

# Um Mecanismo Inteligente para Controle de Taxa de Transmissão em Redes Locais Sem Fio

Miguel Elias M. Campista, José Ferreira de Rezende, Luís Henrique M. K. Costa, Otto Carlos M. B. Duarte

**Resumo**—A crescente complexidade dos sistemas de comunicação traz a necessidade de se encontrar mecanismos mais ágeis para o gerenciamento e operação das redes de computadores. Este artigo aplica conceitos de redes autônomas que se baseiam em características humanas para solucionar um problema do padrão IEEE 802.11. Redes neurais do tipo *feedforward* serão utilizadas junto ao IEEE 802.11 para adaptar a taxa de transmissão das estações às condições do canal. Os pesos da rede neural são atualizados sempre que a sua saída não encontrar a taxa de transmissão mais apropriada. É mostrado que aplicando redes neurais o ganho em vazão pode ser de até 1,9 Mbps em comparação ao padrão IEEE 802.11 original.

**Palavras-Chave**—Redes autônomas, redes sem fio, IEEE 802.11 e controle de taxa.

**Abstract**—The increase in complexity of the communication systems brings the necessity to find improved mechanisms for management and operation of computer networks. This paper introduces autonomic network concepts which are based on human characteristics to solve a problem of the IEEE 802.11 standard. Feedforward neural networks are used along with IEEE 802.11 to adapt the transmission rates of the stations to the channel conditions. The neural networks are updated whenever its output does not find the most suitable transmission rate. We show that applying neural networks the throughput gain can reach up to 1.9 Mbps compared to the original IEEE 802.11 standard.

**Keywords**—Autonomic networks, wireless networks, IEEE 802.11, and rate control.

## I. INTRODUÇÃO

O conceito de redes autônomas vem se destacando com o crescimento da dificuldade no gerenciamento das redes de computadores. Muitas aplicações distribuídas são criadas. As redes se tornam ubíquas e maiores. Há ainda o aumento da complexidade dos nós, das velocidades de processamento e das taxas de transmissão. Desta forma, é importante encontrar maneiras mais ágeis de automação e controle. Algumas soluções propostas tornam as redes capazes de se autoconfigurar, de se autocurar, de se autoprotoger e de se auto-otimizar [1], [2]. Em outras palavras, as redes de computadores devem ser capazes de se autogerenciar adaptando-se aos desafios que as forem impostos, sem a necessidade do homem.

A aplicação de mecanismos adaptativos em redes locais sem fio é interessante para aumentar a eficiência dessas redes cujo

emprego é crescente. Esse sucesso é devido principalmente ao seu custo reduzido em infra-estrutura física e à mobilidade possibilitada aos usuários. Atualmente, o padrão de redes sem fio mais difundido é o IEEE 802.11 [3].

A introdução de mecanismos de inteligência artificial e em especial de aprendizado de máquinas ao IEEE 802.11 é a principal motivação deste trabalho. Esses mecanismos podem se adaptar às variações do meio sem a intervenção humana. Em aprendizado de máquinas, os parâmetros dos algoritmos se autoconfiguram baseados em experiências passadas e novas adquiridas. Muitos problemas de transmissão sem fio podem ser abordados dado que o principal obstáculo do meio sem fio é a sua imprevisibilidade. Um dos desafios relacionados às alterações bruscas do canal sem fio é o controle de taxa de transmissão. As taxas de transmissão devem se adaptar às condições de sinal-ruído do canal para evitar perdas de pacotes.

Muitas propostas para controle de taxas de transmissão aplicadas ao IEEE 802.11 são encontradas na literatura. Kerman e Monteban [4] propuseram o ARF (*AutoRate Fallback algorithm*) onde a taxa é reduzida a cada dois quadros perdidos consecutivamente. Se a taxa de transmissão não é a máxima, ela será incrementada caso dez quadros sejam recebidos com sucesso ou haja estouro de temporizador. Esse algoritmo mostra uma reação lenta a variações rápidas do canal. Para contornar a principal deficiência do ARF, foi proposto o AARF (*Adaptive ARF*) por Lacage *et al.* [5]. No AARF os números de quadros necessários para diminuir e aumentar a taxa de transmissão são modificados dinamicamente. Pavon e Choi desenvolveram o LA (*Link Adaptation algorithm*) [6] que adapta a sua taxa de transmissão baseada na potência do sinal recebido. Dependendo da potência recebida, o transmissor estima a taxa de transmissão que ele deve usar utilizando limiares de decisão. Esses limiares variam durante a operação da rede e a taxa de transmissão é escolhida tendo em vista a atenuação do sinal no enlace. Quanto mais distante está o receptor, mais suscetível a degradações está o sinal, impedindo que taxas altas sejam utilizadas. Holland *et al.* [7] propuseram o RBAR (*Receiver-Based Autorate protocol*). O RBAR faz controle de taxa a partir de informações recebidas do receptor. Essas informações são enviadas ao transmissor através dos quadros de controle. Para isso, é necessária a alteração de alguns campos do cabeçalho do IEEE 802.11, o que não é desejável, pois dificulta a interoperabilidade. Haratcherev *et al.* [8] desenvolveram um mecanismo que verifica estatisticamente qual é a melhor taxa de transmissão dentre as possíveis para enviar dados. Na verificação estatística, um intervalo de tempo é definido para avaliar qual a taxa irá escoar a

