era possível havia alguns anos utilizar tecnologia digital, por exemplo, através de satélite ou enlace de rádio, embora com custos elevados. A redução destes custos dependeria da provisão de acesso barato entre a operadora, no caso Embratel, e o cliente. Normalmente, esta seria feito pela operadora regional, por exemplo Telerj ou Telesp, utilizando sua rede de comunicação, mas não sempre seriam possíveis taxas de transmissão tão elevadas.

Comunicação local, provida pelas operadoras regionais. Em vários casos, as centrais telefônicas estavam interligadas usando tecnologia digital (PCM - pulse code modulation) para transmissão de voz. Seria relativamente simples, neste caso, passar dados a 64 Kbps por um canal PCM. Para instalar uma LPCD de 64 Kbps até o cliente, bastava empregar modems banda base sobre o "loop local" da central mais próxima (desde que não seja a mais de 6,5 a 7 Km de distância).

Evidentemente, o uso progressivo de fibras óticas iria alterar esta situação, tornando mais fácil o acesso a canais digitais de capacidade muito maiores que 64 Kbps.

Com o uso de taxas de transmissão maiores, tornava-se praticamente obrigatório o uso de roteadores dedicados para o controle das linhas seriais. Estes equipamentos não eram fabricados no país, mas informações sobre eles estavam amplamente disponíveis na literatura técnica, e sabia-se do seu uso generalizado na Internet. Os modelos mais comuns já permitiam o uso concorrente de diferentes protocolos de rede ou interrede, entre os quais os mais importantes seriam IP, X.25 e CLNP (ConnectionLess Network Protocol da arquitetura OSI). Era comum também dar suporte a DECNET e SNA.

O uso de roteadores multiprotocolares permitiria a coexistência sobre os mesmos meios físicos de múltiplas redes lógicas, cada uma com sua própria arquitetura e protocolos. A principal aplicação imaginada para este recurso seria permitir a migração paulatina para o protocolo CLNP, como começa a ocorrer no segmento norteamericano da Internet (v. também a seção 5.2).

A conexão entre uma rede institucional e uma rede regional requer explicações. Um roteador da rede regional estaria instalado nas dependências de cada instituição, e se comunicaria com os equipamentos locais através de uma rede local (geralmente Ethernet). Seria essencial, então, que as instituições participantes providenciassem a conectividade interna dos seus equipamentos ao roteador. Isto seria relativamente tranquilo, caso já existisse uma rede local interligando os equipamentos mais importantes. Acredita-se que a perspectiva de acesso à rede regional e à Internet incentivaria a formulação de projetos de integração interna da cada instituição, através de uma extensa rede interna, interligando a maioria de equipamentos da instituição (por exemplo, v. [13]).

