

Gerência dos Recursos de Potência em Redes Celulares WCDMA Empregando Estratégias de Designação do Benefício das Antenas Inteligentes

Carlos H. M. de Lima, Emanuel B. Rodrigues, Vicente A. de Sousa Jr., Francisco R. P. Cavalcanti

Resumo—O enlace direto de redes celulares WCDMA é essencialmente limitado por interferência, por isso a gerência eficiente dos recursos de potência de transmissão disponibilizados na estação rádio-base é fator determinante do desempenho e capacidade final do sistema celular. Além disso, a potência presente na base é um recurso escasso, que deve ser compartilhada entre canais de controle, sinalização e tráfego.

Dessa forma, investiga-se a problemática da disponibilidade, alocação e utilização dos recursos de potência da base no enlace direto de redes WCDMA. Propõe-se e avalia-se estratégias de designação do benefício das antenas inteligentes a fim de racionalizar a utilização dos recursos de potência de transmissão e diminuir a quantidade de interferência que é propagada na interface de rádio. Inspecciona-se tanto a aplicabilidade quanto a interação dessas estratégias com as demais técnicas de gerência de recursos de rádio definidas na padronização do sistema.

Palavras-Chave—WCDMA, Antenas Inteligentes, Enlace Direto, Gerência dos Recursos de Potência.

Abstract—The forward link of a WCDMA radio networks is essentially interference limited, therefore the efficient management of the power resources which are made available in the base station antenna is a determinant factor of the system capacity and performance. Moreover, the transmission power is a scarce resource which must be shared among control, signaling and traffic channels.

In this way, we assess the availability, allocation and utilization of the power resources in the forward link of WCDMA radio networks. We propose and evaluate distinct smart antennas assignment strategies in order to reduce the propagated interference into the air interface. We inspect the applicability of these assignment strategies and the dynamism of their interaction with the default radio resource management strategies as well.

Keywords—WCDMA, Smart Antennas, Forward link, Power Resource Management.

I. INTRODUÇÃO

As antenas inteligentes (SA, do inglês Smart Antennas) são a técnica de gerência de recursos de rádio mais promissora para a extensão da cobertura e aumento da capacidade em sistemas celulares de terceira geração [1], [2]. No enlace direto, as SA reduzem a interferência radiada no sistema. Essa economia de potência de transmissão, que resulta na estação rádio-base, pode ser traduzida em capacidade adicional ou extensão da área de cobertura da célula.

Esse fato constitui-se em grande benefício para a rede celular, pois a potência de transmissão é um recurso limitado

e essencial para o funcionamento apropriado do sistema que deve ser eficientemente dividido entre os canais de controle, sinalização e tráfego.

As SA são implementadas por meio de duas estratégias principais: formação de feixes fixos ortogonais e formação de feixes direcionais [1]. Os feixes fixos ortogonais são direcionados para ângulos previamente estabelecidos. A formação de feixes direcionais orienta o feixe formado na direção do usuário beneficiado. Esta categoria demanda mais processamento computacional, não obstante propicie maiores ganhos e melhor desempenho ao sistema celular. A segunda categoria de SA foi adotada para a condução dos estudos deste trabalho.

Neste artigo afere-se o impacto da utilização de uma estrutura formatadora de feixes direcionais no enlace direto de sistemas celulares WCDMA. Foca-se tanto em aspectos da rede relacionados ao emprego das antenas inteligentes quanto na interação desta estrutura com os demais algoritmos de gerência de recursos de rádio. Procura-se respeitar características de implementação da rede celular que podem eventualmente restringir o emprego do arranjo de antenas.

Diversos trabalhos avaliaram o benefício da utilização de antenas inteligentes em termos de capacidade e cobertura tanto no enlace reverso quanto no enlace direto, utilizando-se formação de feixes fixos ou feixes direcionais [3]–[11]. Adicionalmente, neste artigo, avalia-se duas estratégias distintas para assinalar o benefício das antenas inteligentes no enlace direto:

- Controle direcional de admissão de chamadas, CDAC
- Designação dos principais interferentes, DPI

É importante salientar que além de caracterizar as antenas inteligentes como solução viável para melhorar o desempenho de redes celulares WCDMA, aumentando-se tanto capacidade como cobertura, procura-se definir estratégias que viabilizem a utilização de um arranjo de antenas no enlace direto desses sistemas celulares.

