

AJUSTES CURRICULARES PARA CURSOS DE ENGENHARIA NA ÁREA DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÕES E TELECOMUNICAÇÕES

Carlos Marcelo Pedroso – c.pedroso@pucpr.br

Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Centro de Ciências Exatas e Tecnologia
Rua Imaculada Conceição, 1155 - Prado Velho
CEP 80215-901 – Curitiba – Paraná

***Resumo:** O perfil de tráfego produzido por sistemas de comunicação digital em uso atualmente alterou radicalmente as técnicas de projeto, análise e operação de tais sistemas. Foi observado que o tráfego produzido por sistemas de comunicação digital pode ser caracterizado por modelos auto-similares – que divergem substancialmente dos modelos Markovianos utilizados tradicionalmente até meados da década de 1990. De modo geral, os cursos de Engenharia no Brasil ainda não se adaptaram às necessidades impostas pelas novas descobertas. Este artigo apresenta uma proposta de ajuste curricular para formação dos Engenheiros com competência para realização de projeto, análise, operação e ensino de Sistemas de Comunicações considerando as novas descobertas na área de modelagem do tráfego de sistemas de comunicação digital.*

***Palavras-chave:** Sistemas de comunicação, currículo, auto-similar*

1 INTRODUÇÃO

A área de modelagem e desempenho de redes de comunicação de dados recebeu grande atenção dos pesquisadores nos últimos 10 anos. A atividade é resultante de uma importante descoberta: o tráfego agregado em redes de comunicação de dados, via de regra, segue um modelo auto-similar.

Esta descoberta abriu novos caminhos para análise de desempenho de sistemas de redes de comunicação, incluindo-se a transmissão de dados, voz e imagem. O fenômeno da auto-similaridade do tráfego agregado em redes de comunicação digital descrito por 1993 [Leland et al. 1994] estabeleceu uma noção importante para a compreensão da natureza dinâmica do tráfego [Willinger e Park 2000]. Um consenso geral reside no fato que o tráfego real não segue mais os modelos Markovianos em nenhum nível de agregação. Isto levou ao desenvolvimento de novas técnicas para realizar o dimensionamento e análise de desempenho de redes de comunicações.

Os currículos básicos dos cursos de Engenharia no Brasil, de modo geral, abordam apenas os modelos Markovianos. Mesmo em cursos de Pós Graduação ainda não existe a adaptação dos currículos às novas descobertas. Como conseqüência, os Engenheiros formados possuem apenas parte das habilidades necessárias para realizar a análise de desempenho e o dimensionamento de recursos para sistemas de comunicação e telecomunicações em uso

atualmente no Brasil. Os cursos que formam profissionais com competência profissional para atuação nesta área são: Engenharia de Telecomunicações, Engenharia de Comunicações, Engenharia de Computação. A Resolução 218/73 do Conselho Federal de Engenharia, Arquitetura e Agronomia [Confea 1973] determina, em seu artigo 9º as competências do Engenheiro Eletrônico, modalidade Eletrônica ou Comunicações – que é definido como o projeto, análise, operação e ensino de *sistemas de comunicação e telecomunicações* (entre outras áreas). A Resolução 380/93 [Confea 1993] estende estas competências ao Engenheiro de Computação. Finalmente, a Resolução 1.010 [Confea 2005], que deve entrar vigor em junho de 2007, mantém esta competência ao Engenheiro de Comunicação, Telecomunicações e Computação.

Este trabalho apresenta uma proposta de currículo para formação de Engenheiros que irão trabalhar com análise de desempenho e dimensionamento de sistemas de comunicação e telecomunicações. O autor reconhece que a inserção de novas disciplinas nos cursos de Engenharia pode ser complexa devido a limitações de carga horária e o alto nível de especialização produzido pela adoção do currículo aqui proposto. No entanto, a recomendação realizada neste trabalho pode ser implementada em cursos de pós-graduação ou como disciplinas optativas em cursos de graduação. Adicionalmente, os currículos existentes nos cursos podem ser adaptados para tratar dos temas de estudo necessários.

Além desta seção introdutória, este trabalho está organizado da seguinte forma: a Seção 2 resume as principais descobertas na área de tráfego de sistemas de comunicações, a Seção 3 os principais temas de estudo necessários para a compreensão dos modelos auto-similares. A Seção 4 apresenta o currículo atualmente em uso, enquanto a Seção 5 mostra a proposta de alterações curriculares. Finalmente, as conclusões são apresentadas na Seção 6.