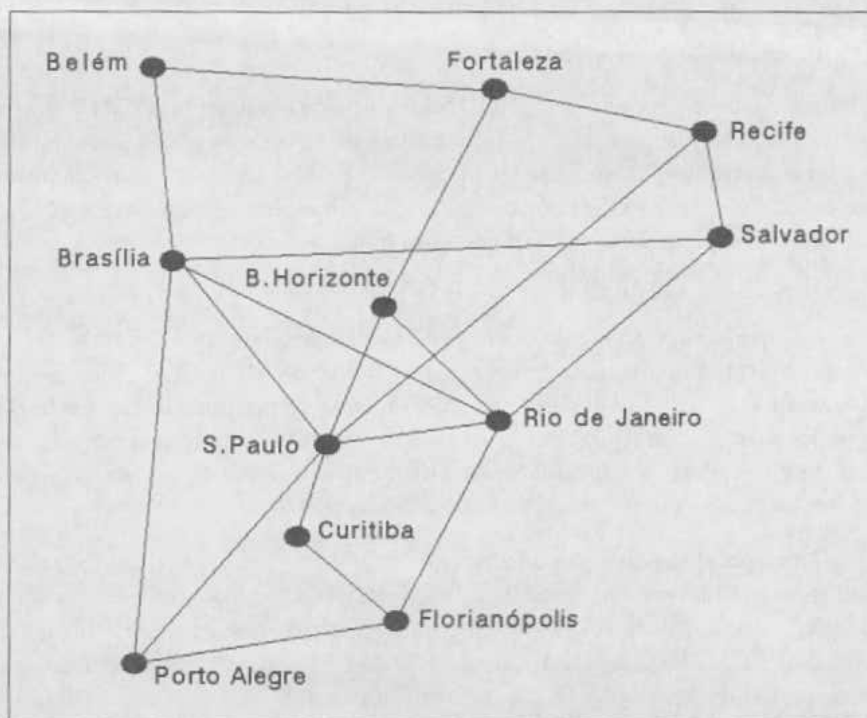


Figura 2: Topologia inicial do "backbone" da RNP

A partir de 1990, foram elaborados diversos projetos de rede, que seguiram a orientação descrita nesta seção, notadamente nos estados do Rio de Janeiro, São Paulo e Rio Grande do Sul, além da própria rede da RNP.

4.3 O "backbone" da RNP

O projeto físico previa inicialmente estabelecer conectividade, com redundância, entre "pontos de presença" localizados em quase todos os estados do país (v. a figura 2). Inicialmente, no primeiro trimestre de 1992, estas conexões seriam feitas por LPCDs de 9600 bps. Posteriormente, os enlaces com maior volume de tráfego teriam sua capacidade aumentada para 64 Kbps. Cada nó da rede espinha dorsal operaria um roteador (nacional), que se comunicaria com o roteador da rede regional através de uma rede local. Evidentemente, não todas as regiões iriam ter infra-estrutura equivalente inicialmente. Estava prevista para março de 1992 o início de funcionamento da rede espinha dorsal, utilizando somente os protocolos TCP/IP e tendo estações de trabalho Sun como roteadores. (Posteriormente, estas seriam substituídas por roteadores multiprotocolares especializados.) A operação desta rede seria feita a partir do Centro Nacional de Operações da RNP, na FAPESP.

Com a instalação em março de 1992 de novas LPCDs internacionais de 64 Kbps entre a ANSP e a ESnet (Fermilab, Chicago) e entre a RedeRio e a CERFnet (San Diego Supercomputer Center, California), também seria garantida a conectividade internacional das novas redes, a taxas de transmissão adequadas, e a Internet passaria a englobar praticamente todo o território nacional.

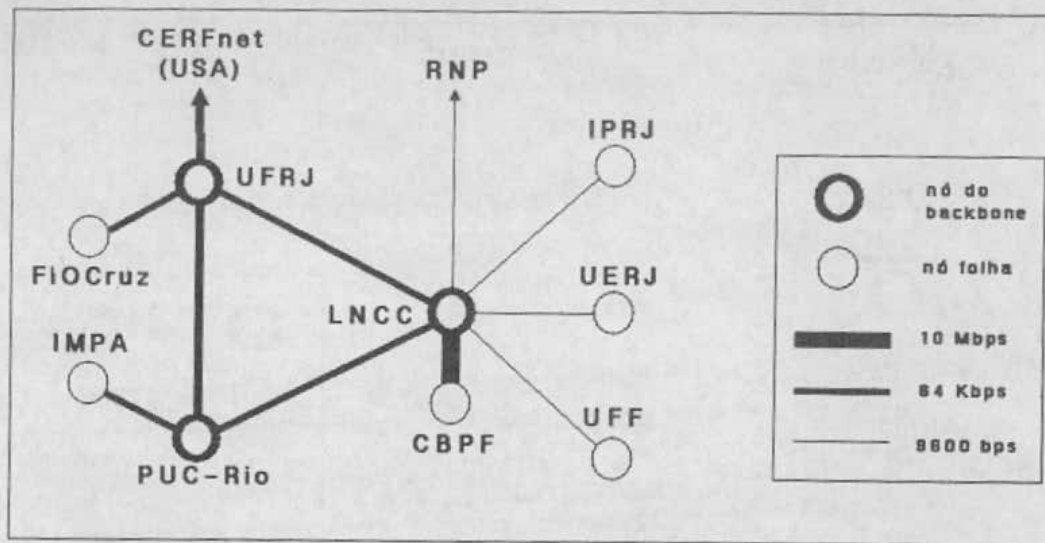


Figura 3: A topologia inicial da RedeRio (1992)