Dessa forma, avalia-se o controle direcional de admissão de chamadas na seção II-A, ao passo que na seção II-B afere-se a estratégia de designação dos principais interferentes para assinalar o usuário contemplado com antenas inteligentes. Nestas avaliações, considera-se os cenários de teste definidos na seção III. Nas seções IV e V avalia-se o desempenho do sistema. Finaliza-se o estudo das antenas inteligentes no enlace direto de redes celulares WCDMA por meio da seção VI, que sintetiza os principais resultados e conclusões desenvolvidas neste trabalho.

II. CONCEPAÇÃO DA SOLUÇÃO

Nas investigações conduzidas neste artigo utiliza-se uma estrutura formatadora de feixes direcionais denominada filtro casado espacial (SMF, do inglês Spatial Matched Filter). A tabela I agrupa os principais parâmetros de configuração da estrutura SMF. Nesta seção, caracteriza-se as estratégias de designação das antenas inteligentes.

TABELA I

PARÂMETROS DE CONFIGURAÇÃO DAS ANTENAS INTELIGENTES.

Parâmetro	Valor
Número de elementos	oito elementos de antenas
Estrutura do arranjo de antenas	ULA ^a
Estratégia de formatação do feixe	Filtro casado espacial (SMF), feixes direcionais
Espalhamento angular ou azimutal	5°

^ado inglês Uniforme Linear Array.

A. Controle Direcional de Admissão de Chamadas

Nesta estratégia, utiliza-se a seletividade espacial decorrente do ganho de apontamento das antenas inteligentes no momento da admissão de novas chamadas. Assim, procura-se beneficiar os usuários contemplados desde o momento da admissão [12]–[14]. Segundo este algoritmo, o usuário que tentar acessar a rede e estiver na iminência de bloqueio, tem uma nova oportunidade de acesso utilizando as antenas inteligentes. Assim, a potência de transmissão é recalculada conforme o algoritmo controle de potência de laço aberto utilizando antenas inteligentes. A tabela II agrupa as características principais da estratégia CDAC.

TABELA II

CARACTERÍSTICAS DE FUNCIONAMENTO DA ESTRATÉGIA CDAC.

Característica	descrição
Estrutura do arranjo de antenas	SMF ^a
Instante de atuação	No momento da admissão
Categoria do usuário contemplado	Usuário na iminência de ser bloqueado

^ado inglês Spatial Matched Filter, ULA com oito elementos de antenas.

B. Designação dos Principais Interferentes

Diferentemente da proposta anterior, esta solução atua durante a chamada em curso. Contempla-se com antenas inteligentes os usuários segundo o nível da potência de transmissão que é destinada pela base aos canais de tráfego desses usuários.

Considera-se que a utilização de 50 % dos recursos de potência de transmissão da base é suficiente para disparar o processo dedesignação dos usuários contemplados. Assim, quando o consumo dos recursos de potência de transmissão da base atingem 50 % do valor máximo, o algoritmo inicia uma busca pelos principais interferentes do sistema. Conforme

o número permitido de usuário contemplados, assinala-se o ganho das antenas inteligentes.

Com este procedimento procura-se minimizar a quantidade de interferência que é radiada na interface de rádio. A tabela III apresenta as propriedades de funcionamento da estratégia DPI.

TABELA III

CARACTERÍSTICAS DE FUNCIONAMENTO DA ESTRATÉGIA DPI.

Característica	descrição
Estrutura do arranjo de antenas	SMF
Instante de atuação	Durante a chamada em curso
Categoria do usuário contemplado	Os principais interferentes ^a

^aOs usuários que demandam a maior quantidade de potência de transmissão da base.

III. DEFINIÇÃO DOS CENÁRIOS DE TESTE

Define-se dois cenários de teste distintos objetivando-se avaliar as vantagens da utilização de antenas inteligentes no enlace direto de redes celulares WCDMA. Estas estruturas avançadas são empregadas conforme as estratégias de designação dos usuários contemplados, que foram sugeridas na seção anterior.

Nestes cenários, considera-se uma distribuição homogênea de carga entre os setores do grid celular, usuários classe de serviço voz com taxa de transmissão de 12,2 kbps e velocidade de deslocamento de 3 km/h.