Miguel Elias M. Campista, José Ferreira de Rezende, Luís Henrique M. K. Costa e Otto Carlos M. B. Duarte, Grupo de Teleinformática e Automação, PEE-COPPE/DEL-POLI, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. E-mails: miguel@gta.ufrj.br, rezende@gta.ufrj.br, luish@gta.ufrj.br, otto@gta.ufrj.br. Este trabalho foi realizado com recursos do CNPq, CAPES, FAPERJ, FINEP, RNP e FUNTTEL.

maior parte do fluxo de dados no próximo intervalo de tempo. Como a verificação estatística é lenta, a taxa utilizada pode ser modificada caso a potência do sinal recebido indicar uma outra taxa de transmissão.

A aplicação de mecanismos de inteligência artificial ao IEEE 802.11 ainda não é encontrada na literatura disponível. Este trabalho mostra que a aplicação de redes neurais é interessante e eficiente.

Este artigo está organizado da seguinte forma. A Seção II faz uma revisão do padrão IEEE 802.11 descrevendo o seu método de acesso. A Seção III introduz os conceitos básicos de redes neurais. A Seção IV detalha o mecanismo proposto e a implementação e apresenta os resultados obtidos por simulação. A Seção V conclui este trabalho.

## II. PADRÃO IEEE 802.11

O padrão IEEE 802.11 define o método de acesso ao meio e as especificações de camada física. O protocolo da subcamada de controle de acesso ao meio (MAC) utiliza o CSMA/CA devido à incapacidade de se garantir detecção de colisões. Essa incapacidade de detecção de colisões está diretamente relacionada com a alta atenuação e a presença de ruídos no meio que impede o transmissor de escutar uma possível colisão no receptor.

No método de acesso distribuído (*Distributed Coordination Function - DCF*), uma estação deve sempre aguardar o meio ficar ocioso por DIFS (*DCF InterFrame Space*), que é um intervalo de tempo de  $50 \mu s$ , para transmitir um quadro RTS (*Request To Send*). O destino, ao receber um RTS, espera SIFS (*Short InterFrame Space*), que dura  $10 \mu s$ , e envia um CTS (*Clear To Send*). Recebendo um CTS a estação transmissora aguarda outro intervalo de tempo SIFS para enviar o seu quadro de dados como ilustrado na Figura 1. A troca de quadros RTS/CTS é feita para reservar o canal. Caso todos os nós estejam dentro do mesmo alcance de cobertura a troca de RTS/CTS é dispensável.

Toda estação estabelece um NAV (*Network Allocation Vector*) ao verificar que uma outra estação ganhou o meio. O NAV é um temporizador que define um intervalo de tempo suficiente para a transmissão corrente acabar. Uma estação só pode transmitir depois que o seu NAV expirar.

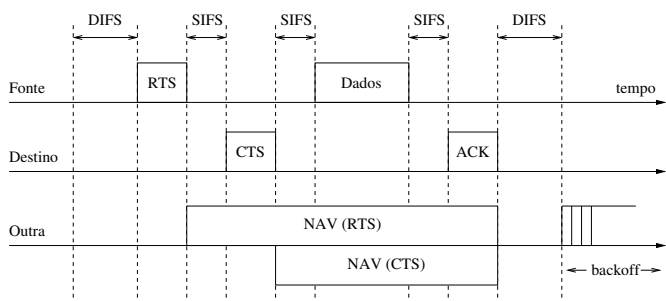


Fig. 1. Transmissão de um quadro no padrão IEEE 802.11.

Devido à atenuação do meio, que impede a detecção de colisões, o transmissor espera um reconhecimento positivo (*Acknowledgment - ACK*) do receptor. O receptor transmite um ACK somente se o quadro foi corretamente recebido. O

ACK é transmitido após o término da recepção do quadro de dados mais um intervalo entre quadros SIFS. Como o SIFS é menor que o DIFS, a transmissão do ACK é garantida antes de qualquer outra transmissão de dados. O ACK é sempre transmitido na taxa básica (1 Mbps) para garantir que todas as estações tenham condições de escutá-lo. Para evitar colisões, após o quadro inicial de um fluxo de dados, todo o quadro de dados enviado espera DIFS mais um intervalo de tempo aleatório, conhecido por backoff.