4.4 A RedeRio

Um dos projetos regionais, a Rede Regional de Computadores de Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro, vulgo a RedeRio, foi preparado e financiado pela FAPERJ, e tirou proveito da distribuição muito concentrada na cidade do Rio de Janeiro das instituições de ensino e pesquisa do estado. Ele previa a instalação inicial de uma espinha dorsal em anel, ligando com LPCDs urbanas de 64 Kbps o LNCC, a PUC-Rio e a UFRJ. Estes três nós da espinha dorsal estadual então ofereceriam conexões de até 64 Kbps para outras entidades da rede. As seis instituições adicionais inicialmente previstas para integrar a rede foram o CBPF/CNPq (conexão através de rede local ao LNCC), a FIOcruz/MS (64 Kbps), o IMPA/CNPq (64 Kbps), o IPRJ em Nova Friburgo (9600 bps), a UERJ (9600 bps) e a UFF em Niterói (9600 bps). A figura 3 mostra a topologia inicial da RedeRio, que deveria entrar em funcionamento no primeiro trimestre de 1992.

Optou-se pela utilização de roteadores multiprotocolares e dedicados a serem mantidos sob o controle administrativo da RedeRio, através de um centro de operações a ser estabelecido na UFRJ. Os equipamentos escolhidos eram da empresa Cisco Systems, de Mountain View, California, que eram os mais usados na Internet.

No projeto de 1990, a conectividade externa da RedeRio seria estabelecida através das conexões LNCC-FAPESP (prevista) e UFRJ-UCLA (existente), ambas funcionando em 4800 . O projeto previa a descontinuação do uso da conexão UFRJ-UCLA para a BITNET, o que ocorreu em maio de 1991, e seu reaproveitamento para dar acesso IP à CERFnet, uma das redes regionais dos EUA. Com o atraso do início de operação para março de 1992, já seria possível contar com uma nova LPCD de 64 Kbps entre UFRJ e a rede CERFnet, em San Diego, California, em substituição da antiga conexão internacional. A conectividade nacional seria feita através da rede da RNP. A figura 4 ilustra como os roteadores da RedeRio estabeleceriam conectividade nacional e internacional às instituições por ela servidas.

4.5 A rede ANSP

A rede regional ANSP (an Academic Network at São Paulo), a partir de uma idéia surgida em final de 1987, formalizou-se através do Projeto Especial 88/0359-0, em maio de 1988 na