- Cenário de Referência: Este cenário está caracterizado pelo conjunto de parâmetros de simulação reunidos na tabela IV. Observe-se que esta tabela particulariza a configuração padrão da rede celular.
- Cenário com variação do raio do setor celular: O enlace de rádio é dimensionado conforme a configuração de referência. No entanto, permite-se que os usuários se conectem a distâncias maiores que o alcance celular planejado. Estas distâncias são fixadas em 1,5 e duas vezes o alcance do cenário de referência. Adicionalmente, avalia-se o comportamento da rede para uma configuração alta de carga de 18 [erl/setor].

IV. IMPACTO DAS ANTENAS INTELIGENTES NO CENÁRIO DE REFERÊNCIA

Inicialmente, afere-se a capacidade da rede celular por meio das figuras 1 e 2. Apresenta-se o 95^o percentil da probabilidade de apagamento de quadro (FEP) na figura 1, enquanto se mostra a probabilidade de bloqueio na figura 2.

Inspecionando-se a figura 1 vê-se que o emprego de antenas inteligentes no enlace direto de redes celulares WCDMA proporciona uma melhor qualidade de serviço ao sistema. Observa-se que o cenário de referência apresenta desempenho semelhante ao apresentado pela estratégia CDAC para baixas cargas, contudo, à proporção que a carga aumenta o benefício das antenas torna-se mais evidente. Diferentemente, o cenário

TABELA IV
PARÂMETROS DE CONFIGURAÇÃO DO CENÁRIO DE TESTE DE REFERÊNCIA.

Parâmetro	Valor
<i>Ambiente de Simulação</i>	
Grid celular	grid toroidal - técnica wrap-around
Raio celular	0,9 km
Classe de mobilidade pedestre	velocidade de 3 km/h
Classe de serviço de voz	taxa de transmissão de 12,2 kbps
Desvanecimento de larga escala	modelo de perda de propagação Okumura-Hata e sombreamento com correlação espacial
Desvanecimento de pequena escala	ambiente de teste veicular [15]
<i>controle de potência de laço aberto</i>	
E_b/N_0	6,5 dB, para o serviço de voz no enlace direto
Ganho de processamento	25 dB, para o serviço de voz no enlace direto
<i>Controle de potênci de laço fechado</i>	
Frequência de atuação	1500 Hz
Modo de operação	modo de operação 0 (zero)
Passo de atualização	1 dB
<i>Processo de soft handover do controle de mobilidade</i>	
Tamanho do AS	um setor
Reporting Time	um TTI
Janela de filtragem	quatro frames
<i>Crítérios de Qualidade</i>	
Probabilidade de bloqueio	inferior a 2 %
Probabilidade de apagamento de quadro	inferior a 2 %

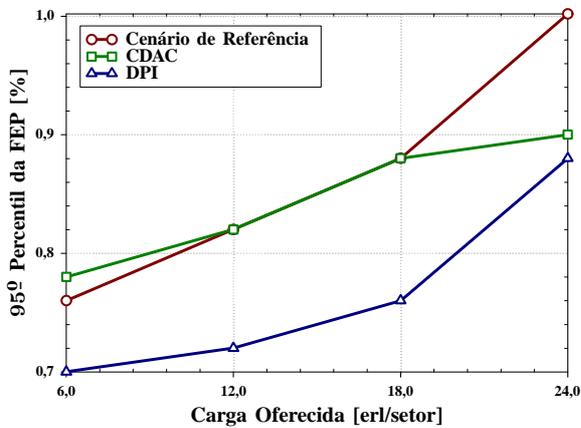


Fig. 1. Probabilidade de apagamento de quadro para a classe de serviço de voz com taxa de transmissão de 12,2 kbps.

de teste que utiliza a estratégia DPI apresenta o melhor desempenho para todas as cargas avaliadas.

O ganho de qualidade experimentado pelos usuários contemplados com antenas inteligentes deve-se a minimização da interferência radiada na interface aérea dos cenários avaliados, independentemente da estratégia de designação do benefício que foi empregada, ou seja, CDCA ou DPI.

