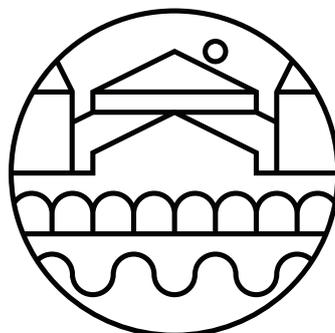


XXXV
SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
REDES DE COMPUTADORES
E SISTEMAS DISTRIBUÍDOS
15 a 19 de maio de 2017
Belém - Pará

Anais I WTICp/D 2017





X X X V

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
REDES DE COMPUTADORES
E SISTEMAS DISTRIBUÍDOS

15 a 19 de maio de 2017
Belém - Pará

Anais do I WTICp/D 2017

Workshop de TIC para Desenvolvimento

Editora

Sociedade Brasileira de Computação (SBC)

Organização

Aldebaro Barreto da Rocha Klautau Júnior

Michael Anthony Stanton (RNP)

Ronaldo Alves Ferreira (UFMS)

Antônio Jorge Gomes Abelém (UFPA)

Eduardo Coelho Cerqueira (UFPA)

Realização

Sociedade Brasileira de Computação (SBC)

Universidade Federal do Pará (UFPA)

Laboratório Nacional de Redes de Computadores (LARC)

Copyright ©2017 da Sociedade Brasileira de Computação
Todos os direitos reservados

Capa: Catarina Nefertari (PCT-UFPA)

Produção Editorial: Denis Lima do Rosário (UFPA)

Cópias Adicionais:

Sociedade Brasileira de Computação (SBC)

Av. Bento Gonçalves, 9500- Setor 4 - Prédio 43.412 - Sala 219

Bairro Agronomia - CEP 91.509-900 - Porto Alegre - RS

Fone: (51) 3308-6835

E-mail: sbc@sbc.org.br

I Workshop de TIC para Desenvolvimento (1: 2017: Belém, Pa).

Anais / I Workshop de TIC para Desenvolvimento – WTICp/D; organizado por Antônio Jorge Gomes Abelém, Eduardo Coelho Cerqueira, Ronaldo Alves Ferreira, Aldebaro Barreto da Rocha Klautau Júnior, Michael Anthony Stanton - Porto Alegre: SBC, 2017

30 p. il. 21 cm.

Vários autores

Inclui bibliografias

1. Redes de Computadores. 2. Sistemas Distribuídos. I. Abelém, Antônio Jorge Gomes II. Cerqueira, Eduardo Coelho III. Ferreira, Ronaldo Alves IV. Klautau, Aldebaro Barreto da Rocha, V. Stanton, Michael Anthony VI. Título.

Sociedade Brasileira da Computação

Presidência

Lisandro Zambenedetti Granville (UFRGS), Presidente

Thais Vasconcelos Batista (UFRN), Vice-Presidente

Diretorias

Renata de Matos Galante (UFGRS), Diretora Administrativa

Carlos André Guimarães Ferraz (UFPE), Diretor de Finanças

Antônio Jorge Gomes Abelém (UFPA), Diretor de Eventos e Comissões Especiais

Avelino Francisco Zorzo (PUC-RS), Diretor de Educação

José Viterbo Filho (UFF), Diretor de Publicações

Claudia Lage Rebello da Motta (UFRJ), Diretora de Planejamento e Programas Especiais

Marcelo Duduchi Feitosa (CEETEPS), Diretor de Secretarias Regionais

Eliana Almeida (UFAL), Diretora de Divulgação e Marketing

Roberto da Silva Bigonha (UFMG), Diretor de Relações Profissionais

Ricardo de Oliveira Anido (UNICAMP), Diretor de Competições Científicas

Raimundo José de Araújo Macêdo (UFBA), Diretor de Cooperação com Sociedades Científicas

Sérgio Castelo Branco Soares (UFPE), Diretor de Articulação com Empresas

Contato

Av. Bento Gonçalves, 9500

Setor 4 - Prédio 43.412 - Sala 219

Bairro Agronomia

91.509-900 – Porto Alegre RS

CNPJ: 29.532.264/0001-78

<http://www.sbrc.org.br>

Laboratório Nacional de Redes de Computadores (LARC)

Diretora do Conselho Técnico-Científico

Rossana Maria de C. Andrade (UFC)

Vice-Diretor do Conselho Técnico-Científico

Ronaldo Alves Ferreira (UFMS)

Diretor Executivo

Paulo André da Silva Gonçalves (UFPE)

Vice-Diretor Executivo

Elias P. Duarte Jr. (UFPR)

Membros Institucionais

SESU/MEC, INPE/MCT, UFRGS, UFMG, UFPE, UFCG (ex-UEPB Campus Campina Grande), UFRJ, USP, PUC-Rio, UNICAMP, LNCC, IME, UFSC, UTFPR, UFC, UFF, UFSCar, IFCE (CEFET-CE), UFRN, UFES, UFBA, UNIFACS, UECE, UFPR, UFPA, UFAM, UFABC, PUCPR, UFMS, UnB, PUC-RS, PUCMG, UNIRIO, UFS e UFU.

Contato

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Centro de Informática - CIn

Av. Jornalista Anibal Fernandes, s/n

Cidade Universitária

50.740-560 - Recife - PE

<http://www.larc.org.br>

Organização do SBRC 2017

Coordenadores Gerais

Antônio Jorge Gomes Abelém (UFPA)

Eduardo Coelho Cerqueira (UFPA)

Coordenadores do Comitê de Programa

Edmundo Roberto Mauro Madeira (UNICAMP)

Michele Nogueira Lima (UFPR)

Coordenador de Palestras e Tutoriais

Edmundo Souza e Silva (UFRJ)

Coordenador de Painéis e Debates

Luciano Paschoal Gasparly (UFRGS)

Coordenadores de Minicursos

Heitor Soares Ramos (UFAL)

Stênio Flávio de Lacerda Fernandes (UFPE)

Coordenadora de Workshops

Ronaldo Alves Ferreira (UFMS)

Coordenador do Salão de Ferramentas

Fabio Luciano Verdi (UFSCar)

Comitê de Organização Local

Adailton Lima (UFPA)

Alessandra Natasha (CESUPA)

Davis Oliveria (SERPRO)

Denis Rosário (UFPA)

Elisangela Aguiar (SERPRO)

João Santana (UFRA)

Josivaldo Araújo (UFPA)

Marcos Seruffo (UFPA)

Paulo Henrique Bezerra (IFPA)

Rômulo Pinheiro (UNAMA)

Ronedo Ferreira (META)

Thiêgo Nunes (IFPA)

Vagner Nascimento (UNAMA)

Comite Consultivo

Allan Edgard Silva Freitas (IFBA)

Antonio Alfredo Ferreira Loureiro (UFMG)

Christian Esteve Rothenberg (UNICAMP)

Fabíola Gonçalves Pereira Greve (UFBA)

Frank Augusto Siqueira (UFSC)

Jussara Marques de Almeida (UFMG)

Magnos Martinello (UFES)

Antonio Marinho Pilla Barcellos (UFRGS)

Moisés Renato Nunes Ribeiro (UFES)
Rossana Maria de Castro Andrade (UFC)

Mensagem dos Coordenadores Gerais

Sejam bem-vindos ao 35o Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos (SBRC 2017) e a acolhedora cidade das mangueiras - Belém / Pará.

Organizar uma edição do SBRC pela segunda vez no Norte do Brasil é um desafio e um privilégio por poder contribuir com a comunidade de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos do Brasil e do exterior. O SBRC se destaca como um importante celeiro para a discussão, troca de conhecimento e apresentação de trabalhos científicos de qualidade.

A programação do SBRC 2017 está diversificada e discute temas relevantes no cenário nacional e internacional. A contribuição da comunidade científica brasileira foi de fundamental importância para manter a qualidade técnica dos trabalhos e fortalecer a ciência, tecnologia e inovação no Brasil.

Após um cuidadoso processo de avaliação, foram selecionados 77 artigos completos organizados em 26 sessões técnicas e 10 ferramentas para apresentação durante o Salão de Ferramentas. Além disso, o evento contou com 3 palestras e 3 tutoriais proferidos por pesquisadores internacionalmente renomados, 3 painéis de discussões e debates, todos sobre temas super atuais, 6 minicursos envolvendo Big Data, sistemas de transportes inteligentes, rádios definidos por software, fiscalização e neutralidade da rede, mecanismos de autenticação e autorização para nuvens computacionais e comunicação por luz visível, bem como 10 workshops.

O prêmio “Destaque da SBRC” e uma série de homenagens foram prestadas para personalidades que contribuíram e contribuem com a área. O apoio incondicional da SBC, do LARC, do Comitê Consultivo da SBRC e da Comissão Especial de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos da SBC foram determinantes para o sucesso do evento. A realização do evento também contou com o importante apoio do Comitê Gestor da Internet no Brasil (CGI.br), do CNPq, da CAPES, do Parque de Ciência e Tecnologia Guamá, da Connecta Networking, da Dantec Telecom, da RNP e do Google. Nosso especial agradecimento à Universidade Federal do Pará (UFPA) e ao Instituto Federal do Pará (IFPA) pelo indispensável suporte à realização do evento.