O *backoff* inicia após a expiração de um intervalo DIFS. A função de *backoff* atribui um número aleatório uniformemente distribuído entre zero e o tamanho da janela de contenção  $[0, CW]$ . Esse número aleatório é usado como um contador de *backoff* (*Backoff Counter - BC*) e o seu valor é multiplicado por um intervalo de tempo (*time slot*) igual a  $20 \mu s$  para estabelecer um temporizador chamado de *backoff timer* (BT).

As estações decrementam de uma unidade o seu contador de *backoff* (BC) se o meio permanecer ocioso por um *time slot*. Caso o meio permaneça ocioso, o BC continua sendo decrementado até que a temporizador BT expire e a transmissão ocorra. Entretanto, se o meio for ocupado durante o *backoff* de uma estação, o BC é pausado até o meio ficar novamente ocioso por DIFS, quando o BC é reiniciado.

Sempre que um ACK não for recebido a estação supõe a ocorrência de uma colisão, aumenta o valor da sua janela de contenção (CW) e espera novamente por DIFS para iniciar um novo *backoff*. Utilizando-se um tamanho maior para a janela de contenção diminui-se a probabilidade de uma outra colisão. O valor da janela de contenção é incrementado até um valor máximo onde permanece constante. Sempre que uma transmissão é bem sucedida, o valor da janela de contenção recebe o seu valor mínimo.

Neste artigo será utilizado o modo Ad Hoc que emprega o método de acesso distribuído e não será utilizado o RTS/CTS. Através da descrição do método de acesso ao meio do IEEE 802.11, percebe-se a preocupação de se contornar os obstáculos impostos pelo canal. Dentre esses obstáculos está a imprevisibilidade das suas condições que estimula a aplicação de mecanismos adaptativos.

## III. REDES NEURAIS

As redes autônomas podem empregar técnicas de aprendizado de máquinas vistas em inteligência artificial. Os algoritmos de aprendizado de máquinas possuem parâmetros que são inicialmente adaptados ao meio através de exemplos. Os exemplos são formados por um conhecimento prévio dos atributos de entrada da rede e das suas respectivas saídas. Esse conhecimento prévio é necessário para o treinamento e conseqüente configuração inicial dos parâmetros do algoritmo. Após o período de treinamento, há o período de teste onde a porcentagem de acerto do algoritmo é verificada. Depois que o mecanismo está adaptado ao sistema, ele pode ser utilizado. Todo algoritmo de aprendizado de máquinas deve ser capaz de se autoconfigurar ao longo da sua utilização. Um dos algoritmos de aprendizado de máquinas conhecido é as redes neurais.

Neste trabalho foi utilizada uma rede neural do tipo *feed-forward* que se baseia no sistema nervoso central humano para

aprendizado. Uma rede neural é composta por elementos que representam neurônios e se comunicam através de ligações que representam as sinapses nervosas. A cada sinapse nervosa de uma rede neural é atribuído um peso. Uma rede neural é representada pelo vetor de todos os pesos de suas sinapses.

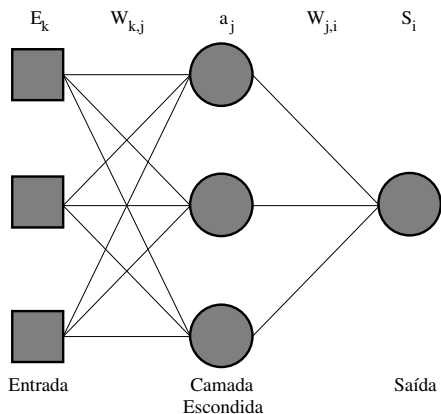


Fig. 2. Exemplo de uma rede neural.

Os neurônios de uma rede neural do tipo *feedforward* são organizados em camadas conforme visto na Figura 2. Nesse tipo de rede os neurônios de uma camada  $n$  só se comunicam com os neurônios da camada  $n + 1$ . Em outras palavras, os impulsos nervosos são transmitidos dos neurônios da entrada para os da camada escondida e da camada escondida para a saída. Numa rede neural desse tipo, a saída de cada neurônio é função das suas entradas. No exemplo visto na Figura 2 a rede neural possui uma camada de entrada, uma camada intermediária ou camada escondida e uma camada de saída. Dado que os pesos de uma rede neural estão representados por  $W_{k,j}$  e  $W_{j,i}$ , as entradas por  $E_k$  e as saídas da camada escondida por  $a_j$ , os valores de  $a_j$  são calculados segundo a Equação 1. A função  $g(e)$  é uma sigmóide onde  $e$  são os valores de entrada do neurônio.

$$a_j = g(e_j) = g\left(\sum_k W_{k,j} \times E_k\right). \quad (1)$$

Obtidos os valores de  $a_j$ , pode-se calcular o valor da saída da rede representada por  $S_i$  conforme a Equação 2.