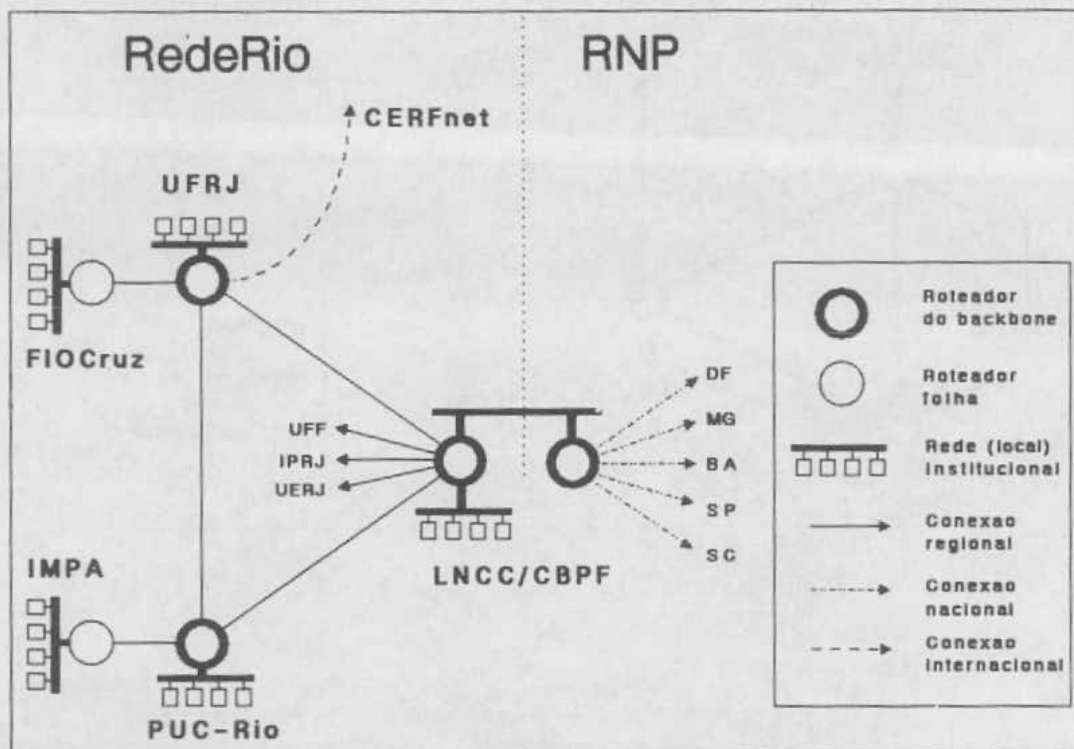


Figura 4: Interfaces entre a RedeRio, as redes institucionais e a RNP

FAPESP. A partir de 1990, a rede ANSP foi considerada atividade permanente da FAPESP, a cargo de seu CPD. Sua intenção inicial foi de auxiliar as três principais Universidades paulistas (USP, Unicamp e Unesp) a lograrem conectividade interna, e externa às redes acadêmicas internacionais.

Foi escolhido como parceiro no exterior para estabelecer a linha internacional o Laboratório Fermi, em Illinois - EUA. Em 1989 a linha internacional já estava operando, inicialmente em 4800 bps e, mais tarde (1990), a 9600 bps. As redes internacionais, às quais se tinha acesso direto, foram Hepnet/Span, Bitnet e, a partir de fevereiro de 1991, Internet.

Em sua fase atual, a rede ANSP está instalando roteadores nos pontos principais de sua espinha dorsal (v. a figura 5), e elevando a velocidade da linha internacional e de alguns enlaces da espinha dorsal para 64 Kbps. É uma rede multi-protocolar, com ênfase em TCP/IP e DECNET, e estará integrada à RNP através do ponto de presença desta na FAPESP. As principais instituições que constituem a ANSP dentro do Estado de São Paulo, além das três Universidades paulistas, são o IPT, o INPE, a UFSCar, a PUCCamp, a PUCSP, o CPQd-Telebras, a Escola de Medicina da Sta. Casa de Misericórdia e a Escola Paulista de Medicina.

4.6 Recursos disponíveis nas novas redes

O acesso amplo à Internet torna imediatamente acessível uma série tão vasta de recursos de interesse à comunidade de pesquisa, que somente poderemos mencionar alguns deles neste espaço.

Recursos computacionais. Certos centros de pesquisa já dispõem, ou brevemente disporão, de computadores de alto desempenho, os chamados "supercomputadores". Através