Nosso agradecimento também para os competentes e incansáveis coordenadores do comitê do programa (Michele Nogueira/UFRP – Edmundo Madeira/UNICAMP), aos coordenadores dos minicursos (Stênio Fernandes/UFPE – Heitor Ramos/UFAL), ao coordenador dos workshops (Ronaldo Ferreira/UFMS), ao coordenador de painéis e debates (Luciano Gaspar/UFRGS), ao coordenador do Salão de Ferramentas (Fabio Verdi/UFSCar) e ao coordenador de palestras e tutoriais (Edmundo Souza e Silva/UFRJ). Destacamos o excelente trabalho do comitê de organização local coordenado por Denis do Rosário.

Por fim, desejamos a todos uma produtiva semana em Belém.

Antônio Abelém e Eduardo Cerqueira

Coordenadores Gerais do SBRC 2017

Mensagem do Coordenador de Workshops

É com grande prazer que os convido a prestigiar os workshops do Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos (SBRC) nos dias 15, 16 e 19 de maio de 2017. Tradicionalmente, os workshops abrem e fecham a semana do SBRC e são responsáveis por atrair uma parcela expressiva de participantes para o Simpósio. Como coordenador de workshops, dividi com os coordenadores gerais do SBRC a nobre tarefa de selecionar os workshops que melhor representam a comunidade e que fortaleçam novas linhas de pesquisa ou mantenham em evidência linhas de pesquisa tradicionais.

Em resposta à chamada aberta de workshops, recebemos dez propostas de alta qualidade, das quais nove foram selecionadas. Além disso, mantivemos a longa colaboração com a RNP por meio da organização do WRNP, que já é uma tradição na segunda e terça-feira da semana do SBRC. Dentre as propostas aceitas, sete são reedições de workshops tradicionais do SBRC que já são considerados parte do circuito nacional de divulgação científica nas várias subáreas de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos, como o WGRS (Workshop de Gerência e Operação de Redes e Serviços), o WTF (Workshop de Testes e Tolerância a Falhas), o WCGA (Workshop em Clouds, Grids e Aplicações), o WP2P+ (Workshop de Redes P2P, Dinâmicas, Sociais e Orientadas a Conteúdo), o WPEIF (Workshop de Pesquisa Experimental da Internet do Futuro), o WoSiDA (Workshop de Sistemas Distribuídos Autônomicos) e o WoCCES (Workshop de Comunicação de Sistemas Embarcados Críticos). Como novidade, teremos dois novos workshops com programação diversificada e grande apelo social, o CoUrb (Workshop de Computação Urbana) e o WTICp/D (Workshop de TIC para Desenvolvimento).

Temos certeza que 2017 será mais um ano de sucesso para os workshops do SBRC pelo importante papel de agregação que eles exercem na comunidade científica de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos no Brasil.

Aproveitamos para agradecer o apoio recebido de diversos membros da comunidade e, em particular, a cada coordenador de workshop, pelo brilhante trabalho. Como coordenador dos workshops, agradeço imensamente o apoio recebido da Organização Geral do SBRC 2017.

Esperamos que vocês aproveitem não somente os workshops, mas também todo o SBRC e as inúmeras atrações de Belém.

Ronaldo Alves Ferreira

Coordenador de Workshops do SBRC 2017

Mensagem dos coordenadores do I WTICp/D 2017

A maior parte dos investimentos no mundo e no Brasil em redes de telecomunicações foca nos usuários das regiões com alta concentração populacional e alto poder aquisitivo. Habitantes de áreas isoladas e esparsamente povoadas, tais como a Amazônia, enfrentam diversas dificuldades na obtenção de serviços como telefonia e Internet, constituindo-se em barreiras para a conectividade global. Além de vontade política, é necessário o estudo dos aspectos socioeconômicos envolvidos e do desenvolvimento de tecnologias de informação e comunicação (TIC) específicas para tais áreas. O Workshop de TIC para Desenvolvimento (WTICp/D) pretende discutir estas questões em suas diversas dimensões.

Os tópicos de interesse do WTICp/D são deveras relevantes às pessoas que atualmente não se beneficiam da tecnologia, pois sua situação de exclusão digital pode e deve inspirar soluções transformadoras. A academia, indústria, governo e a sociedade em geral percebem a necessidade de expandir os benefícios das TIC a todos cidadãos, e ações consistentes em prol deste objetivo exigem um ecossistema de inovação onde eventos como o WTICp/D são essenciais.

O WTICp/D está posicionado estrategicamente para prover um fórum de discussão aos que atuam em prol do desenvolvimento através das TIC, garantindo que as pesquisas na área repercutam adequadamente e que a troca de conhecimentos seja frutífera.

Contando com a dedicação dos membros do Comitê Técnico e revisores, que concluíram com competência e pontualidade em média três e no mínimo duas revisões para cada artigo completo, a programação técnica contará com artigos versando sobre diversos aspectos de TIC para Desenvolvimento e palestras convidadas. Manifestamos nossos sinceros agradecimentos ao esforço e esperamos que todos possam usufruir de um excelente evento!

Aldebaro Klautau e Michael Stanton

Coordenadores do WTICp/D

Comitê de Programa

- Agostinho Linhares (Anatel, Brasil)
- Agostinho Luiz da Silva Castro (UFPA, Brasil)
- Arjuna Sathiaselvan (Univ. of Cambridge, UK)
- Aurenice Oliveira (Michigan Tech. Univ., EUA)
- Cecília Castro César (ITA, Brasil)
- Diego Gomes (UNIFESSPA, Brasil)
- Eduardo Grizendi (RNP, Brasil)
- Jasmine Araújo (UFPA, Brasil)
- Kurtis Heimerl (Univ. of Washington, EUA)
- Mauro Margalho (UNAMA, Brasil)
- Michael Stanton (RNP, Brasil)
- Neiva Fonseca (Ericsson, Suécia)
- Polyana Bristot (TIM, Brasil)
- Peter Knight (Instituto Fernand Braudel de Economia Mundial)
- Rodrigo Cavalcanti (UFC, Brasil)
- Rosinei Oliveira (UFOPA, Brasil)
- Ugo Dias (UnB, Brasil)

Sumário

Proposal of Improvement of Propagation Models to 5G by Calculating Optimal Value of Their Propagation Loss Coefficients	1
Andréia V. R. Lopes (UFPA), Iury S. Batalha (UFPA), Gervásio P. S. Cavalcante (UFPA) e Cristiane R. Gomes (UFPA)	
Pilot Projects for GSM Community Networks in Amazon	7
Pedro Batista (UFPA), Lauro Brito (UFPA), Emerson Oliveira (UFPA), Moacir Neto (UFPA) and Aldebaro Klautau (UFPA)	
Estudo Tecno-Econômico para Conectar Amazônia Usando Telefonia Comunitária	13
Marcus Dias (UFPA), Joary Paulo (UFPA), Vitor Soares (UFPA), Pedro Batista (UFPA) e Aldebaro Klautau (UFPA)	
A Gestão Dinâmica do Espectro: um novo paradigma de democratização dos meios de comunicações sem fio	19
Thiago O. S. Novaes (ABRADIG), Rafael Diniz (UnB) e Jader R. Gama (UFPA)	
Rede Digital para Integração Social: Experiências da Universidade Federal do Sul da Bahia	25
Raimundo José de Araújo (UFSB) e Macêdo Alirio Santos de Sá (UFSB)	
The Power of Partnerships in Internet Infrastructure	31
Peter T. Knight (Fernand Braudel Institute of World Economics)	

Proposal of Improvement of Propagation Models to 5G by Calculating Optimal Value of Their Propagation Loss Coefficients.

Andréia V. R. Lopes¹, Iury S. Batalha¹, Gervásio P. S. Cavalcante¹, Cristiane R. Gomes²

¹Laboratório de Computação e Telecomunicação– Universidade Federal do Pará (UFPA)
Belém – PA – Brazil.

²Instituto de Ciências Exatas e Naturais – Universidade Federal do Pará (UFPA)
Belém – PA – Brazil

andreaia.lobes@itec.ufpa.br, {iurybatalha, cris.ruiz.gomes}@gmail.com,
gervasio@ufpa.br

***Abstract.** New frequency bands have been studied and discussed for application in 5G, the next generation of mobile communication. This work presents a study in the 10 GHz band proposing an optimal value for the power loss coefficient with distance for classical models and for a new model in the literature, considering that, they do not yet present values of these coefficients for the studied frequency range. The optimization of the coefficients was done using real data obtained by measurement campaign. The results are consistent and show an improvement of at least 3 dB in all models studied.*

1. Introduction

The growing demand for multimedia communications and new research challenges for indoor operation is the target of many propagation and signals from mobile networks studies. The new data released by sector of intelligence of the Global System for Mobile Communications Association (GSMA) have projected that half the world's population will be using mobile devices to access the Internet by 2020 [Afif Osseiran and Boccardi 2014], [Gozalvez 2015]. The possible visible solution would be the bands above 6 GHz to increase traffic volume [Rappaport 2013], [Medbo and Börner 2014], [Eras 2015].

Consequently, it is necessary to develop research on channel modeling for bands of millimeters and centimeters of wavelength [Rama Rao and Murugesan 2012], in order to design excellent radio communication networks. These surveys encompass both urban and rural environments, taking into account the elevation of the terrain, climatic conditions and vegetation [MacCartney and Rappaport 2017].

Considering that many of the devices connected in 5G will be indoors, this work presents a study in the band of 10 GHz. Proposing an optimal value for the coefficient of power loss with the distance for the ITU-R P.1238-8 model [International Telecommunication Union 2015], Keenan and Motley model [Motley and Keenan 1990] and the Batalha model [Batalha 2016].