$$S_i = g(e_i) = g\left(\sum_j W_{j,i} \times a_j\right). \quad (2)$$

O período de treinamento tem como função configurar os valores iniciais dos pesos de uma rede neural. Dados exemplos onde tanto as entradas quanto as respectivas saídas da rede são conhecidas, calcula-se os valores dos pesos. Para isso, é necessário a obtenção do erro,  $E_{rri}$ . O erro é a diferença entre o valor encontrado,  $S_i$ , e o valor esperado pelo exemplo,  $T_i$ , conforme a Equação 3.

$$E_{rri} = T_i - S_i. \quad (3)$$

Após a obtenção do erro, há a atualização dos pesos da rede. O mecanismo de atualização dos pesos é conhecido por

propagação reversa (*backpropagation*). Na propagação reversa, o erro é propagado às camadas anteriores no sentido inverso ao utilizado para a obtenção da saída. Assim, o erro é utilizado para a atualização dos pesos. Dado que  $\alpha$  é uma constante chamada de taxa de aprendizado e  $g'$  é a derivada de  $a_j$ , o novo  $W_{j,i}$  ( $W_{j,i}^{novo}$ ) é dado por:

$$W_{j,i}^{novo} = W_{j,i}^{atual} + \alpha \times a_j \times E_{rri} \times g'(e_i). \quad (4)$$

Os valores dos pesos entre a entrada e a camada escondida, dados por  $W_{k,j}$ , são recalculados posteriormente para a obtenção dos novos valores de  $W_{k,j}$  ( $W_{k,j}^{novo}$ ) segundo a Equação 5:

$$W_{k,j}^{novo} = W_{k,j}^{atual} + \alpha \times E_k \times g'(e_j) \times \sum_i W_{j,i}^{novo} \times E_{rri} \times g'(e_i). \quad (5)$$

A obtenção da saída e atualização dos pesos é realizada exemplo a exemplo. O período de teste é realizado após o término de todos os exemplos. No período de teste é medida a porcentagem de acerto da rede. Caso essa porcentagem ainda não seja satisfatória deve-se treinar mais a rede.

A proposta deste trabalho é utilizar as redes neurais para prever, em função dos atributos de entrada, se a taxa de transmissão deve ser diminuída ou não. Assim, pode-se antecipar a escolha da taxa antes de se perder pacotes tendo como base experiências adquiridas anteriormente. Isso evita que haja a necessidade de realimentação do receptor indicando a sua situação. Esta abordagem pressupõe que as condições do canal vistas pelo transmissor e receptor são semelhantes. Nos resultados verifica-se que para condições deterioradas do canal o ganho é relevante. Todavia, é detectada também a presença de alguns falsos positivos. Um falso positivo é a diminuição da taxa de transmissão sem necessidade.

#### IV. SIMULAÇÕES

Para simular o mecanismo proposto foi utilizado o simulador de redes ns-2 (*Network Simulator*) em sua versão 2.28 [9]. Ao módulo do padrão IEEE 802.11 disponível no simulador foram acrescentados métodos referentes ao algoritmo de redes neurais.

Um modelo da camada física também foi implementado introduzindo uma probabilidade de erro binária ao canal em função da relação sinal-ruído e da taxa de transmissão utilizada. O simulador ns padrão não calcula a probabilidade de erro binária para nenhuma taxa de transmissão. O ns padrão considera sempre o meio ideal.

##### A. Implementação

São consideradas as 4 taxas de transmissão, 1, 2, 5.5 e 11 Mbps do padrão IEEE 802.11b e suas respectivas modulações para cálculo da probabilidade de erro binária do canal. O aumento da taxa de transmissão é resultado da alteração do esquema de modulação utilizado. Quanto maior é o número de bits por símbolo, maior é a taxa de transmissão. Porém, o aumento da taxa de transmissão acarreta uma maior probabilidade de erro. Isso ocorre porque com o

aumento de bits por símbolo, aumenta-se o número de pontos na constelação diminuindo as diferenças entre os limiares de decisão na demodulação. A variação da relação sinal-ruído também influencia a probabilidade de erro binária. A diminuição da relação sinal-ruído implica num aumento da probabilidade de erro. No modelo utilizado nas simulações, a probabilidade de erro é função da modulação e da relação sinal-ruído. Os diferentes valores para a probabilidade de erro binária utilizados são vistos em [6]. Na implementação, toda vez que um nó recebe um quadro, ele verifica a que taxa o quadro foi recebido. Conhecendo a relação sinal-ruído do canal, o nó calcula se houve um erro no quadro utilizando a probabilidade de erro correspondente implementada.