A redução da interferência propagada no sistema decorre do ganho de apontamento proporcionado pela utilização de feixes direcionais. Note-se que em baixas cargas as potências

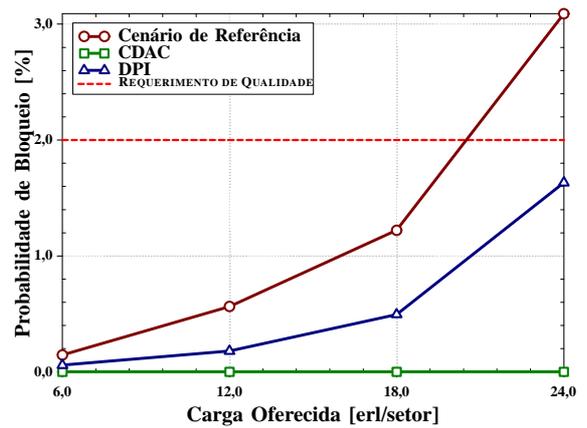


Fig. 2. Probabilidade de bloqueio para a classe de serviço de voz com taxa de transmissão de 12,2 kbps.

de transmissão praticadas por canal de tráfego ainda não estão muito elevadas, portanto a redução da potência de transmissão proporcionada pelo ganho de apontamento é menos evidente.

Por outro lado, observando-se a figura 2 vê-se claramente que a estratégia CDAC apresenta a menor probabilidade de bloqueio, uma vez que atua especificamente no momento da admissão de uma nova chamada objetivando contornar o iminente bloqueio do usuário contemplando.

Observa-se que a solução DPI também possibilita uma redução na probabilidade de bloqueio, ainda que não atue diretamente no algoritmo de admissão de chamadas. A redução da probabilidade de bloqueio deve-se a diminuição do perfil de interferência do sistema, pois o emprego desta técnica diminui consideravelmente o requerimento de potência de transmissão do canal de tráfego dos usuários.

A figura 3 mostra o 95º percentil da utilização dos recursos de potência de transmissão da base em cada um dos cenários avaliados. Examinando-se atentamente esta figura verifica-se a redução da interferência propagada na interface de rádio que é promovida com a utilização das antenas inteligentes.

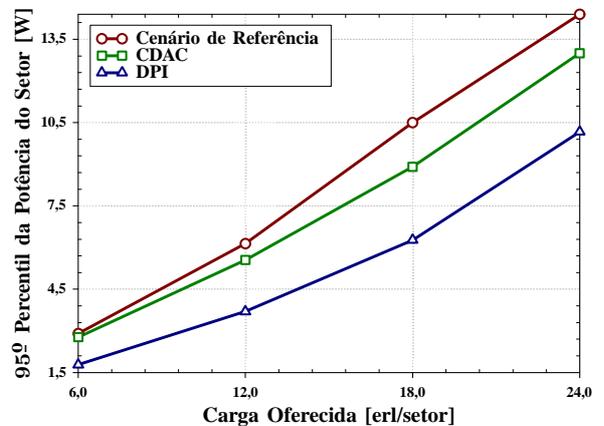


Fig. 3. Utilização dos recursos de potência de transmissão do setor celular no enlace direto. Considera-se a classe de serviço de voz com taxa de transmissão de 12,2 kbps.

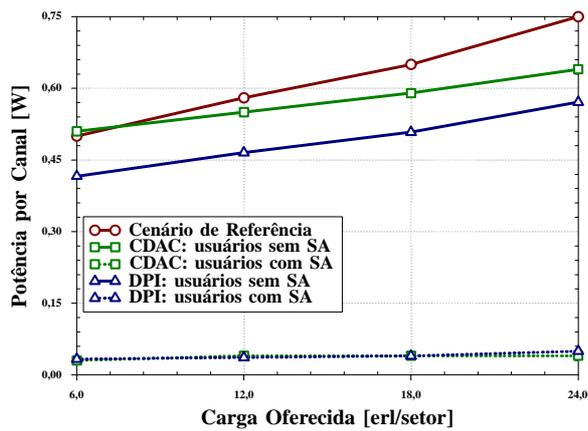


Fig. 4. 95º percentil da potência de transmissão por canal de tráfego durante a chamada em curso. Considera-se a classe de serviço de voz com taxa de transmissão de 12,2 kbps.