This paper is divided into six sections: Section 2 presents a description of the models that operate in the frequency range addressed. Section 3 presents the measurement campaign, the scenario studied and the equipment used, Section 4 shows the methodology, Section

5 demonstrates and compares the results found, as well as the RMSE values obtained and Section 6 summarizes the conclusions of this work.

2. Propagation Models for the 5G frequency band

The frequency range studied for the 5G is the SHF (Super High Frequency) that covers the band from 3GHz to 30GHz. The models discussed in this section are not applied directly to the 10 GHz band, but are expected to be applied to this and other frequencies of SHF only considering their adjustments in the loss coefficient. They are ITU-R P-1238, Keenan and Motley and the Batalha models

2.1 ITU-R P.1238-8(07/2015) model

It is a site-general model where there is not much information of environment, and it is only necessary to identify the type of environment. It is a model that considers values of losses through crossed floors (L_f), the number of floors crossed (K_f) and the attenuation due to obstacles like walls and columns is included are the factor of attenuation with the distance (N), the model reaches the 900 MHz band up to 100 GHz [International Telecommunication Union 2015][Rappaport 2011]. Equation (1) defines the model.

$$L = 20\log_{10}(f) + N\log_{10}(d) + L_f(K_f) - 28 \quad (1)$$

Table 1 shows the values of N and L_f for indoor environments tabulated in the recommendation ITU-R P.1238-8.

Table 1. Values of N and L_f in dB

Frequency	N	L_f
1.8-2.0 GHz	30	15 + 4(n - 1)
5.2 GHz	31	16 (1 floor)

2.2. Keenan and Motley model

The Keenan and Motley model is based on the COST-231 model and is considered one of the most comprehensive because it predicts loss of propagation by both walls ($L_{w,j}$) and floors ($L_{f,i}$). It is a model of the site-specific type, where there is a need to specify the characteristics of the scenario studied [Motley and Keenan 1990]. Equation (2) defines the model.

$$L = L_0 + N\log_{10}(d) + \sum_{i=1}^I K_{f,i}L_{f,i} + \sum_{j=1}^J k_{w,j}L_{w,j} \quad (2)$$

The values obtained shown in Table 2:

Table 2. Values of N in dB

Obstacles	1.8 GHz	2.4 GHz	5.2 GHz
Thick concrete (Without windows)	13	17	36
Pane of glass	2	13	15
Wall with window	2 to 13	13 to 17	15 to 36

2.3. Propagation Model to 5.2 GHz band [Batalha 2016]

The Batalha model is new in the literature. It designed from measurement campaigns in two frequency bands 5.2 GHz and 5.8 GHz. It takes into account the wall attenuation (l_m), the number of walls crossed (np) and the coefficient of power loss with the distance (N). This also considers extrapolation of frequencies and serves convincingly the frequency range addressed in this article. Equation (3) defines the model.

$$L = -25,7 + N\log_{10}(d) + 20\log_{10}(f) + l_m(np) \quad (3)$$

The values of N and l_m shown in Table 3:

Table 3. Values of N and l_m of in dB

Frequency	N	l_m
5.2 GHz	23.6	3
5.8 GHz	28.2	3

The adjustment in the Batalha model does not present values for l_m , because the measured signals do not crossed walls.

3. Measurement Campaign

The measurement campaign for the 10 GHz frequency was carried out in a real environment corresponding to a corridor in the Computer Laboratory block of the Federal University of Pará, in Belém, with Line of Sight (LOS). The measurement campaign was performed with an average of 40 power values at each of the 40 points measured in the scenario, resulting in about 1600 power values.

3.1. Scenario

In the environment, the transmitter (TX) was placed in a fixed position while the receiver (RX) was moved through the environment around 40 different positions. The consecutive positions are separated by 1 meter. The heights of transmitter and receiver were set at 1.6 meters. Figure 1 shows the dimensions in meters of the corridor.

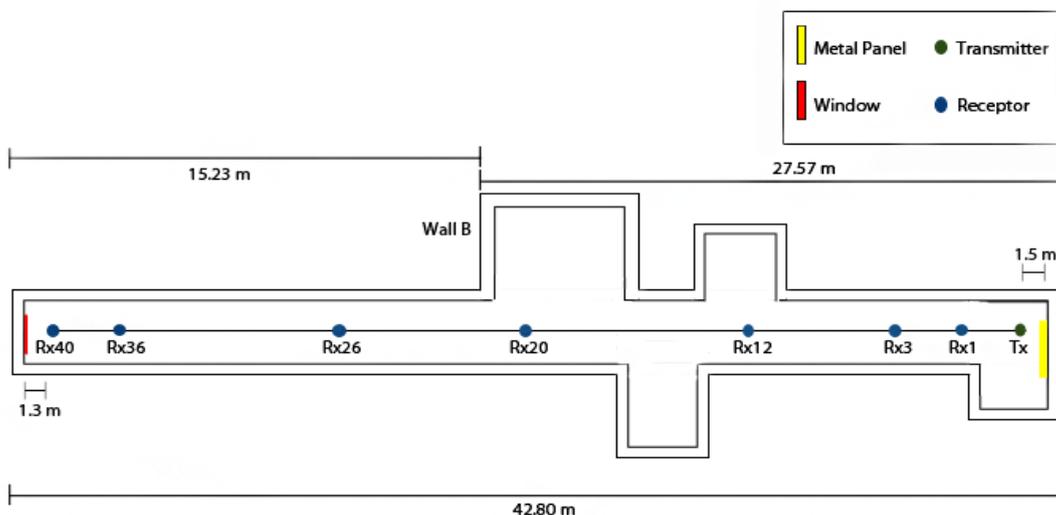


Figure 1. Corridor Scenario.

3.2. Equipment

The measurement campaign was carried out with the following equipment: two identical omnidirectional antennas with a gain of 2.5 dBi (built for this work), a Hewlett Packard Synthesized Sweeper 83752^a fixed transmitter with a transmission power of 20 dBm and a mobile receiver Signal Analyzer MS2692A. The transmission and reception flaps were placed at the same height of 1.6 m.

4. Improvement of Models for Adequacy in 5G

This work proposes optimal values of power loss coefficient with distance, for classic models and for a new model in the literature, since they do not contemplate values of these coefficients for the 10 GHz band.

The technique of process optimization used was linear least squares, which adjusted the coefficient of power loss with distance using the data collected as a reference. This technique consists of minimizing the sum of the squares of the differences between the data collected (L_i) and the simulated data (Y_i). This difference called the objective function and presented in Equation (4).

$$f_{obj} = \sum_{i=1}^N (L_i - Y_i)^2 \quad (4)$$

Applying the matrix notions, results in Equation (5).

$$A = \begin{pmatrix} 1 & \log(Y_1) \\ 1 & \log(Y_i) \end{pmatrix} x = \begin{pmatrix} K_1 \\ K_2 \end{pmatrix} B = \begin{pmatrix} R_{L1} \\ R_{Li} \end{pmatrix} \quad (5)$$

The result of (5) is a vector of expression residues based on frequency loss of the signal. This residue defines the value of the loss coefficient by the distance (N).

5. Results

The values for the proposed N coefficient were 26.3 dB for the ITU-R P.1238-8 model, 26 dB for the Keenan and Motley model and 24.6 dB for the Batalha model. These values are proposed in order to improve the cited models to work in the frequency range studied in the present study, serving as an initial study for 5G technology.

The simulations using the optimized coefficients show a better behavior, this is mainly because they have been tested only for the case studied. For more reliable values of these coefficients it would be necessary to carry out measurement campaigns in other scenarios and under different conditions.

Figure 2 illustrates the comparisons between the original models and their adjusted versions, in which we observe an improvement in the behavior of the models. The original ITU-R P.1238-8 and Batalha models follow the trend of measured data, but the Keenan Motley model presents unexpected behavior for the case under study. The adjusted models present substantially better results, as can be seen in Table 4 by comparing RMSE errors. The decrease in RMSE values shows a noticeable improvement of at least 3dB.

Table 4. RMSE values in dB

Models	RMSE	
	Original Models	Improved Models
ITU-R P.1238-8	9.78	6.40
Keenan e Motley	46.43	6.29
Batalha	7.97	5.85