O mecanismo de rede neural foi acrescentado ao módulo IEEE 802.11 para cálculo da taxa de transmissão. Para as entradas da rede neural escolheu-se 3 atributos de entrada: a relação sinal-ruído do canal, o tamanho do quadro e a taxa de transmissão. Esses atributos foram normalizados para que tivessem a mesma ordem de grandeza. Dependendo da saída da rede neural há a diminuição da taxa de transmissão ou não. Sempre que há uma retransmissão considera-se que a rede neural errou e por isso os pesos são atualizados. Quando a taxa de transmissão é menor que a máxima, a rede neural também recalcula os seus pesos ao receber um reconhecimento positivo. Isso permite que a taxa de transmissão aumente. O período de treinamento é realizado fora das simulações, ou seja, o período necessário para estabelecer os valores iniciais dos pesos da rede não é considerado neste trabalho. Verificou-se, porém, que são necessários poucos exemplos para convergir inicialmente. Com menos de 10 exemplos já se atinge os valores iniciais para os pesos da rede neural. Foram usados 3 neurônios na camada escondida.

## B. Resultados

Nas simulações são utilizados dois nós, um transmissor e outro receptor, para a análise do mecanismo proposto. É considerado que o nó transmissor sempre possui um quadro para enviar e que não é utilizado RTS/CTS. As transmissões são feitas utilizando tráfego CBR/UDP. A abordagem proposta foi comparada com o padrão IEEE 802.11 original que não aplica nenhum mecanismo de controle de taxa de transmissão. É importante ressaltar que não houve alteração no protocolo de comunicação original. Os gráficos das Figuras 3, 4 e 5 possuem barras de erro correspondentes a um intervalo de confiança de 95%.

Na Figura 3 é mostrada a influência da relação sinal-ruído (RSR) na vazão obtida. Para isso, a RSR é variada de 8 até 12 dB. Esse intervalo foi escolhido por ainda permitir que o padrão IEEE 802.11 transmita a 11 Mbps com probabilidade de erro binária que varia aproximadamente de  $10^{-3}$  até  $10^{-5}$  para 8 e 12 dB, respectivamente. Para BER menores que 8 dB, o IEEE 802.11 não consegue transmitir mais a 11 Mbps [6]. Foram utilizados quadros de 1500 octetos. Na Figura 3 verifica-se que quanto mais degradadas forem as condições do canal, melhor é o desempenho da proposta. O ganho em vazão chega até 1,9 Mbps, aproximadamente, quando a RSR é 9 dB. Pode ser observado ainda que conforme a RSR aumenta,

menor é a diferença entre o padrão IEEE 802.11 original e o padrão IEEE 802.11 com redes neurais. Quando a RSR é igual a 12 dB a vazão alcançada por ambos é aproximadamente a mesma. Isso mostra que quando a probabilidade de erro binária do canal é baixa, a taxa de transmissão é máxima e não há necessidade de controle de taxa.

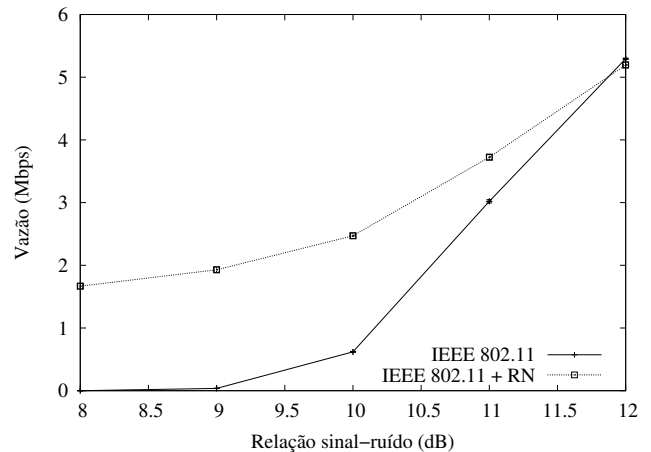


Fig. 3. Vazão em função da relação sinal-ruído.

Na Figura 4 escolheu-se uma RSR intermediária, 10 dB, para medir o desempenho da proposta variando o tamanho dos quadros. Pode-se verificar que ao aumentar o tamanho dos quadros de 250 até 1500 octetos o ganho de vazão com a proposta aumenta. Isso ocorre porque a probabilidade da ocorrência de um quadro com erro é maior para quadros grandes. O mecanismo proposto mostra-se mais eficiente com o aumento do tamanho dos quadros, pois maior é a probabilidade de perda. Observa-se ainda na Figura 4 que o tamanho ótimo para a transmissão utilizando o IEEE 802.11 original é alcançado para quadros de aproximadamente 500 octetos nas condições analisadas. Na figura é visto que a partir desse tamanho de quadro a vazão começa a cair. Para quadros maiores que 500 octetos, aproximadamente, a probabilidade de perda é alta dada a relação sinal-ruído do canal e a taxa constante de transmissão igual a 11 Mbps. Essa curva mostra que uma abordagem que encontre o melhor tamanho de quadro para a transmissão também é interessante. Por outro lado, o IEEE 802.11 com rede neural ainda consegue aumentar a sua vazão até pelo ou menos 1500 octetos, pois ao diminuir a sua taxa de transmissão a probabilidade de erro binária do quadro enviado é menor.