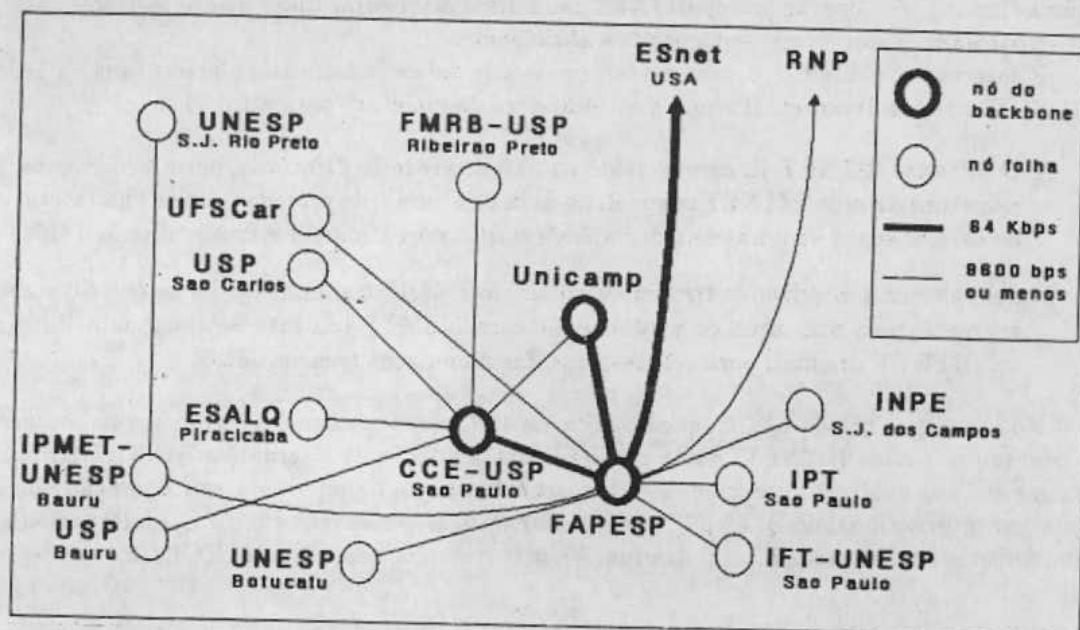


Figura 5: A topologia da rede ANSP em 1992

das novas redes, será possível a utilização remota destes computadores, potencialmente ampliando a comunidade de seus usuários. Nota-se que, em certos outros países, o acesso remoto a tais recursos tem sido defendido como o principal benefício das redes acadêmicas, e esta foi a justificativa usada para criar a ARPANET e a NSFnet. Deve-se observar que supercomputadores são geradores de grandes volumes de dados, e conseqüentemente para um uso remoto ótimo seria necessário que a rede de acesso permitisse altas taxas de transmissão de dados, compatíveis com aquelas obtidas em redes locais (10 a 100 Mbps).

Informação. Seria possível o acesso remoto a acervos de informação de diferentes tipos, inclusive bases de dados, catálogos de bibliotecas e repositórios de software. O próprio projeto da RNP inclui a criação de um Centro Nacional de Informações, que teria, entre outras, a função de tornar disponíveis dados sobre os diferentes acervos de informação acessíveis.

Publicação eletrônica. Com o aumento da capacidade das redes acadêmicas, ficaria mais fácil distribuir amplamente as informações novas tornadas públicas através de mecanismos como a USENET [8], entre outros.

Recursos de todos estes tipos já estariam disponíveis na Internet, providos por fontes no exterior. A novidade seria a possibilidade de instituições nacionais serem também provedores, em vez de meramente consumidores.

4.7 O futuro da BITNET no país

De um modo geral, os novos projetos de rede, tanto regionais como o nacional, utilizariam novas LPCDs para suas conexões. Em outras palavras, as novas redes estariam sendo montadas para operar paralelamente à rede de tecnologia BITNET, descrita acima. As duas gerações de rede poderiam até continuar a funcionar em paralelo por muito tempo, mas acreditava-se

que as instituições operando nós BITNET tenderiam a procurar obter acesso às novas redes, de capacidade maior e com serviços mais abrangentes.

É interessante discutir o caso específico de um "mainframe" IBM, ligado tanto à rede BITNET como à Internet. Haveria duas maneiras de "migrar" para a Internet:

1. O software BITNET-II, desenvolvido na Universidade de Princeton, permitiria manter a estrutura da rede BITNET original, na forma de uma rede privada (virtual) na Internet: os enlaces entre vizinhos seriam implementados com circuitos virtuais usando TCP.
2. Sem alterar a interface de correio eletrônico do usuário, o administrador de correio poderia optar pela utilização do protocolo de correio SMTP (da Internet), em substituição da BITNET original, para o transporte das mensagens transmitidas.

No caso específico do LNCC, que no início de 1992 operava a conexão internacional usando somente protocolos BITNET, havia previsão para a adoção da alternativa BITNET-II, pelo menos no seu enlace internacional. Isto permitiria a continuidade da sua operação como gateway internacional da BITNET, sem precisar dedicar a essa rede sua LPCD internacional, que poderia então passar a ter outra função, por exemplo, uma conexão TCP/IP.