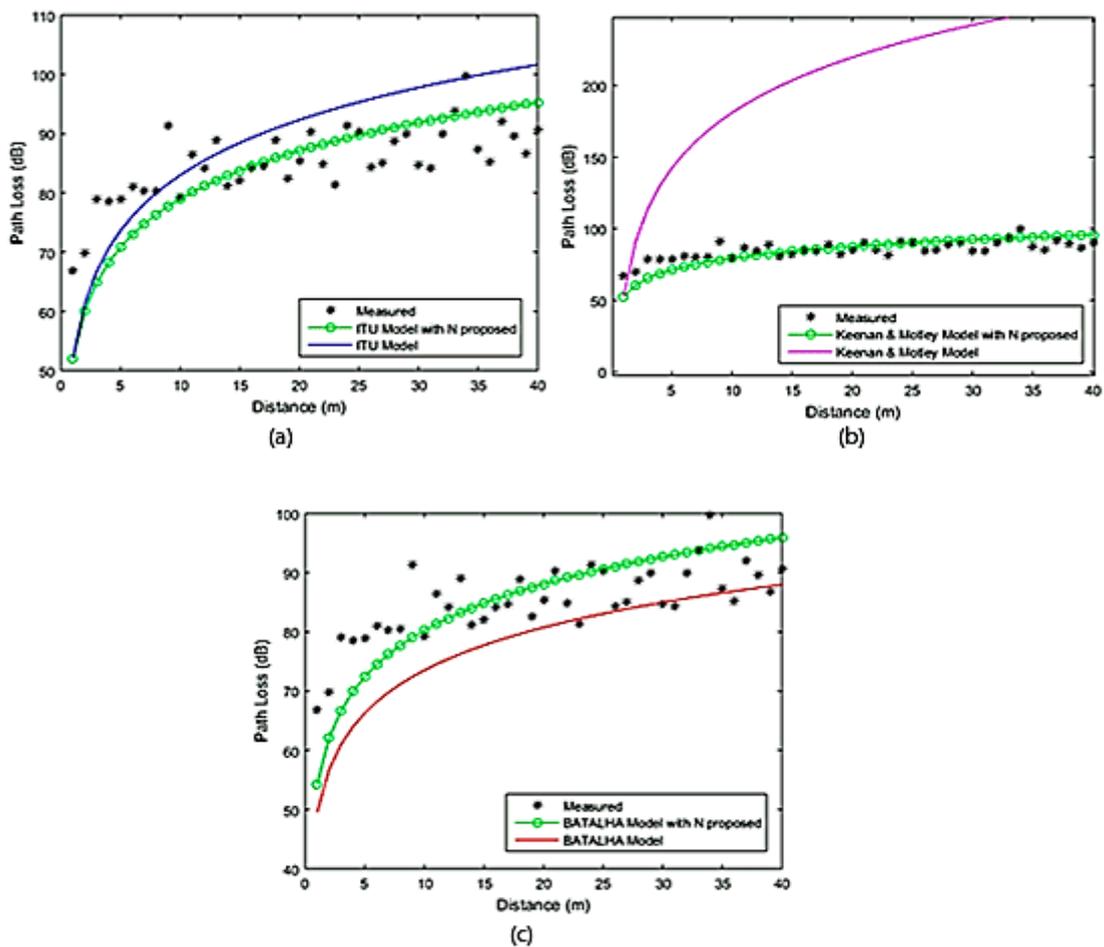


Figure 2. Original Models vs. Adjusted Models.

6. Conclusion

This work presented an improvement proposal for the ITU-R P.1238-8, Keenan and Motley and for the Batalha models, by calculating optimal values of propagation coefficients with distance (N) to work in the frequency range 10 GHz to serve as a basis for testing and studying the 5G as well as enhancement of ITU-R Recommendation P.1238-8.

The optimum values of N proposed showed improvement in the models for this new frequency range. Studying new tracks that 5G can also perform, new measurement

campaigns, new scenarios where there are obstacles between receiving and transmitting antenna and scenarios with floors will be the focus of the next works.

References

- Afif Osseiran, Boccardi, F., et al. (2014). “Scenarios for 5G Mobile and Wireless Communications: The Vision of the METIS Project”, in *Communications Magazine*, IEEE, Volume 52, Issue 5, pages 26 – 35.
- Gozalvez, J. (2015). “Samsung Electronics Sets 5G Speed Record at 7.5 Gb/s”, in *Vehicular Technology Magazine*, IEEE, Volume 10, Issue: 1, pages 12-16.
- Rappaport, T. S. et al. (2013). *Millimeter Wave Mobile Communications for 5G Cellular: It Will Work!*, in *Access IEEE*, Volume 1, pages 335-349.
- A.J Motley, and J.M Keenan (1990). “Radio coverage in buildings”, in *British Telecom Technology Journal*, Special Issue on Mobile Communications, Vol. 8, No. 1, pp. 19-24.
- J. Medbo, K. Börner, et al. (2014). “Channel Modelling for the Fifth Generation Mobile Communications”, in *8th European Conference on Antennas and Propagation*, pages 219 – 223.
- T. Rama Rao, D. Murugesan (2012). "60 GHz radio wave propagation studies in an indoor office environment", in *Communication Systems IEEE International Conference*, pages 182– 185.
- International Telecommunication Union. Radiocommunication Sector. ITU-R P.1238-8 (2015). *Propagation data and prediction methods for the planning of indoor radiocommunication systems and radio local area networks in the frequency range 900 MHz to 100 GHz*.
- Batalha, I.S. (2016). “Estudo da Tecnologia IEEE 802.11ac para o desenvolvimento de modelos empíricos e Cross-Layer”. *Dissertação (Dissertação de Mestrado) – Universidade Federal do Pará*,
- Eras, L.C.; Batalha, I.S.; Silva, D.K.N; Ferreira, H.R.O.; Fonseca, W.S.; Barros, F.J.B.; Cavalcante, G.P.S. (2015). “Measurements and Modeling for Indoor Environments Analysis at 10 GHz for 5G”, in *EUROPEAN CONFERENCE ON ANTENNAS AND PROPAGATION-EUCAP*, Anais, Portugal: IEEE Conference Publications. p. 1-5.
- MacCartney, G. R. Jr; Rappaport, T. S. (2017) “Study on 3GPP Rural Macrocell Path Loss Models for Milimeter Wave Wireless Communications”, in *IEEE International Conference on Communications (ICC)*, IEEE Conference Publications. p. 1-7.

Pilot Projects for GSM Community Networks in Amazon

Pedro Batista, Lauro Brito, Emerson Oliveira, Moacir Neto and Aldebaro Klautau

¹LASSE - Humanitarian Engineering Research Group
Federal University of Pará (UFPA)

Rua Augusto Corrêa, 01, Guamá – 66075-110 – Belém – PA – Brazil

pedro@ufpa.br, lauro.castro@itec.ufpa.br, aldebaro@ufpa.br

Abstract. *This paper presents the current status of a humanitarian engineering project that aims at reducing the digital divide in Amazon via GSM community networks. Pilot projects are described with respect to the adopted software and hardware, associated costs and licensing. The work also provides information about the difficulties for providing telecommunication services in Amazon.*

1. Introduction

New services are imposing a fast pace to the evolution of ICT (Information and Communication Technologies). However, the digital divide may increase when one considers that 5G relies on technologies such as cell densification, millimeter waves and massive MIMO [Gupta and Jha 2015]. There is considerable bias towards urban use cases. For example, while modern baseband modem chipsets support several standards over more than 40 frequency bands, the standardization bodies are not emphasizing complementary support to lower frequency signals in 5G for improved coverage in wide areas.

This work presents the status of a project that aims at reducing the digital divide in Amazon. This is aligned with the timely efforts to combat digital divide under the auspices of the IEEE HAC (Humanitarian Activities Committee), ITU-D (International Telecommunication Union-Telecommunication Development Sector), IRTF GAIA (Global Access to the Internet for All), and others. In fact, ICT for the purpose of development (ICT4D) has gained increased attention within academia (e. g. [Navarro et al. 2016, Martinez-Fernandez et al. 2016]). One of the new alternatives to connectivity are the community networks, which will be adopted in this work. More specifically, the usage of 2G GSM (Global System for Mobile communication) technology will be discussed.

The text is organized as follows. Some context is provided in Section 2. Section 3 summarizes the main features of the project while Section 4 presents the conclusions.

2. Digital divide in Amazon

The Amazon rainforest is crucial to the entire world climate. It corresponds to approximately 12% of land biodiversity, pumps 20 billion tons of water vapor daily into the atmosphere and discharges 15% of the freshwater input into the oceans [Nobre et al. 2016]. Twenty-four million people live in the legal Brazilian Amazon, which corresponds to 13% of Brazil's population, and includes 170 indigenous groups with different ethnicities and languages. To avoid loss of biodiversity and continued deforestation, a novel sustainable development paradigm is needed, in which ICT4D plays an important role [Nobre et al. 2016, ITU et al. 2004].

Figure 1 indicates the deforested area [INPE 2017] and highlights the state of Pará, where UFPA is located, detailing its population density and large area by comparison with European countries.