2 A AUTO-SIMILARIDADE EM SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E TELECOMUNICAÇÕES

A caracterização clássica de tráfego seguia, via de regra, um modelo Markoviano (ou processo de Poisson). Nesta teoria, o tráfego de entrada não possui memória (por exemplo, a chegada de um novo pacote é independente de outros) e o intervalo entre chegadas segue uma distribuição exponencial. Este modelo pode ser facilmente contestado em uma rede de computadores através da observação do tráfego gerado por um aplicativo. Pode-se colocar o exemplo de um servidor de páginas na Internet: em uma conexão *HTTP*, onde em geral, uma solicitação de um cliente é respondida com a transmissão de uma seqüência de arquivos contendo hipertextos, sons, imagens e muitos outros conteúdos. Todas estas informações serão colocadas em mais de um pacote para transmissão. Desta forma, a chegada de um pacote não representa mais um evento independente; na realidade a chegada de um pacote aumenta a chance de chegada do próximo pacote. Este raciocínio mostra empiricamente que a hipótese da independência não pode ser considerada premissa válida para a modelagem de tráfego.

A primeira abordagem para resolver este problema foi a introdução do conceito de “trens de pacotes”, publicado em 1986 [Jain e Routhie 1986]. Este modelo assume que um grupo de pacotes percorre a rede como um trem, ao contrário do modelo Markoviano. O intervalo entre os pacotes dentro do trem seria muito pequeno, mas o intervalo entre os “trens de pacotes” continuava sendo um modelo Markoviano.

A inacurácia dos modelos existentes até meados da década de 1990 para descrever o tráfego agregado observado nas redes de computadores levou os pesquisadores à utilização de um modelo baseado em fractais, chamado auto-similar [Willinger e Park 2000]. Um objeto auto-similar preserva suas características independentemente da escala em que é observado.

Este objeto pode ser uma série temporal, uma imagem, um sistema dinâmico ou qualquer relação matemática de interesse. O modelo auto-similar foi estudado pelo matemático George Cantor no século XIX, em um estudo que o levou a teoria sobre fractais aprimorada por Benoit B. Mandelbrot.

A auto-similaridade foi detectada de modo independente por diversos pesquisadores em muitos sistemas de comunicação digital, por exemplo, servidores *Web*, redes *Ethernet*, sistemas de transmissão de voz sobre *IP*, redes de acesso (como *ADSL*, *Asymmetric Digital Subscriber Line*), entre outros.

2.1 Conseqüências da Auto-Similaridade do Tráfego de Redes de Comunicações

O termo auto-similar descreve a geometria de objetos em que uma pequena parte quando ampliada se parece com o todo [Kaplan e Glass 1998]. Muitos objetos encontrados na natureza apresentam características auto-similares (ou fractais aproximados). Pode-se citar como exemplo a estrutura geométrica de nuvens, montanhas e árvores. Um objeto auto-similar sempre terá aparência semelhante, independentemente da ampliação em escala deste objeto.

A auto-similaridade do tráfego, observado em redes de comunicação, teve conseqüências importantes. Os modelos mais simples que utilizam a distribuição de Poisson (ou modelos Markovianos) tornaram-se imprecisos e as redes projetadas sem considerar os efeitos da auto-similaridade podem apresentar problemas. Para o dimensionamento de sistemas, podem-se enumerar duas conseqüências principais: (a) elementos de rede operando com tráfego auto-similar necessitam de um espaço maior em buffer e (b) a capacidade dos enlaces deve ser maior se comparado com o estimado por modelos Markovianos.

Vale a pena citar que os modelos baseados na teoria de filas clássica não podem ser utilizados em sistemas com tráfego auto-similar. A teoria de filas é utilizada para a modelagem de capacidade em sistemas de comutação de voz. No entanto, após a digitalização do sistema e com o uso de sistemas Voz sobre IP (Voice over IP, VoIP REF), a comunicação de tais sistemas também adquire características auto-similares.

Desta forma, os engenheiros com competência para atuação na área devem possuir a formação básica necessária – e esta normalmente não está prevista nos currículos dos cursos de graduação ou pós-graduação na área oferecidos no Brasil.

3 TEMAS DE ESTUDO

Vários métodos tem sido utilizados para identificar a auto-similaridade de uma série temporal. Esta seção irá descrever os vários assuntos necessários para a formação do Engenheiro com competência na área.