5 Direções futuras para a rede acadêmica nacional

O acesso a uma rede nacional utilizando a tecnologia TCP/IP abriria para P&D em redes um laboratório para experimentação em protocolos de comunicação e aplicativos em rede, inclusive em colaboração com outros grupos geograficamente distantes. Inicialmente os protocolos seriam da própria família TCP/IP, mas até esta limitação poderia ser relaxada (v. a discussão de ISODE abaixo).

O futuro desenvolvimento das redes acadêmicas no país envolveriam a exploração de novas tecnologias de telecomunicações, o uso de novos protocolos e a provisão de novos serviços. Em todas estas direções haveria muito espaço para as contribuições da comunidade nacional de P&D em redes.

5.1 Telecomunicações

O uso mais amplo de fibras óticas promete abrir grandes oportunidades para aumento da capacidade das redes acadêmicas. As principais operadoras regionais de telecomunicações no país já fizeram grandes investimentos na instalação de cabos óticos nas suas redes urbanas, mas ainda não desenvolveram novas aplicações para sua utilização, por exemplo, o desenvolvimento de redes metropolitanas de dados de alto desempenho (cerca de 100 Mbps). Estas redes, necessariamente limitadas geograficamente, permitiriam um entrosamento ainda mais forte entre instituições na mesma cidade para aplicações que envolvessem a transmissão de imagens ou vídeo.

Foi noticiada em fevereiro de 1992 a contratação pela Embratel da instalação até 1993 do primeiro enlace interurbano em fibra ótica, entre Rio de Janeiro e São Paulo, junto com os planos de estender até 1996 este meio físico por boa parte do território nacional, e por cabo submarino até Argentina e Uruguai (o Unisur) e até a Ilha de St. Thomas no Caribe e aos EUA (o Americas) [14]. Este cronograma daria as futuras possibilidades de implementar redes de alto desempenho de longa distância para fins acadêmicos.

O problema de acesso barato às redes acadêmicas de indivíduos, ou de pequenos grupos, na falta de uma boa rede de telefonia poderia ser resolvido através do uso de técnicas de rádio digital. Os pioneiros desta tecnologia têm sido os radioamadores, que desenvolveram a

tecnologia de comunicação, e os protocolos e a arquitetura de rede utilizados [15]. Já existia em 1991 em funcionamento uma rede de alcance mundial de radioamadores, do tipo "store and forward", para a troca de correio eletrônico. A mesma tecnologia poderia também ser utilizada na área acadêmica, embora seja necessária a utilização de frequências de transmissão diferentes daquelas reservadas exclusivamente para a comunidade de radioamadores. No caso da comunidade acadêmica, seria necessário desenvolver gateways entre o segmento rádio e o segmento "convencional" da rede, para permitir interoperabilidade entre os dois. Recentemente foi descrita uma iniciativa de estender comunicação de dados, através de rádio amador, a uma rede de escolas públicas no Rio Grande do Sul.

Outra iniciativa pioneira dos radioamadores foi o uso de satélites de baixa órbita para permitir comunicação a longas distâncias [16]. Um satélite de baixa órbita teria um período de aproximadamente 90 minutos e se sua órbita estivesse suficientemente inclinada, ele estaria visível pelo menos três ou quatro vezes por dia de qualquer ponto da Terra. Um computador a bordo permitiria seu uso como nó de uma rede "store and forward", e em 1991 este uso já estava integrado na rede de correio eletrônico mencionada no parágrafo anterior [17].

Uso não amador já está sendo feito desta tecnologia pela organização médica Satelife, cujas atividades iniciais incluem possibilitar o acesso de médicos em países da África a bases de dados e bibliotecas de medicina nos EUA, além do uso de correio eletrônico. O satélite usado percorre uma órbita polar, o que permite visibilidade a cada órbita de uma estação em Newfoundland, Canadá, onde é operado um "gateway" para a BITNET. O custo baixo e pequeno consumo de energia de uma estação terrestre para comunicação com este tipo de satélite faz com que esta tecnologia seja particularmente apropriada para uso limitado em regiões distantes de grandes centros de população.