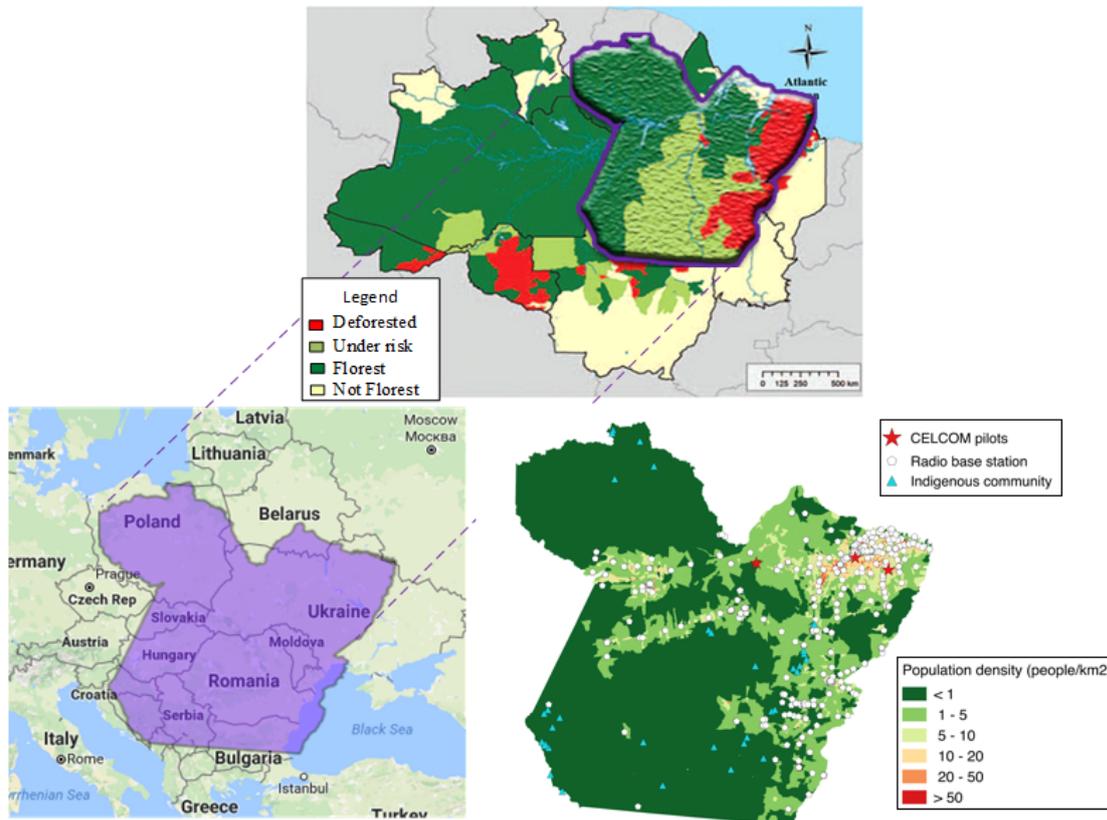


Figura 1. The legal Amazon with 5.5 million km² and its deforested area (top). The bottom maps highlight the state of Pará with area (1.2 million km²) larger than any country in Europe, but Russia, and low population density. It is also shown the main rivers, indigenous communities, the three project pilots and all 2,181 existing cellular radio base stations in Pará.

Several digital inclusion projects have been tried in Amazon. For example, the GESAC (Electronic Government - Citizen Assistance Service) is a subsidized satellite service that connects Brazilian institutions (peak rate of 6 Mbps) such as public schools in rural areas. However, few projects achieved reasonable success. In the GESAC network, for example, more than 60% of the links are used less than 10 times per month. One of the reasons for the failure of some Amazonian digital inclusion projects is the insufficient effort on developing local ICT literacy. The equipment is installed but the communities often do not embrace the technology, especially when the quality of service is low.

The challenging task is to find new models and promote ICT4D in the huge (5.5 million km²) Amazon. Figure 1 tries to put it in perspective by simultaneously highlighting the large area and low population density of Pará. It also shows the relatively few (2,181) RBS (Cellular Radio Base Stations), which accounts for all operators. The corresponding digital divide inhibits several environment-friendly economical activities, indirectly promoting deforestation and other problems [Nobre et al. 2016].

3. CELCOM project

Given the lack of interest from commercial operators in sparsely populated areas in Amazon, the concept of community networks becomes an important alternative. The CELCOM (cellular community network) project aims at developing new technologies and deploying communication networks for poor people living in sparsely populated (PISP) areas, especially in Amazon. The target communities do not have any communication service and are low-income “forest” people: subsistence farmers, fishermen, etc.

In the short term, CELCOM aims at connecting people via GSM technology while working to evolve towards 4G and 5G. The CELCOM team has been working with LTE (Long-Term Evolution) using Eurecom’s Open Air Interface (OAI) but the emphasis here will be in GSM.

Other important goals are to increase awareness about the target communities, improving statistics and georeferenced information about them, and foster collaboration for research, development and innovation in community networks for the Amazon.

Cellular technologies are preferred over Internet service and technologies such as WiFi due to three main reasons: a) the backhaul link is currently very limited and the bit rate demanded for telephony is much lower than for Internet, b) cellular technologies can use lower frequencies and have better signal propagation, c) because the project deals with poor communities, it primarily focuses on supporting feature (cheap) handsets instead of smartphones or other device supporting WiFi.

For helping the community to embrace the technology, the strategy is similar to the one successfully adopted by Rhizomatica in Mexico [Rhizomatica 2017] where more than 3,000 people are attended, and in Philippines [Barela et al. 2016]. The basic principles are: the community owns the network, establishes billing policies and is offered technical training to deal with maintenance and support.

3.1. Three pilot projects

Funding has been received for the deployment of CELCOM pilots in three underserved communities: BVA (Boa Vista do Acará), Itabocal and Caxiuanã. In CELCOM, the backhaul is, at least initially, subsidized by governmental institutions, as well as the connection to the PSTN (Public Switched Telephone Network) via VoIP. ANATEL has already authorized operation in Itabocal using the GSM ARFCN (absolute radio-frequency channel number) 65, which corresponds to 903 and 948 MHz for uplink and downlink, respectively [ETSI 2017]. License for the other two pilots has been requested.

BVA has 775 residents and it is only 5.8 km far from UFPA (Federal University of Pará). This facilitated the establishment of a 60 Mbps P2P (Point-to-Point) microwave link between the community and UFPA as indicated in Figure 2. This figure shows the WiFi network that is already operational at the BVA community and the GSM network that has been designed.

The P2P 5.8 GHz microwave links use Ubiquiti AirGrid AG-HP-5G23 antennas that operate with power over ethernet (PoE) and support TCP/IP. In Figure 2, the microwave antennas used are configured in layer 2 bridge network mode. The BTS is from Sysmo [Sysmocom 2017] and it is connected to the omnidirectional antenna via a duplexer that will operate in the bands [890, 915] and [935, 960] MHz for up and downlink,

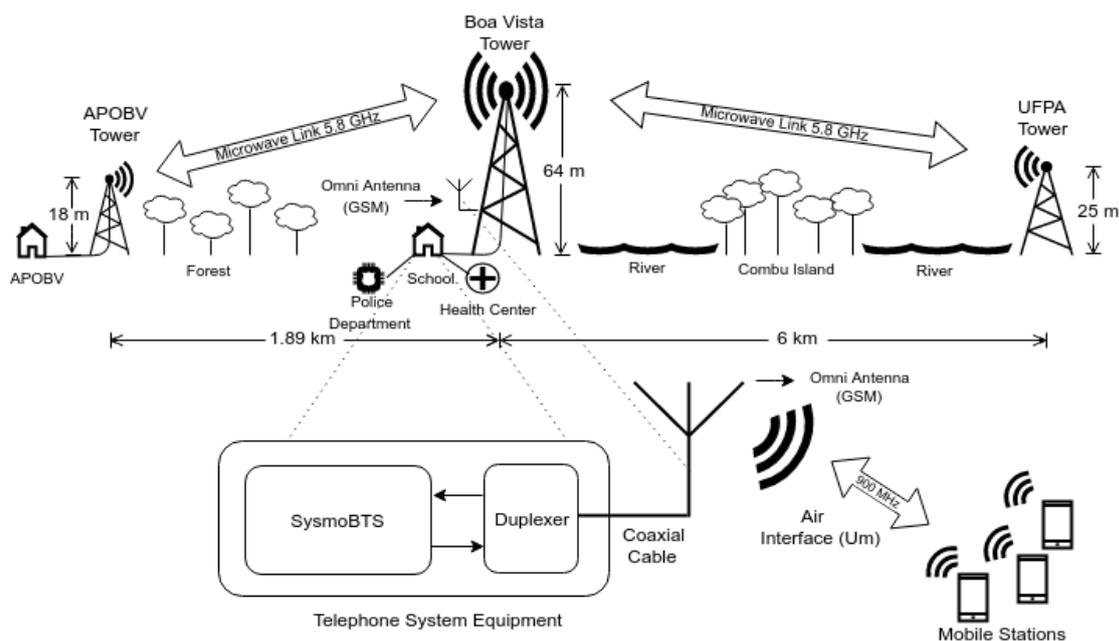


Figura 2. Network in the BVA pilot project.

respectively (assuming the ARFCN will be the same as in Itabocal).

The second pilot is located at Itabocal, which has approximately 230 residents and it is 13 km far from the center (downtown) of Irituia in Pará. While downtown is served by two cellular operators, a large amount (79% in this case) of the population is spread among rural communities that do not have any coverage. This situation is typical in Amazon. With IEEE EPICS (Engineering Projects in Community Service) sponsoring a project written by UFPA students, a 30-meter high tower will be constructed in Itabocal to enable the establishment of a P2P microwave link with downtown. The backhaul will then be provided by PRODEPA (Information and Communication Technology Company of the State of Pará).

Caxiuanã has approximately 80 residents and represents the most challenging deployment: it is located in the protected area of a national forest and part of Melgaço, the Brazilian city with the lowest (0.418) HDI (Human Development Index). This community does not have electricity and the project will provide a photovoltaic system. The idea is to use lithium-ion instead of lead-acid batteries. Another challenge is that its backhaul will be a satellite link used by MPEG (Emílio Goeldi State Museum of Pará) in collaboration with RNP (National Education and Research Network).

3.2. Software-defined radio hardware and software

CELCOM currently investigates GSM and LTE open-source software and SDR platforms. Some of the BTS manufacturers are: Fairwaves, Nuran, Range Networks and Sysmo-com and illustrate the expanding cellular community network ecosystem. For the reader's convenience, links to hardware, software and tools cited in this work are available at [CELCOM 2017]. The number of transceivers (TRXs) is typically one or two, with, for example, 5 W of output power per TRX. Each TRX is associated to an ARFCN and can support 7 simultaneous full-rate phone calls. Most models support the four standard

GSM bands: 850, 900, 1800 and 1900 MHz and have a receive sensitivity of approximately -110 dBm.

With respect to software, CELCOM adopts the Osmocom OpenBSC suite to provide the main functionality of a radio base station subsystem. OpenBSC provides an implementation of the A-bis interface and supports 3rd party base transceiver stations (BTS). Another suite, called OpenBTS, has been used in pioneering SDR-based GSM networks. But OpenBSC has been increasingly used and supported by platforms due to its well-established development community and features such as half-rate speech coding.