Na Figura 5 foi mantida novamente a RSR em 10 dB e variou-se a carga oferecida à rede. Pode-se verificar a influência do aumento da carga oferecida ao se empregar o mecanismo proposto em termos de vazão. Como a RSR é constante e a vazão do IEEE 802.11 original máxima é de aproximadamente 0,6 Mbps para uma RSR de 10 dB, a vazão mantém-se constante pois a saturação já foi atingida. Já a vazão obtida pela abordagem com o emprego das redes neurais ainda aumenta inicialmente com o aumento da carga oferecida, porém logo chega na saturação. A vazão alcançada pelo mecanismo proposto é maior com o aumento da carga oferecida já para valores intermediários de relação sinal-ruído.

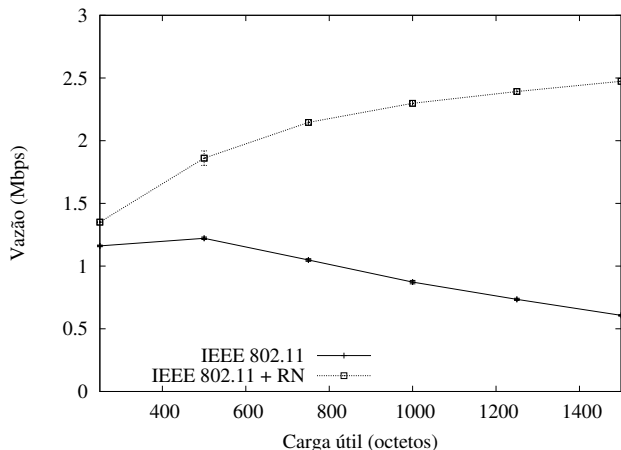


Fig. 4. Vazão em função do tamanho da carga útil dos quadros.

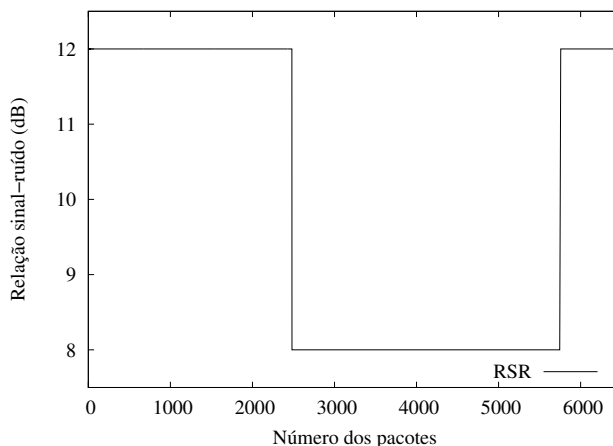


Fig. 6. Relação sinal-ruído.

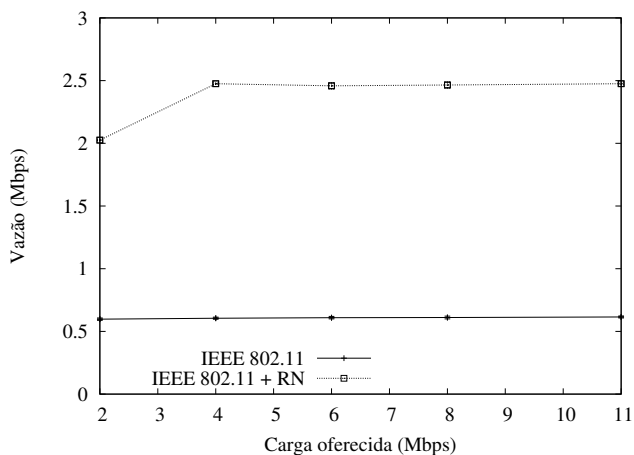


Fig. 5. Vazão em função da carga oferecida.

redes neurais ao IEEE 802.11 possibilita a adaptação da taxa de transmissão dadas as condições do canal. Essa adaptação permite que a comunicação permaneça mesmo durante um período de baixa relação sinal-ruído. Podemos observar ainda na Figura 8 a presença de alguns falsos positivos. É visto que antes do período de degradação a presença de algumas retransmissões faz com que os pesos se atualizem. Isso faz com que a taxa de transmissão baixe graças a alguns quadros isolados que não são recebidos.