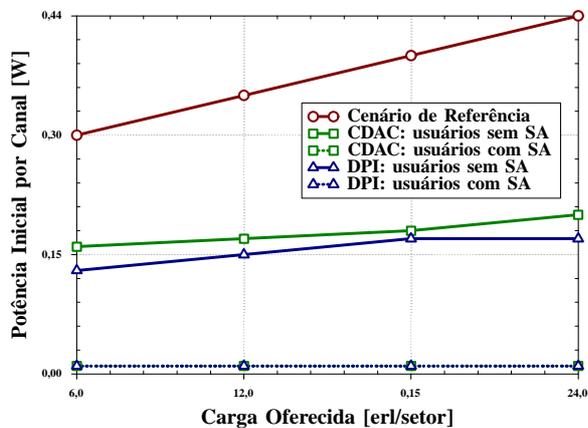


Fig. 5. 95º percentil da potência de transmissão por canal de tráfego no momento do estabelecimento da chamada. Considera-se a classe de serviço de voz com taxa de transmissão de 12,2 kbps.

Inspecionando-se atentamente as figuras 4 e 5 verifica-se que tanto os usuários contemplados diretamente com o ganho das antenas inteligentes quanto os demais usuários experimentam reduções significativas nos valores de potência de transmissão que são praticados no acesso à rede ou durante a chamada em curso. Contudo, os usuários beneficiados diretamente com o ganho de apontamento experimentam os maiores ganhos. A seletividade espacial viabilizada pelo apontamento do feixe reduz a potência requerida por cada enlace de rádio individualmente.

Neste momento, surge uma dúvida relevante: se as estratégias CDAC e DPI fazem uso da mesma estrutura formatadora de feixes direcionais, ou seja, o ganho de apontamento é o mesmo quando se considera direções iguais para as duas estratégias. Então, por que a utilização dos recursos de potência de transmissão da base é menor com a estratégia DPI? Para responder esta indagação deve-se observar a implementação de cada solução. Enquanto a solução CDAC contempla usuários que seriam provavelmente bloqueados, mas que não são necessariamente os principais interferentes do sistema, a estratégia DPI contempla

especificamente esta segunda categoria de usuários, que demandam a maior parte dos recursos.

A figura 6 apresenta a percentagem de usuários satisfeitos, empregando-se cada uma das estratégias de designação do benefício das antenas inteligentes. Consta-se que o grau de satisfação experimentado pelos usuários aumenta com a diminuição da interferência propagada na interface de rádio da rede. Verifica-se que o emprego da estratégia DPI propicia um melhor desempenho para a rede, uma vez que atua diretamente nos principais interferentes.

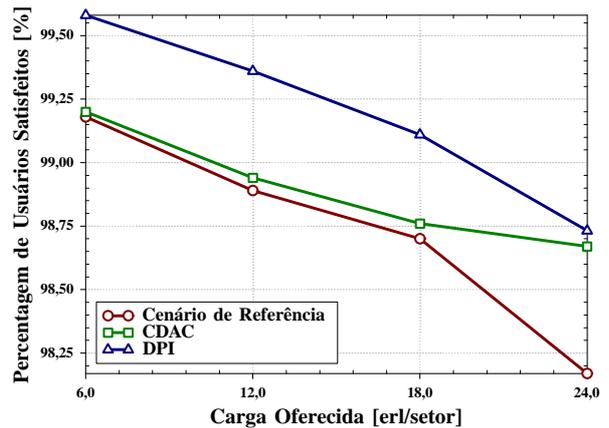


Fig. 6. Percentagem de usuários satisfeitos para as estratégias de designação dos usuários contemplados com antenas inteligentes. Considera-se usuários da classe de serviço de voz com taxa de transmissão de 12,2 kbps deslocando-se a 3 km/h.

Dessas investigações depreende-se que o benefício da redução da interferência propagada na interface aérea é mais relevante para melhorar o desempenho do sistema que o simples ganho de apontamento das antenas inteligentes. Por isso, em uma situação na qual nem todos os usuários podem ser contemplados com antenas inteligentes e a qualidade do serviço experimentado pela rede é um fator crítico, a identificação dos principais interferentes e a contemplação com antenas inteligentes destes usuários melhora significativamente o desempenho da rede.