3.1 Processos com dependência de longa duração

Processo com dependência de longa duração ou Long Range Dependence (*LRD*) é o fenômeno que ocorre quando observações de um evento são significativamente correlacionadas com observações muito distantes no tempo. Este fenômeno é de particular interesse na modelagem de tráfego, uma vez que as pesquisas comprovaram que o tráfego em redes modernas de comunicação freqüentemente apresenta *LRD* [Leland et al. 1994].

Em um processo *LRD* a função de auto-correlação ρ_k decai para zero muito lentamente em função do deslocamento k . De acordo com [Willinger e Park 2000] processos auto-similares apresentam *LRD*.

Hurst foi um famoso hidrólogo interessado no Egito e no rio Nilo que mostrou em 1951 que o nível do rio Nilo é uma seqüência LRD [Koutsoyiannis 2004]. Por razões históricas, o parâmetro de Hurst H é utilizado para representar a auto-similaridade. Um processo auto-similar do ponto de vista estocástico é definido por $X_{at} \cong_d a^H X_t$, significando que um processo temporal X_t se re-escalado por uma constante qualquer a terá aproximadamente a mesma distribuição de probabilidade do processo original, tendo sua amplitude modificada por um fator a^H .

Uma das explicações sobre as causas do tráfego de telecomunicações auto-similar é a natureza dos objetos transmitidos na Internet, como o tamanho de arquivos, tamanho de objetos na Web, ritmos de chegada de conexões ou mesmo o tempo que o usuário processa informações são descritos por distribuições de cauda pesada [Crovella e Bestavros 1995], o que torna o tráfego total observado uma série temporal com dependência de longa duração. Deste modo, existe uma íntima relação entre as distribuições de cauda pesada e processos com memória longa. A distribuição de Pareto é uma das principais distribuições de cauda pesada utilizada nos modelos.

3.2 Transformada Wavelet

Wavelets são funções matemáticas que seccionam os dados em diferentes componentes de frequência e então estudam cada componente com uma resolução ajustada à sua escala. Elas possuem vantagens sobre os métodos tradicionais de Fourier para a análise de situações onde o sinal contém descontinuidades e picos. As Wavelets foram desenvolvidas independentemente nos campos da matemática, física quântica, engenharia elétrica e geologia sísmica [Graps 1995].

A transformada de Wavelet é utilizada como a principal ferramenta para identificação da auto-similaridade do tráfego de redes de comunicações. A idéia fundamental é realizar a análise de acordo com a escala. Wavelets são funções com determinadas propriedades que as tornam adequadas a servirem de base para decomposição de outras funções, assim como senos e cossenos servem de base para decomposições de Fourier. Quando o sinal é examinado em uma janela grande e pequena, certas características de interesse podem ser identificadas.

Em [Abry e Veitch 1998] é estabelecido um método para determinação do parâmetro de Hurst de uma série utilizando a transformada Wavelet. O método é relativamente imune a ruído e a não estacionariedade dos dados. O parâmetro de Hurst de um conjunto de dados é calculado a partir da densidade espectral da transformada Wavelet.

3.3 Simulações computacionais

Devido a dificuldade no tratamento matemático da auto-similaridade, tem se tornado comum o uso de simulações computacionais para realizar a previsão de comportamento dos sistemas de comunicações. Normalmente são utilizadas técnicas de simulação a eventos discretos [Jain 1991][Banks et al. 2001].

Pode-se realizar uma analogia entre a técnica de simulação e o cálculo numérico. Os resultados de uma simulação computacional representam uma solução numérica para um problema de difícil solução através de métodos analíticos, o que normalmente ocorre em sistemas auto-similares.

Para realizar a análise através desta abordagem, o Engenheiro deve conhecer as principais abordagens de implementação de simulações computacionais orientadas a eventos discretos e os métodos estatísticos de análise dos resultados (intervalos de confiança, análise de erros, entre outros).

3.4 Modelos utilizados para representar o tráfego

Podem-se dividir os modelos em duas categorias: com dependência de longa duração e dependência de curta duração. Em geral os cursos de graduação e pós-graduação no Brasil oferecem formação apenas para os modelos com dependência de curta duração.

Modelos com dependência de curta duração

Cadeias de Markov: Segundo [Taylor e Karlin 1998], um processo de Markov X_t é um processo estocástico tal que, dado o valor de X_t , os valores de X_s para $s > t$ não são influenciados por valores de X_u para $u < t$. Ou seja, a probabilidade de qualquer comportamento futuro do processo, quando o estado corrente é conhecido exatamente, não é alterado por qualquer conhecimento adicional sobre o estado passado do processo.