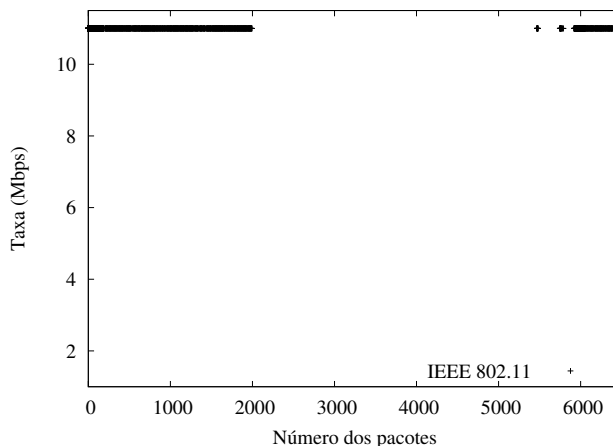


Fig. 7. Taxa de transmissão do IEEE 802.11.

É ainda avaliada a capacidade de adaptação da proposta comparada ao padrão original ao se variar bruscamente a relação sinal-ruído do canal. Para isso, foi implementado um temporizador, para que após um determinado intervalo de tempo, a relação sinal-ruído do canal fosse degradada e posteriormente voltasse ao estado inicial. Na Figura 6 é observado que inicialmente a relação sinal-ruído do canal era de 12dB. Após a transmissão de alguns pacotes, a relação cai para 8 dB voltando a 12 dB mais adiante. O número do pacote visto no eixo X da curva representa a identificação do quadro no simulador. O aumento do número do pacote indica o decorrer do tempo. Neste teste são utilizados 10s de simulação. Há a degradação do canal aos 4s e a melhora aos 7s. O tamanho do quadro utilizado é de 1500 octetos.

Os pontos vistos nas Figuras 7 e 8 mostram a taxa dos dados dos quadros transmitidos que foram recebidos pelo destinatário. Na Figura 7, pode-se observar que durante o período em que o canal estava degradado nenhum ponto é visto. Isso significa que para uma relação sinal-ruído do canal igual a 8 dB o padrão IEEE 802.11 não envia com sucesso nenhum quadro. Já a Figura 8 mostra que no período de degradação do canal os quadros são recebidos porém são transmitidos com taxas iguais a 5,5 Mbps. A inclusão das

As Figuras 9 e 10 mostram o atraso de propagação sofrido pelos quadros transmitidos com sucesso ao destino. Novamente, a Figura 9 mostra que o IEEE 802.11 não consegue entregar nenhum pacote enquanto a relação sinal-ruído do canal é de 8 dB. Já na Figura 10 observa-se a presença de pontos durante o período de degradação do canal com atraso maior. Isso demonstra que os quadros foram recebidos porém foram transmitidos com uma taxa mais baixa. É visto ainda a presença de falsos positivos antes da degradação do canal. Essa presença é detectada devido aos pontos com atrasos maiores enquanto a rede ainda opera com RSR igual a 12 dB.

Os resultados obtidos mostram que o emprego das redes neurais é interessante e dá ganho em vazão se aplicado ao

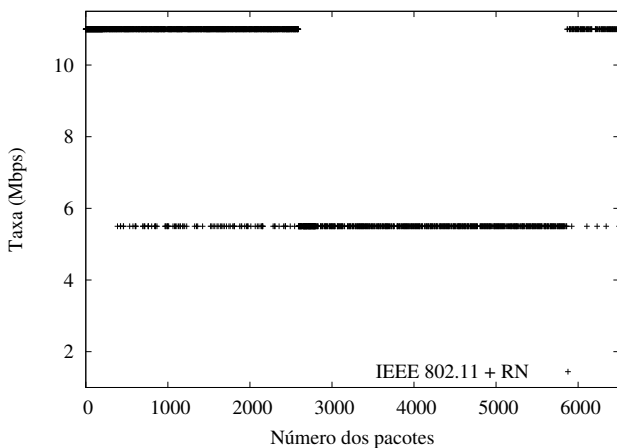


Fig. 8. Taxa de transmissão do IEEE 802.11 com rede neural.

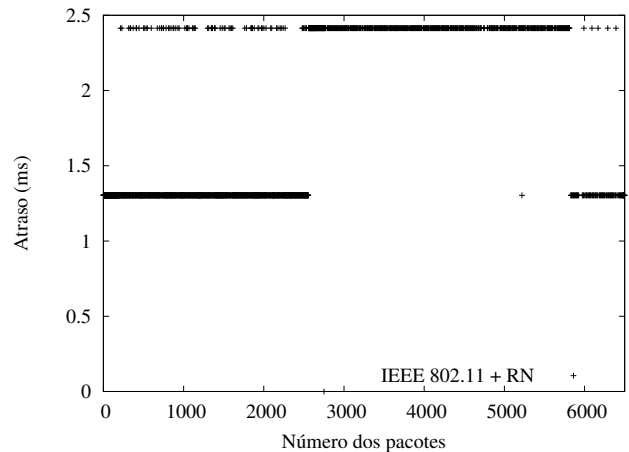


Fig. 10. Atraso do IEEE 802.11 com rede neural.