In another software category are those for network deployment management, especially access control and billing. CELCOMBiller has been developed at UFPA, while more mature alternatives are Rhizomatica Community Cellular Network (RCCN) and Facebook's Community Cellular Manager (CCM). All of them use Python.

3.3. Costs and Licenses

Assuming electricity is available, the current values are approximately USD 13 thousand for capital expenditure (CAPEX) of a CELCOM pilot, and USD 1,500/year for operating expense (OPEX). The CAPEX is dominated by: a) radio equipment (BTS hardware, computer(s), antennas), b) backhaul link installation (radio(s), antennas and, eventually, towers) and c) electricity, if not available.

It should be taken in account that taxes and shipment to Brazil increase the price of radio equipment by a factor of approximately two. Severe power quality disturbances increased the OPEX due to constant trips for repairs (as it is happening in the BVA pilot). A photovoltaic system (such as the one required in the Caxiuanã Community) with autonomy for 12 hours operation adds approximately USD 8 k and 1 k to, respectively, CAPEX and OPEX per year. A 30-m tower represents extra USD 8 k of investment. These are relatively high values and the main challenge for the flourish of cellular communities in Brazil is to improve this technology while decreasing its costs.

Brazil still does not have a legislation specific to the social use of spectrum. CELCOM was granted the SEFCE license (Special Service for Scientific and Experimental Purposes or “Serviço Especial Para Fins Científicos e Experimentais”), which is regulated by Law 9.472, from June 16, 1997 (“Lei Geral de Telecomunicações”) and by the SEFCE regulation [ANATEL 2014]. The SEFCE has a maximum duration of two years and cannot be renewed, but a new one can be requested. The license requires the specification of location, number of user equipments, emitted power and operation frequency for each base station site. To facilitate experiments, the SEFCE waives product homologation. The current license for experimental investigation granted by ANATEL to UFPA accounts for approximately USD 600 in CAPEX per CELCOM site.

4. Conclusions

This work described one of the ongoing efforts for combating the digital divide. It focused on GSM community networks. While many countries now promote Internet access as a human right, it seems difficult to provide broadband to poor communities living in sparsely populated areas. The community network is an option to decrease the cost and provide an evolutionary path, from 2G to broadband. But there are many challenges such as changing the Brazilian legislation to support “social” license for spectrum usage.

5. Acknowledgments

The authors thank all CELCOM participants. Funding for the CELCOM pilots are provided by UFPA and the SECTET (Pará State Secretary of Science, Technology and Technical Education), in cooperation with PRODEPA. The backhaul radio equipment for the Acará pilot was purchased by the Technological Institute of Aeronautics (ITA). The tower for Itabocal is funded from IEEE EPICS. The satellite connection in Caxiuanã will be provided by the Emílio Goeldi State Museum of Pará and RNP.

Referências

- ANATEL (2014). Regulamento do serviço especial para fins científicos e experimentais (SEFCE). <http://sistemas.anatel.gov.br/SACP/contribuicoes/TextoConsulta.asp?CodProcesso=CPSEFCE&Tipo=1&Opcao=>.
- Barela, M. C., Blanco, M. S., Martinez, P., Purisima, M. C., Heimerl, K., Podolsky, M., Brewer, E., and Festin, C. A. (2016). Towards building a community cellular network in the Philippines: Initial site survey observations. In *Proceedings of the Eighth International Conference on Information and Communication Technologies and Development, ICTD '16*, pages 55:1–55:4, New York, NY, USA. ACM.
- CELCOM (2017). CELCOM public wikipage. <https://wiki.celcom.lasseufpa.org>.
- ETSI, T. (2017). 3GPP TS 45.005 version 13.4.0 Release 13. *GSM/EDGE Radio transmission and reception*.
- Gupta, A. and Jha, R. K. (2015). A survey of 5G network: Architecture and emerging technologies. *IEEE Access*, 3:1206–1232.
- INPE (2017). INPE - National Institute For Space Research. <http://www.inpe.br/ingles/>.
- ITU, UNCTAD, and UIS (2004). Partnership on measuring ICT for development. Technical report, ITU.
- Martinez-Fernandez, A., Vidal, J., Simo-Reigadas, J., Prieto-Egido, I., Agustin, A., Paco, J., and Rendon, A. (2016). The tucan3g project: wireless technologies for isolated rural communities in developing countries based on 3g small cell deployments. *IEEE Communications Magazine*, 54(7):36–43.
- Navarro, L., Vinas, R. B., Barz, C., Bonicioli, J., Braem, B., Freitag, F., and Balaguer, I. V. (2016). Advances in wireless community networks with the community-lab testbed. *IEEE Communications Magazine*, 54(7):20–27.
- Nobre, C. A., Sampaio, G., Borma, L. S., Castilla-Rubio, J. C., Silva, J. S., and Cardoso, M. (2016). Land-use and climate change risks in the Amazon and the need of a novel sustainable development paradigm. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(39):10759–10768.
- Rhizomatica (2017). Rhizomatica public wikipage. <https://wiki.rhizomatica.org>.
- Sysmocom (2017). Sysmocom systems for mobile communications GmbH. <https://www.sysmocom.de/>.

Estudo Tecno-Econômico para Conectar Amazônia Usando Telefonia Comunitária

Marcus Dias, Joary Paulo, Vitor Soares, Pedro Batista e Aldebaro Klautau

¹LASSE - Grupo de Pesquisa em Engenharia Humanitária
Universidade Federal do Pará (UFPA) - www.lasse.ufpa.br
Rua Augusto Corrêa, 01, Guamá – 66075-110 – Belém – PA – Brasil

{mvdias, joary, vitor, pedro, aldebaro}@ufpa.br

Abstract. *This work presents a preliminary techno-economic study on planning community cellular networks in the Amazon. It discusses some of the factors that impact not only the planning of such networks but also the perception about the number and location of the digitally excluded. The main contribution of the work is, in the light of the adopted methodology, to indicate strategies to better plan and execute digital inclusion actions based on cellular telephony in the Amazon.*

Resumo. *Este trabalho apresenta um estudo tecno-econômico preliminar sobre o planejamento de redes comunitárias de telefonia celular na Amazônia. São discutidos alguns dos fatores que impactam não apenas o planejamento de tais redes mas a própria percepção acerca do número e localização dos excluídos digitalmente. A principal contribuição do trabalho é justamente, sob a luz da metodologia adotada, indicar caminhos para melhor planejar e executar ações de inclusão digital na Amazônia com base na telefonia celular.*

1. Introdução

As comunidades carentes e isoladas em termos dos serviços básicos de telefonia e Internet, requerem tecnologias inovadoras e ações sociais desenvolvidas para a situação específica que vivenciam. Mas a quase totalidade dos investimentos globais de pesquisa em redes de comunicações tem como alvo os usuários das regiões com alta concentração populacional e poder aquisitivo [GSMA 2016]. E assim o Brasil acompanha o mundo ao encontrar imensos desafios para conectar comunidades *pobres em áreas esparsamente povoadas* (PAEP) em regiões como a Amazônia.

Um dos desafios em *tecnologias de informação e comunicações para o desenvolvimento* (TICp/D) no Brasil é que a maioria das estatísticas disponíveis são “macro”, ao nível de municípios, e não informam por exemplo a localização das comunidades excluídas. Relatórios como o apresentado pelo Brasil no ITU da ONU mostra que o país já em 2010 informava que 99,89% da sua população está “coberta” pelo serviço de telefonia móvel [ITU 2013]. Essas estatísticas contabilizam de forma simplista o número de municípios que possui telefonia. Porém, em uma região como a Amazônia, uma boa parte dos municípios possui cobertura apenas em sua sede!

As redes de telecomunicações, energia elétrica e outras vivenciam o mesmo problema: haver menor retorno de investimento (até político) atender às comunidades PAEP. Mas as redes de telecomunicações possuem um diferencial em relação às demais: são

construídas com grande flexibilidade em termos de tecnologia (rádio, fibra, satélite, etc.), qualidade de serviço e custo. Com adequado controle destas relações de compromisso, as telecomunicações podem ser usadas para alavancar a economia das comunidades PAEP e favorecer a integração sustentável às outras redes. Porém, as tecnologias tradicionais apresentam severas limitações quando aplicadas às comunidades PAEP. A GSMA, entidade que representa majoritariamente os interesses de operadoras de telefonia móvel, informa que a receita de uma operadora em comunidade PAEP pode ser dez vezes menor do que em uma equivalente em área urbana [GSMA 2016]. A GSMA informa ainda que a tecnologia (tradicional) só permite viabilidade se a comunidade tiver aproximadamente 3.000 usuários ativos diariamente!

Soluções inovadoras para as comunidades PAEP dependem de estatísticas detalhadas acerca das mesmas. Este trabalho discute a disponibilidade e tratamento de dados sobre Amazônia para fins de TICp/D e o uso de telefonia comunitária. Ressalta-se que há vasta gama de tecnologias para inclusão digital que foram mantidas fora do escopo deste trabalho (e. g. [Facebook 2016]). A visão apregoada é que a telefonia comunitária com tecnologia 2G operando em frequência licenciada apresenta diversas vantagens, dentre as quais uma possibilidade de transição suave para a tecnologia 4G e daí a almejada banda-larga.