5.2 Migração para protocolos OSI

Apesar de ter sido o objeto de um enorme esforço colaborativo ao nível internacional desde 1980, o impacto sobre redes acadêmicas da arquitetura OSI [8] ainda é relativamente pequeno, especialmente quando comparado com TCP/IP. Esta situação certamente se modificará com o tempo, especialmente levando em consideração iniciativas governamentais como US-GOSIP [12], que exigiu "suporte para OSI" (na versão TP4/CLNP) dos seus fornecedores a partir de novembro de 1990. Algumas das principais redes compoendo a Internet já estão se modificando para admitir o uso simultâneo dos protocolos IP e CLNP, e, pelo menos para a comunidade Internet, a transição para OSI está encaminhada. Porém, esta somente vai acelerar-se quando existirem, amplamente disponíveis, implementações de todos os níveis dos protocolos OSI nos sistemas usados pelos usuários finais. Espera-se que seja realizado este desejo com a liberação da próxima versão do sistema operacional BSD 4.4 [10].

No caso brasileiro, a montagem de uma rede acadêmica de tecnologia OSI deveria tentar reaproveitar a infra-estrutura de comunicação já montada, e era essa a intenção com a aquisição, já feita ou projetada, de roteadores multiprotocolares para as redes regionais. Neste ponto, estavam servindo de modelo várias das redes nos EUA, onde os protocolos de rede IP e CLNP operam simultaneamente sobre os mesmos protocolos de enlace. Aparentemente não haveria grandes dificuldades em levar conectividade CLNP até a porta (o roteador) de cada instituição servida. O problema de acesso ao usuário final seria então uma responsabilidade somente da rede interna da sua instituição.

Enquanto não estivesse disponível uma rede "puramente" OSI, existiria ainda uma alternativa para o desenvolvimento e operação de aplicativos da arquitetura OSI, tais como FTAM, MHS e o Diretório, usando o serviços de transporte da Internet. Esta se deve a M. T. Rose [10], que propôs a implementação do serviço de transporte OSI em termos de circuitos vir-

tuais TCP. Rose também coordenou o projeto ISODE (ISO Development Environment), que juntou as contribuições de diferentes grupos de implementadores dos protocolos de aplicação OSI para formar um pacote livremente disponível através de repositórios de software na Internet [11]. O projeto ISODE continuava evoluindo (saiu a versão 7 em 1991), e já incluía implementações das principais aplicativos OSI, além de um ambiente completo para o desenvolvimento de novas aplicativos. Aparentemente, boa parte do software do projeto ISODE passaria a fazer parte do sistema operacional BSD 4.4.

5.3 A IETF

Finalmente, convém chamar atenção às atividades do IETF (Internet Engineering Task Force), que é o principal ponto de convergência da comunidade envolvida na operação e desenvolvimento da Internet, especialmente mas não somente dos EUA. Reunida em plenário três vezes ao ano, a IETF conduz suas atividades através de grupos de trabalho sobre assuntos específicos, que têm por objetivo gerar documentos especificando padrões e normas operacionais, ou contendo informação administrativa ou didática, sobre a Internet. Estes documentos são submetidos para aprovação à IAB (Internet Activities Board), antes de serem publicados na série RFC (Request For Comments). Uma descrição da estrutura organizacional da IAB e da IETF se encontra em [4].

Como a Internet já inclui segmentos operando com tecnologia OSI, a IETF já têm vários grupos trabalhando também sobre temas em OSI. Os grupos de trabalho da IETF são abertos aos interessados, e conduzem a maior parte do seu trabalho (fora das reuniões plenárias da IETF) através de correio eletrônico.