V. IMPACTO DAS ANTENAS INTELIGENTES NO CENÁRIO COM VARIAÇÃO DO ALCANCE CELULAR

As antenas inteligentes podem ser apropriadamente utilizadas para aumentar a cobertura em sistemas celulares [16], [17]. Dessa forma, emprega-se a estrutura formatadora de feixes direcionais, conforme as estratégias de designação CDAC e DPI, no cenário com variação do alcance celular. Objetiva-se avaliar a aplicabilidade e a eficiência dessas soluções como forma de aumentar a cobertura em redes WCDMA, mediante simulações dinâmicas.

A figura 7 apresenta a probabilidade de apagamento de quadro decorrente da variação do alcance celular. Ainda que o limite de qualidade não tenha sido atingido por nenhuma das soluções, em nenhum dos raios considerados, observa-se claramente ganhos decorrentes da utilização das antenas inteligentes no enlace direto de redes celulares WCDMA.

Além disso, estes ganhos tornam-se mais evidentes à medida que o raio aumenta, pois com o aumento do alcance celular requisita-se da base mais potência de transmissão e o ganho de apontamento do arranjo de antenas torna-se mais necessário.

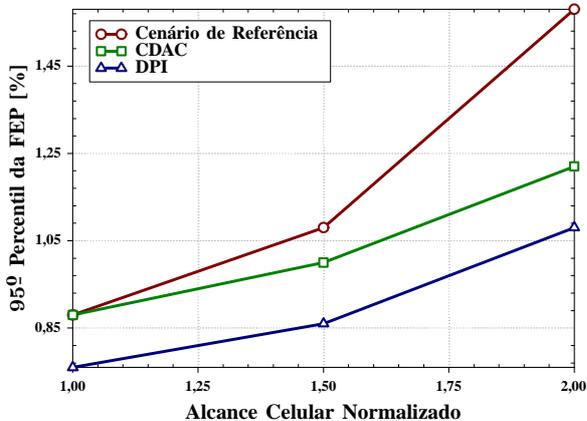


Fig. 7. Probabilidade de apagamento de quadro para a classe de serviço de voz com taxa de transmissão de 12,2 kbps. Considera-se uma carga oferecida à rede celular de 18,0[erl/setor].

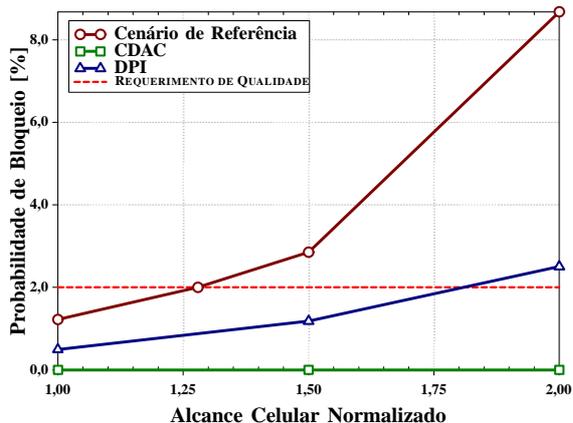


Fig. 8. Probabilidade de bloqueio para a classe de serviço de voz com taxa de transmissão de 12,2 kbps. Considera-se uma carga oferecida à rede celular de 18,0[erl/setor].

A figura 8 apresenta a probabilidade de bloqueio que corresponde a mesma variação do alcance celular. Deve-se observar que estes cenários são limitados por bloqueio. A configuração de referência da rede celular encontra-se limitada para um raio de aproximadamente 1,28 km, considerando-se a carga oferecida de 18[erl/setor], ao passo que os cenário que empregam as antenas inteligentes encontram seu limite para alcances celulares bem superiores.

A solução CDAC mantém o bloqueio nulo em todos os raios avaliados. Este fato deve-se a redução da quantidade de energia radiada na interface de rádio que é viabilizada pelo ganho de apontamento.

A figura 9, que mostra utilização dos recursos de potência de transmissão da base com o emprego de antenas inteligentes, ratifica esta afirmação. Confrontando-se as figuras

7 e 9 torna-se evidente que reduzindo-se a quantidade de interferência propagada no sistema (potência de transmissão da base) obtém-se ganhos de qualidade em termos de FEP.