Modelos baseados em regressão: O modelo ARIMA (Auto Regressive Integrated Moving Average) e o modelo SARIMA (Seasonal ARIMA) são estudados por Jenkins e Box em [Box, Jenkine e Reineel 1994]. Estes modelos se baseiam na dependência temporal do valor X_t em função dos elementos X_{t-k} e foram construídos a partir da união dos modelos Auto Regressivo AR(p) e de Média Móvel MA(q).

Teoria de Filas: A teoria de filas envolve diversos modelos estabelecidos a partir da caracterização do processo de chegadas e de atendimento. Para processos com dependência de curta duração estes modelos estão bem resolvidos e podem ser aplicados em uma grande gama de situações. No entanto, considerando-se sistemas onde os processos de chegada ou de atendimento são auto-similares existe grande dificuldade no estabelecimento de resultados analíticos.

Modelos dependência de longa duração (ou com memória longa)

Pode se dividir os modelos de tráfego LRD em duas categorias: aqueles que procuram captar as características do tráfego sem tentar explicar porquê ele possui características LRD, como por exemplo, os modelos FARIMA (Fractional Arima), MMPP (Markov Modulated Poisson Process), ou Movimento Browniano Fracionário, e modelos que procuram capturar o comportamento através de uma aproximação do fenômeno gerador da LRD, como o modelo ON-OFF com distribuições e cauda pesada. Normalmente estes modelos captam as características auto-similares do tráfego e são mais adequados para o uso em sistemas de comunicações modernos.

4 CURRÍCULOS ATUALMENTE EM USO

O estudo realizado mostra que, em geral, os cursos de graduação oferecidos por universidades brasileiras ainda não abordam o assunto. A Tabela 1 relaciona algumas universidades que oferecem cursos de Engenharia de Telecomunicações com a oferta dos assuntos identificados. A análise foi realizada a partir do acesso a ementas disponíveis na Internet em maio de 2007.

Embora a Tabela 1 não liste exaustivamente todos os cursos na área, os dados apresentados podem ser tomados como um exemplo. Percebe-se que as universidades de referência mundial oferecem a formação no tema, normalmente através de disciplinas optativas ou em conjunto com cursos de pós-graduação. De fato, esta é uma vantagem de projetos pedagógicos flexíveis - caso a oferta não fosse optativa o número de horas do curso de graduação tornar-se-ia muito grande.

	Engenharia de Telecom. PUCRIO	Engenharia de Telecom. UFPR	Engenharia de Telecom USP	Engenharia de Telecom. PUCPR	Engenharia Elétrica UNICAMP	Engenharia Elétrica UFRGS	Engenharia Telecom. IME	University of Southern California	Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne	University of Victoria	Miami University	Queen Mary University
Modelos Markovianos	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Teoria de Filas	*	*		*	*		*	*	*	*	*	*
Modelos baseados em regressão		*			*			*	*	*	*	*
Fractais								*	*	*		*
Auto-Similaridade								*	*	*		*
Distribuições de cauda pesada								*	*	*		*
Transformada Wavelet								*	*	*		*
Modelos com dependência de longa duração								*	*	*		*

Tabela 1 - Tópicos ofertados por curso

5 PROPOSTA DE CURRÍCULO

Como resultado das necessidades impostas pelas novas descobertas na área, os novos assuntos a serem abordados devem ser reunidos em uma estrutura curricular progressiva e encadeada. Foram incluídos novos temas de estudo às disciplinas de Estatística e Modelos de Probabilidade. Ambas as disciplinas estão presentes em cursos de Engenharia da área. As demais disciplinas podem ser oferecidas na modalidade de optativas ou em cursos de pós-graduação caso não se deseje realizar a especialização do Engenheiro formado.

Estatística e Probabilidade

Estatística descritiva. Espaço de probabilidade. Independência. Esperança matemática. Estimativa Probabilidade condicional. Variável aleatória. Distribuição de probabilidade. Estimativa de Parâmetros, Inferência Estatística, Correlação e Regressão Linear, Planejamento de Experimentos. Testes de hipóteses e de aderência. Controle Estatístico de Processos. Lei dos Grandes Números e Teorema do Limite Central.