6 Conclusão

Redes acadêmicas no país se estabeleceram nos últimos quatro anos, principalmente na forma de uma rede de correio eletrônico chamada BITNET. No primeiro semestre de 1992, está-se implantando uma nova geração de rede acadêmica, empregando a tecnologia aberta TCP/IP largamente utilizada pela comunidade acadêmica em outros países. A nova rede consiste de uma coleção de redes regionais, cada uma das quais interligando as instituições localizadas na mesma região geográfica. As redes regionais, por sua vez, estão integradas através da rede nacional do projeto RNP, que provê conectividade entre as regiões e acesso ao exterior, fazendo com que a rede toda faz parte integrante da Internet. A implementação escolhida para a nova rede permitirá que ela suporte também os protocolos OSI (CLNP), sem maiores investimentos.

Para desfrutar dos benefícios da nova rede, cabe a uma instituição prover sua integração à rede regional da sua localidade, de preferência através da instalação de um roteador multiprotocolar ligada à sua rede interna. (Soluções mais simples também existem, e algumas delas foram discutidas na seção 3.3.) Nunca se pode enfatizar o bastante a importância da boa integração em rede interna dos equipamentos de uma instituição, para o bom aproveitamento através destes do acesso à rede externa.

A implantação da nova rede e seu futuro desenvolvimento abrem importantes oportunidades para a comunidade de P&D em redes, pois, além de prover desde já um amplo laboratório para experimentação com comunicação remota, há ainda diversas áreas onde deveria ser criada tecnologia apropriada.

Agradecimentos

Os autores gostariam de reconhecer os esforços dos inúmeros colegas que fizeram contribuições à montagem de redes acadêmicas no país, e, sobretudo, de destacar o papel singular de Tadao Takahashi, coordenador adjunto da RNP, que nunca perdeu de vista os objetivos finais.

Referências

- [1] E. Balkovich et al. "Computing in Higher Education: The Athena Experience". *Commun. ACM* 28:1214-1224, November 1985.
- [2] L. H. Landweber et al. "Research Computer Networks and their interconnection". *IEEE Commun. Magazine* 24:5-17, Junho 1986.
- [3] J. Martin. *SNA: IBM's Networking Solution*. Prentice-Hall, 1987.
- [4] D. E. Comer. *Internetworking with TCP/IP Vol.I: Principles, Protocols and Architecture*, 2a. ed. Prentice-Hall, 1991.
- [5] W. R. Stevens. *Unix Network Programming*. Prentice-Hall, 1990.
- [6] J. R. Saltzer et al. "The desktop computer as a network participant". *IEEE J. Selected Areas in Communications, SAC-3*(3):468-478, Maio 1985.
- [7] R. W. Scheifler e J. Gettys. "The X window system". *ACM Trans. on Graphics* 5(3):76-109, 1986.
- [8] A. S. Tanenbaum. *Computer Networks*, 2a. ed. Prentice-Hall, 1988.
- [9] S. N. Goldstein e C. Michau. "Convergence of European and North American Research and Academic Networking", 11p. IFIP WG 6.5 International Symposium on Message Handling Systems and Application Layer Communications Protocols, Zürich, Suíça, Outubro 1991.
- [10] M. T. Rose. *The Open Book - a practical perspective on OSI*. Prentice-Hall, 1990
- [11] M. T. Rose, J. P. Onions e C. J. Robbins. *The ISO Development User's Manual, versão 7.0*, 5 volumes. 1991.
- [12] *U.S. Government Open Systems Interconnection Profile (GOSIP)*. U.S. Federal Information Processing Standards Publication 146, Agosto 1990.
- [13] M. A. Stanton. "A rede interna da PUC-Rio". *Anais do Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores, 10*. Recife, Abril 1992.
- [14] "Embratel perde receita" e "Mais telefonia para Rio e SP". *Jornal do Brasil, caderno Negócios e Finanças*, p.3, 28/02/1992.
- [15] "Packet radio - integrated digital communications". In: *The ARRL Handbook for the Radio Amateur, 65th edition*, p.19-23 a 19-47. American Radio Relay League, Newington, CT 06111, EUA, 1988.
- [16] *Getting Started on Amateur Radio Satellites*. AMSAT-NA Headquarters, 850 Sligo Avenue, Suite 600, Silver Spring, MD 20910-4703, EUA, 1990.
- [17] Edson W. R. Pereira. Comunicação pessoal. 02/1992.