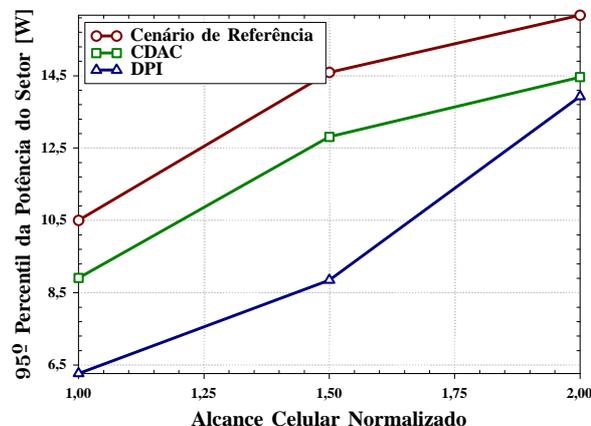


Fig. 9. Utilização dos recursos de potência de transmissão do setor celular no enlace direto. Considera-se a classe de serviço de voz com taxa de transmissão de 12,2 kbps.

O ganho de apontamento do feixe direcional e a diminuição da interferência radiada na interface de rádio do sistema elevam os níveis de SINR no receptor, melhorando a FEP e refletindo-se na qualidade do serviço experimentado pelos usuários. A figura 10 apresenta a percentagem de usuários satisfeitos em decorrência do emprego de antenas inteligentes. Vê-se claramente o aumento da satisfação percebida pelos usuários com a utilização das antenas inteligentes.

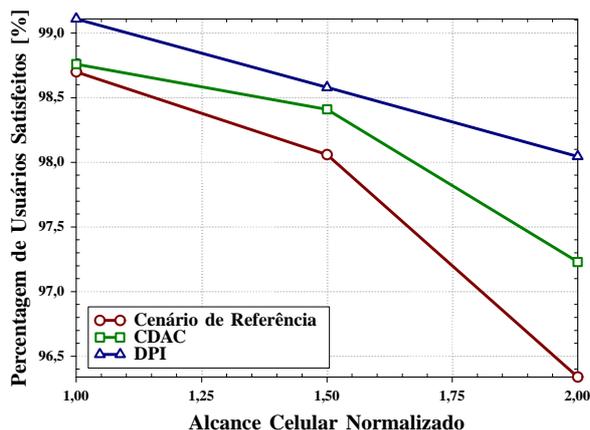


Fig. 10. Percentagem de usuários satisfeitos para as estratégias de designação dos usuários contemplados com antenas inteligentes. Considera-se usuários da classe de serviço de voz com taxa de transmissão de 12,2 kbps deslocando-se a 3 km/h.

Inspecionando-se detidamente a figura 10 vê-se que a estratégia DPI proporciona maior satisfação aos usuários que a solução CDAC. Dessa forma, conta-se que a redução da interferência radiada no enlace direto constitui a principal vantagem da utilização das antenas inteligentes em redes celulares WCDMA.

VI. CONCLUSÕES

Neste artigo investigou-se a exequibilidade das antenas inteligentes como solução para melhorar o desempenho do enlace direto de redes celulares WCDMA, mediante o emprego das estratégias CDAC e DPI de designação dos usuários contemplados pelo benefício do arranjo de antenas. Dessas investigações verificou-se que as antenas inteligentes constituem solução viável para melhorar o desempenho de redes celulares WCDMA. O ganho de apontamento proporcionado pelo feixe direcional reduz significativamente os níveis de probabilidade de apagamento de quadro e probabilidade de bloqueio experimentados pelo usuários, ver figuras 1 e 2, página 3.

Dessa forma, não só os usuários diretamente contemplados com antenas inteligentes mas também os demais usuários tem a potência de transmissão praticada por canal de tráfego no enlace direto reduzida.

Conforme a categoria do usuário contemplado com antenas inteligentes obtém-se ganhos distintos de qualidade. Utilizando a estratégia CDAC, prestigia-se aqueles usuários na iminência de serem bloqueados, impactando diretamente na probabilidade de bloqueio. Por outro lado, empregando-se a solução DPI os principais interferentes são contemplados reduzindo mais significativamente a probabilidade de apagamento de quadro. Finalmente, as antenas inteligentes podem ser eficientemente empregadas para aumentar a cobertura

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi desenvolvido no contexto da cooperação técnico-científica entre Ericsson e UFC por meio do grupo de pesquisa em telecomunicações sem-fio, GTEL (ERBB/UFC.07 - URL: <http://www.ericsson.ufc.br>). Emanuel B. Rodrigues teve o suporte financeiro da CAPES - Brasil. Carlos H. M. de Lima e Vicente A. de Sousa Jr. tiveram suporte financeiro da FUNCAP - Brasil.