O trabalho se encontra organizado da seguinte forma. Na Seção 2 discute-se dificuldades na obtenção de informações demográficas. A Seção 3 apresenta algumas informações sobre telecomunicações na Amazônia, as quais serão usadas no estudo apresentado na Seção 4. A Seção 5 apresenta sugestões para fomentar TICp/D no Brasil.

2. Demografia dos Excluídos: Número e Localização

Devido a suas dimensões continentais e contrastes regionais, é difícil contabilizar a exclusão digital no Brasil. Desde 1967, o IBGE conduz o PNAD, o qual desde 2005 coleta informações acerca de TIC seguindo a prática sugerida em [ITU 2016]. Na área rural do estado do Pará, com população na época de 7 milhões, o PNAD 2005 coletou informações de 3.813 pessoas nas sedes dos municípios ou próximo a elas. Dado que os PNADs não fornecem estatísticas completas para TICp/D, deve-se recorrer aos *Censos Populacionais*.

A cada 10 anos (o último foi em 2010), o IBGE conduz um Censo Populacional através de meticulosa pesquisa em todas residências do país. Apesar de serem coletadas informações georeferenciadas, as mesmas não são disponibilizadas em domínio público. O IBGE divulga apenas a população por *setor censitário*, que é a menor unidade territorial formada por área contínua, integralmente contida em área urbana ou rural. Os setores do Pará são ilustrados na Fig. 1(a), com suas correspondentes densidades populacionais. Por exemplo, o setor indicado na Fig. 1(a) está no município de Almeirim e tem apenas 240 habitantes em área de 19.593 Km². Um setor também pode estar contido em outro maior, como as tribos indígenas indicadas. Os setores de maior e menor áreas no Pará possuem 63.468,64 Km² (maior do que 23 países europeus) e 0,003 Km², respectivamente. Os de menor e maior população possuem 1 e 4.887 habitantes.

A Fig. 2 ilustra como a população do Pará se distribui de acordo com a densidade populacional e área dos setores censitários. A Fig. 2(b) destaca que aproximadamente 98% da população do estado encontra-se mapeada em setores com área menor do que 2.864,98 Km². Tal área corresponde a um círculo de raio de 30 Km e indica que os

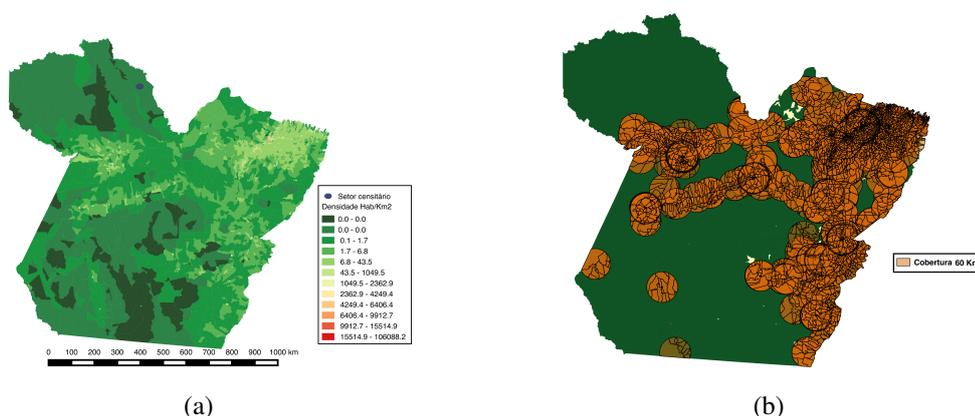


Figura 1. (a) Densidade populacional dos 8.919 setores censitários no estado do Pará, disponibilizados pelo Censo de 2010 do IBGE. (b) Cobertura de telefonia móvel no Pará por parte das operadoras, assumindo-se que a toda ERB corresponde a um círculo de 60 Km de raio de cobertura.

setores não localizam com acurácia esta (pequena) parcela de 2% da população.

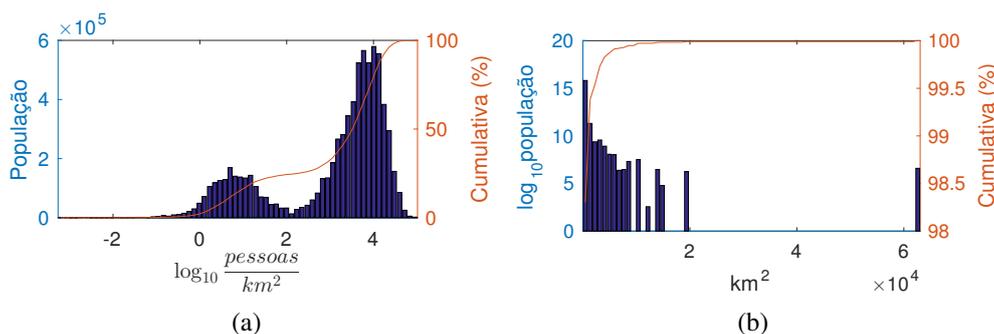


Figura 2. Distribuição da população: a) em função da densidade e b) da área do setor censitário.

Perante o objetivo de planejar serviços de TIC, as estatísticas disponibilizadas pelo IBGE certamente são de valia mas não as ideais. Pode-se usar imagens de satélite como no Projeto do Facebook [Facebook 2016] mas isto não é trivial e pode ter custo elevado. A seguir, discute-se alguns fatos acerca das telecomunicações.

3. Telecomunicações na Amazônia

Diversos importantes projetos de inclusão digital vêm sendo desenvolvidos. Na esfera federal, por exemplo, o Programa Amazônia Conectada [Exército Brasileiro 2016] realiza o lançamento de cabos de fibra óptica nos rios da região. No escopo do estado do Pará, o NAVEGAPARÁ [Governo do Estado do Pará 2016] conduzido pela PRODEPA e SECTET conduziu à melhoria de vários indicadores de TIC no estado. Apesar destes e outros projetos proverem algumas informações sobre suas redes, úteis ao planejamento de outras ações de TICp/D, as mesmas são incompletas. Por exemplo, não há informação georeferenciada e compilada na Web sobre os backbones de fibra óptica na Amazônia.

Em termos de comunicações por satélite, serviços são oferecidos por exemplo pela HughesNet ao custo de $s_0 = 250$ R\$/mês para taxas de 10 e 1 Mbps em *down* e *upstream*,

respectivamente, com franquia mensal de 15 Gbytes. Dentre as iniciativas do governo federal, vale citar o GESAC que provê taxa de pico de 6 Mbps para escolas públicas rurais a um custo aproximado de $s_1 = 310$ USD/mês ao governo. Vale registrar que dos 171 pontos do GESAC no Pará, 156 estão a uma distância menor do que 30 Km de localidade onde há serviço de telefonia celular comercial.

A qualidade dos serviços de telefonia móvel na Amazônia é alvo de frequente discussão na Câmara Federal e outros órgãos do poder legislativo. Com base em informação disponibilizada pela ANATEL, considerando-se todas as operadoras de telefonia celular, havia em 2016 no Pará 2.182 estações rádio-base (ERBs) operacionais. Assumindo-se por simplicidade uma cobertura circular de raio $\alpha = 60$ Km para todas elas, obtém-se a Fig. 1(b), a qual em conjunto com a Fig. 1(a), indica claramente a concentração de ERBs nas regiões de alta densidade populacional.

4. Estudo Tecno-Econômico Exploratório de Telefonia Comunitária

A seguir é apresentada uma análise tecno-econômica do uso de telefonia comunitária para conectar comunidades PAEP na Amazônia. A mesma é exploratória e apenas almeja indicar o potencial de tais análises e os dados que elas demandam para que tenham razoável acurácia. Em países como os EUA, tais análises são facilitadas pela disponibilidade de estatísticas detalhadas [Durairajan and Barford 2016].

Além dos setores censitários da Fig. 1(a), dispõe-se para este estudo da localização das ERBs proporcionada por [Anatel 2017] e de parte dos pontos atendidos pela rede da PRODEPA [PRODEPA 2017]. O software Qgis é usado para georeferenciamento.

A estimativa da área de cobertura de uma ERB e, de forma geral, de uma rede de telefonia celular, é tópico bastante investigado. Para simplificar, assume-se aqui que toda ERB de uma operadora comercial possui alcance correspondente a um círculo de raio α . De forma semelhante, considera-se que β é o raio de alcance de uma ERB comunitária usando tecnologia de rádio definido por software (SDR), e que enlaces de rádio ponto-a-ponto (P2P) atingem distância máxima γ .

Um setor censitário inteiro é interpretado como uma comunidade-alvo caso tenha população maior do que M e não haja interseção entre o setor e o círculo de raio α correspondendo à cobertura de uma ERB de operadora comercial. Escolhidos α e M , pode-se então determinar o número N_c de comunidades-alvo (ou isoladas). Por exemplo, assumindo-se $\alpha = 60$ Km e $M = 0$, seriam identificadas no Pará $N_c = 330$, correspondendo a 181.560 pessoas. Determinadas as N_c comunidades-alvo, deve-se planejar uma rede que, por exemplo, minimize o custo para uma dada qualidade de serviço almejada. Dentre os vários graus de liberdade, discute-se a seguir o posicionamento de N_e ERBs comunitárias, sendo $N_e \leq N_c$.

Há setores censitários relativamente pequenos e vizinhos, que podem ser atendidos por uma única ERB. Para localizar N_e ERBs comunitárias que atendam N_c comunidades-alvo, adotou-se aqui o algoritmo de agrupamento *K-means* [Witten and Frank 1999]. Este algoritmo retorna as $K=N_e$ centróides dos grupos estimados, as quais são assumidas aqui como as localizações das ERBs comunitárias. Partindo-se de $N_c = 330$, pode-se chegar a $N_e = 300$ com a maior distância de um componente de um grupo à sua centróide sendo de 33 Km neste caso.