Modelos Probabilísticos

Distribuições de probabilidade. Distribuições importantes na modelagem de sistemas de comunicação: Exponencial, Poisson, Weibull, Pareto. Processos Estocásticos. Cadeias de Markov. Estacionariedade. Séries temporais: modelos AR, MA, ARIMA.

Teoria de Filas

Modelos de Filas. Teorema de Little. Processos de chegada e atendimento. Principais modelos: M/M/1, M/M/c, M/G/1. Sistemas com perdas. Disciplina da fila: FIFO, *Process sharing*. Redes de filas. Aplicações da teoria de filas na área de redes de comunicações.

Simulação de Sistemas

Estatística para simulações: geração de números aleatórios, análise de aleatoriedade. Técnicas de implementação de simulações e avanço de tempo. Sistemas terminais e não terminais. Transiente. Determinação do período de *warm-up*. Número desejável de rodadas de simulação. Simulações paralelas e distribuídas. Técnicas para otimização de simulações. Softwares de simulação de redes de comunicações.

Modelagem e Avaliação de Desempenho de Redes de Comunicações

Teoria do tráfego de telecomunicações. Auto-similaridade em redes de comunicações. Conseqüências da auto-similaridade e da dependência de longa duração. Estacionariedade. Fractais e auto-similaridade. Identificação de sistemas auto-similares: parâmetro de Hurst, Wavelets. Modelos: FARIMA, Random Walk, Movimento Browniano fracionário, Processos Poisson Modulados por Markov (MMPP), On-Off com distribuição de cauda pesada. Uso de simulações para avaliação de desempenho.

Recomenda-se que as disciplinas sejam encadeadas de acordo com o diagrama mostrado na Figura 1, iniciando com a disciplina de Estatística e probabilidade.

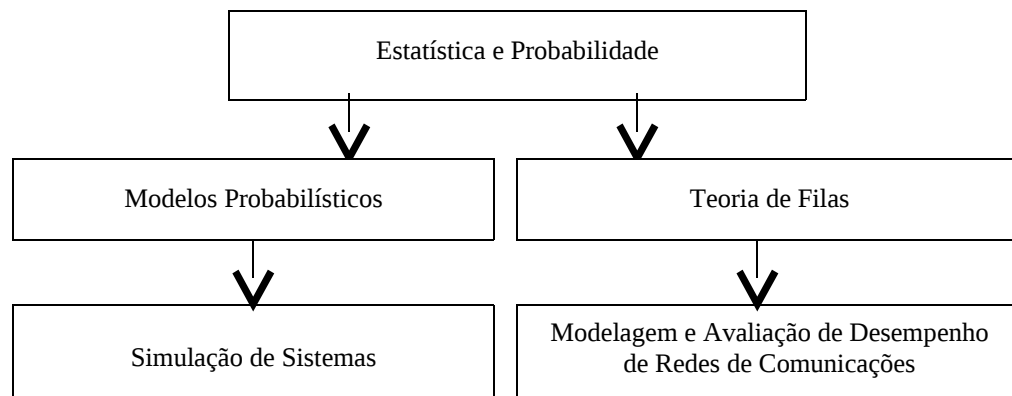


Figura 1 – Encadeamento sugerido entre as disciplinas.

As disciplinas relacionadas pela Figura 1 oferecem a formação na área de avaliação de desempenho de sistemas de comunicação e telecomunicações. Além disso, os currículos devem oferecer a formação tradicional na área de teoria de comunicações, redes de computadores, sistemas ópticos, sinais e sistemas, entre outros grandes temas da área. Estes temas não foram incluídos – no entanto, são áreas correlatas ao tema aqui tratado. É importante citar que o ensino de Redes de Computadores e Sistemas de Comunicação, em diversos aspectos, é complementar e dependente da visão dada pela estrutura curricular aqui recomendada. Adicionalmente, os temas de estudo que constam nas disciplinas apresentadas podem ser utilizados para compor disciplinas de um curso já existente, desde que haja carga horária suficiente para abordar os novos temas.

6 CONCLUSÕES

Este artigo mostrou que a evolução na área de modelagem e avaliação de desempenho de redes de comunicações não foi acompanhada, de modo geral, pela atualização dos currículos ensino de graduação e pós-graduação no Brasil para formação de Engenheiros com competência na área.