REFERÊNCIAS

- [1] G. V. Tsoulos, *Adaptive Antennas for Wireless Communications*, 1ª edição. Wiley-IEEE Computer Society Pr, Janeiro 2001.
- [2] T. S. Rappaport e J. C. Liberti, *Smart Antennas for Wireless Communications: IS-95 and Third Generation CDMA Applications*, 1ª edição. IEEE, Novembro 1999.
- [3] M. Schacht, A. Dekorsy e P. Jung, "System Capacity from UMTS Smart Antenna Concepts," *IEEE Vehicular Technology Conference*, 2003.
- [4] R. Martínez, D. Trosa, L. de Haro e M. Calvo, "Smart Antennas Performance Evaluation and Capacity Increase for WCDMA UMTS," *IEEE VTS 53rd Vehicular Technology Conference*, vol. 1, pp. 147–151, Maio 2001.
- [5] T. Baumgartner, T. Neubauer e E. Bonek, "Performance of Downlink Beam Switching for UMTS FDD in the Presence of Angular Spread," *IEEE International Conference on Communications*, vol. 2, pp. 851–855, Maio 2002.
- [6] J. Barta, M. Ericson, B. Goransson e B. Hagerman, "Interference Distributions in Mixed Service WCDMA Systems-Opportunities for Advanced Antenna Systems," *IEEE VTS 53rd Vehicular Technology Conference*, vol. 1, pp. 263–267, Maio 2001.
- [7] G. V. Tsoulos, M. A. Beach e S. C. Swales, "Intelligent Antennas for DS-CDMA Systems," *Sixth IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, vol. 3, pp. 945–949, Setembro 1995.
- [8] G. Tsoulos, M. Beach e S. Swales, "Adaptive Antennas for Third Generation DS-CDMA Cellular Systems," *IEEE 45th Vehicular Technology Conference*, vol. 1, pp. 45–49, Julho 1995.
- [9] B. Goransson, B. Hagerman e J. Barta, "Adaptive Antennas in WCDMA Systems-Link Level Simulation Results Based on Typical User Scenarios," *52nd IEEE Vehicular Technology Conference*, vol. 1, pp. 157–164, Setembro 2000.
- [10] B. Goransson, B. Hagerman, S. Petersson e J. Sorelius, "Advanced Antenna Systems for WCDMA: Link and System Level Results," *The 11th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, vol. 1, pp. 62–66, Setembro 2000.
- [11] J. Liberti, J.C. e T. Rappaport, "Analytical Results for Capacity Improvements in CDMA," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 43, pp. 680–690, Agosto 1994.
- [12] J. Ramiro-Moreno, K. Pedersen e P. Mogensen, "Directional Power Based Admission Control for WCDMA Systems Using Antenna Arrays," *IEEE 53rd Vehicular Technology Conference*, vol. 1, pp. 53–57, Maio 2001.
- [13] K. Pedersen e P. Mogensen, "Directional Power-Based Admission Control for WCDMA Systems Using Beamforming Antenna Array Systems," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 51, pp. 1294–1303, Novembro 2002.
- [14] A. Osseiran e M. Ericson, "On Downlink Admission Control with Fixed Multi-Beam Antennas for WCDMA System," *The 57th IEEE Semiannual Vehicular Technology Conference*, vol. 2, pp. 1203–1207, Abril 2003.
- [15] UMTS, "Selection Procedures for the Choice of Radio Transmission Technologies of the UMTS," TR 101.112 versão 3.2.0 - UMTS 30.03, Relatório técnico, Abril 1998.
- [16] G. Tsoulos, "Smart Antennas for Mobile Communication Systems: Benefits and Challenges," *Electronics & Communication Engineering Journal*, vol. 11, no. 2, pp. 84–94, Abril 1999.
- [17] J. Barta, S. Petersson e B. Hagerman, "Downlink Capacity and Coverage Trade-Offs in WCDMA with Advanced Antenna Systems," *IEEE 55th Vehicular Technology Conference*, vol. 3, pp. 1145–1149, Maio 2002.