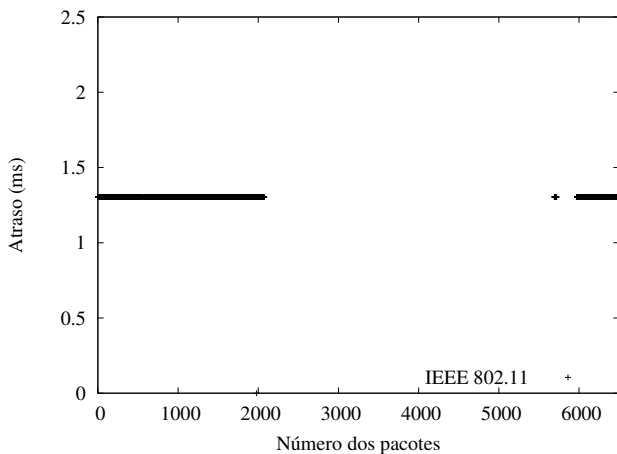


Fig. 9. Atraso do IEEE 802.11.

IEEE 802.11. A abordagem proposta mostra que os ganhos são observados já para valores intermediários de relação sinal-ruído, para diferentes tamanhos de quadros e diferentes cargas oferecidas à rede. O IEEE 802.11 com redes neurais ainda consegue se adaptar dinamicamente conforme o meio é degradado.

### V. CONCLUSÕES

Mecanismos que aplicam redes neurais são continuamente adaptáveis às condições que são submetidas ao longo da sua utilização. A importância atual das redes sem fio motivou a aplicação das redes neurais a um problema conhecido do padrão IEEE 802.11. Uma rede neural foi proposta para adaptar os nós às condições do meio possibilitando que a melhor taxa de transmissão seja escolhida. Pôde-se então mostrar que a introdução de mecanismos de inteligência artificial para resolver problemas característicos de redes de computadores é interessante e eficiente.

Neste trabalho, a eficiência da aplicação das redes neurais ao IEEE 802.11 foi avaliada mostrando uma melhora de desempenho se comparado ao padrão IEEE 802.11 original. Foi visto que ao se utilizar redes neurais há um ganho em vazão de até 1,9 Mbps para uma relação sinal-ruído de 9 dB.

Mostrou-se também que o ganho de vazão aumenta com o tamanho do quadro até 1500 octetos. Foi ainda visto que ao se variar bruscamente as condições do canal, o mecanismo proposto reage bem, diminuindo a taxa de transmissão. Já o padrão IEEE 802.11 original não consegue enviar quadros com sucesso durante o período em que o canal está degradado para o valor de RSR escolhido.

Em trabalhos futuros, planeja-se encontrar novos parâmetros para cálculo da rede neural e diminuir a incidência de falsos positivos. Pretende-se ainda calcular os pesos iniciais da rede durante as transmissões e comparar a proposta a outros algoritmos de controle de taxa de transmissão.

### REFERÊNCIAS

- [1] D. D. Clark, C. Partridge, J. C. Ramming e J. T. Wroclawski, "A Knowledge Plane for the Internet", em *ACM SIGCOMM'03*, Karlsruhe, Alemanha, pp. 3–10, agosto de 2003.
- [2] N. Agoulmine, "Ubiquitous IP Network Management - Challenges and Approaches". Palestra do XXIII Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores (SBRC'05), maio de 2005.
- [3] IEEE, "Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications". IEEE Standard 802.11, 1999.
- [4] A. Kamerman e L. Monteban, "WaveLAN-II: A high-performance wireless LAN for the unlicensed band", *Bell Labs Technical Journal*, pp. 118–133, 1997.
- [5] M. Lacage, H. Mohammad e T. Turetli, "IEEE 802.11 Rate Adaptation: A Practical Approach", em *7º ACM International Symposium on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems (MSWiM'04)*, Veneza, Itália, outubro de 2004.
- [6] J. Pavon e S. Choi, "Link Adaptation Strategy for IEEE 802.11 WLAN via Received Signal Strength Measurement", em *IEEE International Conference on Communications (ICC'03)*, vol. 2, Califórnia, EUA, pp. 1108–1113, maio de 2003.
- [7] G. Holland, N. H. Vaidya e P. Bahl, "A Rate-Adaptive MAC Protocol for Multi-Hop Wireless Networks", em *7º ACM Mobile Computing and Networking*, Roma, Itália, pp. 236–251, julho de 2001.
- [8] I. Haratcherev, J. Taal, K. Langendoen, R. Legendijk e H. Sips, "Automatic IEEE 802.11 Rate Control for Streaming Applications". Aceito em *Wireless Communications and Mobile Computing (Wiley Interscience)*, 2005.
- [9] K. Fall e K. Varadhan, *The ns Manual*. UC Berkeley, LBL, USC/ISI, and Xerox PARC, abril de 2002. Acessada em <http://www.isi.edu/nsnam/ns/ns-documentation.html>.