Foram apresentados os temas necessários para a formação do Engenheiro com competência na área de projeto, análise, operação e ensino de Sistemas de Comunicações e Telecomunicações, bem como uma proposta de atualização de estrutura curricular considerando-se as descobertas recentes na área de modelagem de tráfego de redes de comunicação digital. A estrutura curricular proposta pode ser utilizada em cursos de graduação ou pós-graduação. Os tópicos de estudo propostos podem ser utilizados para complementar as disciplinas existentes em um curso, de modo a suprir as lacunas necessárias sem a necessidade de alterações curriculares radicais.

As disciplinas de formação técnica presentes tradicionalmente nos cursos da área não foram apresentadas porque não é necessária sua modificação. No entanto, é importante enfatizar que a formação básica proposta neste artigo é necessária para o estudo de tópicos com ênfase tecnológica como Redes de Computadores ou Sistemas Multimídia, entre outras.

Tipicamente os Engenheiros com competência nesta área atuam em operadoras de Telecomunicações, empresas com grandes redes (por exemplo, bancos) e fabricantes de equipamentos de comunicações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRY, P.; VEITCH, D. Wavelet analysis of long-range dependent traffic. *IEEE Transactions on Information Theory*, v. 44, n. 1, p. 2-15, January 1998.

BANKS, J. et al. *Discrete-event system simulation*. 3th. ed. New Jersey: Prentice Hall, 2001.

BOX, G.; JENKINE, G.; REINEEL, G. *Time Series Analysis*. 3th. ed. New York: Prentice-Hall, 1994.

CROVELLA, M.; BESTAVROS, A. Self-similarity in World Wide Web traffic: Evidence and possible causes. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, v. 5, n. 6, p. 835-846, 1995.

GRAPS, A. An introduction to Wavelets. *IEEE Computer. Sci. Eng.*, IEEE Computer Society Press, Los Alamitos, CA, USA, v. 2, n. 2, p. 50-61, 1995. ISSN 1070-9924.

JAIN, R. *The art of computer systems performance analysis: techniques for experimental design, measurement, simulation and modeling*. John Wiley & Sons, 1991.

JAIN, R.; ROUTHIE, S. Packet trains - measurements and a new model for computer network traffic. *IEEE Journal on Selected Areas in Communication*, v. 4, n. 6, p. 986 - 995, September 1986.

KAPLAN, D.; GLASS, L. *Understanding non Linear Dynamics*. 1st. ed. New York: Springer, 1998.

KOUTSOYIANNIS, D. *Hydrologic persistence and the Hurst phenomenon*. **The Encyclopedia of Water**. J. H. Lehr, Wiley, 2004.

LELAND, W. et al. On the self-similar nature of Ethernet traffic (extended version). *IEEE/ACM Transactions on Networking*, v. 2, n. 1, p. 1-15, February 1994.

CONFEA, **Resolução No 218** - *Discrimina atividades das diferentes modalidades profissionais da Engenharia, Arquitetura e Agronomia*. Confederação Nacional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia, junho de 1973

CONFEA, **Resolução No 380** - *Discrimina as atribuições provisórias dos Engenheiros de Computação ou Engenheiros Eletricistas com ênfase em Computação e dá outras providências*. Confederação Nacional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia, dezembro de 1993

CONFEA, **Resolução No 1.010**, *Dispõe sobre a regulamentação da atribuição de títulos profissionais, atividades, competências e caracterização do âmbito de atuação dos profissionais inseridos no Sistema Confea/Crea, para efeito de fiscalização do exercício profissional*. Confederação Nacional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia, agosto de 2005

TAYLOR, H.; KARLIN, S. *An Introduction to Stochastic Modeling*. 3rd. ed. [S.l.]: Academic Press, 1998.

WILLINGER, W.; PARK, K. *Self-similar network traffic and performance evaluation*. 1st. ed. New York: John Wiley & Sons, 2000.

CURRICULAR ADJUSTMENT FOR UNDERGRADUATE ENGINEERING COURSES IN COMMUNICATIONS AND TELECOMMUNICATIONS SYSTEMS

Abstract: *The traffic profile produced by digital communication systems currently in use radically modified the project, analysis and operation techniques of such systems. It was observed that the traffic produced for digital communication systems can be characterized by self-similar models - a very different approach if compared with the traditionally Markovian models used until middle of 1990s. In general way, the undergraduate Engineering courses in Brazil are not yet adapted to the requirements imposed for the new discoveries. This article presents a curricular proposal for undergraduate Engineers formation with ability for accomplishment project, analysis, operation and education of such Communications Systems considering the news in the digital communication traffic modeling.*

Key-words: *curriculum, engineer, self-similar.*