Uma segunda tarefa é o planejamento do enlace (*backhaul*) entre as N_e ERBs e um ponto de conectividade, o qual pode ser por exemplo um local de acesso ao *backbone* de uma empresa ou instituição governamental. Adota-se a seguir que todo backhaul consiste em enlace de rádio P2P com linha de visada direta viabilizada por torres. Assume-se também que conexões a um backbone encontram-se disponíveis em: a) sede de município, b) setores censitários atendidos pela PRODEPA e c) ERBs comerciais. O número desses *pontos de conectividade* é denotado por N_f .

Usa-se a seguinte heurística para planejar a rede: assume-se ser \mathcal{C} o conjunto de pontos de conectividade disponíveis e inicializa-se o mesmo com as citadas N_f localidades. O conjunto \mathcal{I} representa as localidades isoladas e que ainda precisam ser conectadas, sendo composto inicialmente pelas N_e posições das ERBs comunitárias. De forma iterativa, até que \mathcal{I} seja vazio, acha-se o elemento i de \mathcal{I} com a menor distância d_i de Haversine (entre dois pontos em uma esfera dadas suas longitudes e latitudes) a qualquer elemento de \mathcal{C} , cria-se um backhaul de rádio P2P para i e move-se tanto i quanto as torres deste backhaul para \mathcal{C} . Assume-se que são necessárias $\lfloor d_i/\gamma \rfloor$ torres para o enlace P2P.

Como estudo preliminar, planeja-se a rede com $\alpha = 60$ Km e $M = 0$, para se conectar as $N_e = 300$ ERBs comunitárias, adotando-se $\beta = 33$ Km e $\gamma = 25$ Km. Tal escolha assume rádios P2P relativamente simples, operando em frequências não-licenciadas (5,8 GHz), mas que não são a melhor opção em termos de custo pois γ é relativamente reduzido e o número de torres se torna alto. Estes rádios são adotados neste estudo em função de seu amplo uso na Amazônia. Assim, o algoritmo descrito conduz a $N_f = 2.479$ pontos de conectividade e à especificação de $N_t=144$ torres para backhaul com rádio P2P, cujo custo deve ser somado aos das ERBs na composição das despesas de capital (CAPEX).

Como detalhado em [Leite et al. 2016], o custo do SDR e acessórios para uma ERB comunitária é de $c_1 = \text{R\$ } 10.500,00$. Com base em enlaces já instalados, estima-se que o rádio P2P e acessórios somam $c_2 = \text{R\$ } 1.100,00$. De forma conservadora, assume-se que todos os rádios, de ERBs comunitárias e enlaces P2P, requerem torres de 30 m e sistemas de alimentação a energia solar, adotando-se que cada torre e sistema custam $c_3 = \text{R\$ } 26.000,00$ e $c_4 = \text{R\$ } 43.500,00$, respectivamente. Assumindo-se que o governo subsidia completamente o tráfego no backbone, o custo de CAPEX para a rede com backhaul do exemplo usando exclusivamente rádios P2P é $C_c^r = N_e(c_1 + c_2 + c_3 + c_4) + N_t(c_2 + c_3 + c_4) = \text{R\$ } 34.496.400,00$. O custo de despesas operacionais (OPEX) por torre é estimado em $c_5 = \text{R\$ } 400,00$ [Leite et al. 2016], de forma que o OPEX mensal para a rede toda é $C_o^r = c_5(N_e + N_t) = \text{R\$ } 177.600,00$. É interessante comparar a rede com base em rádios P2P com o uso de satélite comercial como backhaul para todas as N_e comunidades-alvo. Ignorando o custo de instalação das antenas de satélite, o CAPEX $C_c^s = N_e(c_1 + c_3 + c_4) = \text{R\$ } 26.400.000,00$ é apenas devido às ERBs comunitárias e o OPEX mensal usando as condições citadas da HughesNet e do GESAC são $C_o^{s0} = \text{R\$ } 82.500,00$ e $C_o^{s1} = \text{R\$ } 321.420,00$, respectivamente.

Os custos estimados para o Pará neste trabalho são apenas ilustrativos, mas indicam fatores que devem ser levados em conta ao expandir o planejamento para a Amazônia. Almeja-se aprimorar a metodologia em conjunto com a obtenção de melhores estatísticas e estimativas de cobertura levando-se em conta o relevo, etc.

5. Conclusões

Há várias ações que podem alavancar TICp/D na Amazônia. Por exemplo, o IBGE poderia disponibilizar, já no próximo Censo, informações anônimas mas georeferenciadas. Outra informação importante é acerca dos backbones, em especial os governamentais. No aspecto de legislação, o uso de espectro para fins sociais é de extrema importância. O Brasil hoje adota rádios P2P em frequências elevadas (e de relativo baixo alcance) simplesmente para evitar lidar com licenças, procedimentos e taxas. Daí, em região como a Amazônia, os enlaces ficam muito mais caros e ineficazes, mesmo com abundância de espectro não utilizado. Por fim, a tecnologia de SDR para redes comunitárias deve evoluir para que seu custo diminua, ao mesmo tempo em que as questões como homologação desses rádios são definidas. Desta forma, as redes de telefonia comunitária poderão se somar aos esforços com base em WiFi e outras tecnologias em prol das comunidades PAEP.

Referências

- Anatel (2017). Anatel - report stations by location. <http://sistemas.anatel.gov.br/stel/consultas/ListaEstacoesLocalidade/tela.asp?pNumServico=010>. Acessado em: 2017-02-27.
- Durairajan, R. and Barford, P. (2016). A techno-economic framework for broadband deployment in underserved areas. In *Proceedings of the 2016 Workshop on Global Access to the Internet for All*, GAIA '16, pages 7–12, New York, NY, USA. ACM.
- Exército Brasileiro (2016). Programa Amazônia Conectada. <http://www.amazoniaconectada.eb.mil.br>. Acessado em 2017-04-20.
- Facebook (2016). Conectivy Lab. Disponível em: <https://info.internet.org/en/story/connectivity-lab/>. Acessado em: 2017-04-17.
- Governo do Estado do Pará (2016). NavegaPará. <http://www.navegapara.pa.gov.br/>. Acessado em 2017-04-20.
- GSMA (2016). Policy options for connecting and enabling the next billion GSMA submission. disponível em: http://www.intgovforum.org/multilingual/index.php?q=filedepot_download/3416/32. Acessado em: 2017-04-17.
- ITU (2013). ICT Facts 2013 - Estatísticas de Telecomunicações da ITU-T, de 2005 a 2013. Disponível em: http://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Documents/statistics/2013/ITU_Key_2005-2013_ICT_data.xls. Acessado em: 2017-04-17.
- ITU (2016). Partnership on Measuring ICT for Development. Disponível em: <http://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Pages/intlcoop/partnership/>. Acessado em: 2017-04-17.
- Leite, J., Klautau, A., and Muller, F. (2016). Projeto de telefonia celular GSM baseada em open source e open hardware para comunidades rurais isoladas e carentes na região amazônica: estudo de caso em Itabocal - Irituia - Pará. Master's thesis, UFPA.
- PRODEPA (2017). Empresa de TIC do Estado do Pará. Disponível em: <http://www.prodepa.pa.gov.br/>. Acessado em 2017-04-20.
- Witten, I. and Frank, E. (1999). *Data mining: Practical machine learning tools and techniques with java implementations*. Morgan Kaufmann.

A Gestão Dinâmica do Espectro: um novo paradigma de democratização dos meios de comunicações sem fio

Thiago O. S. Novaes¹, Rafael Diniz², Jader R. Gama³

¹ Associação Brasileira do Rádio Digital - ABRADIG
Rua Des. Júlio C. Silveira, n. 1028, Limeira – SP – 13.480-485 – Brasil

² Grupo de Processamento Digital de Sinais – Campus Universitário Darcy Ribeiro
Departamento de Engenharia Elétrica – Universidade de Brasília – DF -
70.919-970 - Brasil

³ Núcleo de Altos Estudo Amazônicos - Universidade Federal do Pará - Av. Perimetral,
n. 1 - Guamá, Belém – PA – 66.075-750 - Brasil

novaes@riseup.net, rafaeldiniz@telemidia.puc-rio.br, gama.puraque@gmail.com

Abstract. *This article aims to contrast a set of regulations and current laws around the management of the radio electric spectrum inserting it in the emerging context of dynamic management of this public good. Extending the scope for guaranteeing rights conquered since the Constitution of 1988, the challenge posed refers to a paradigm shift, considering the spectrum as a good that everyone has the possibility of accessing with new technologies, such as cognitive radio and software-defined radio, more efficient than the exclusive use model practiced by States.*

Resumo. *Este artigo tem por objetivo contrastar um conjunto de regulamentos e leis vigentes que envolvem o gerenciamento do espectro radioelétrico inserindo-o no contexto emergente de gestão dinâmica deste bem público. Ampliando o escopo de garantia de direitos conquistados desde a Constituição de 1988, o desafio posto se refere à mudança de paradigma, passando-se a considerar o espectro como um bem a que todos têm a possibilidade de acessar com novas tecnologias como rádio cognitivo e rádio definido por software, mais eficientes que o modelo de atribuição de uso exclusivo praticado por Estados.*

1. A Legislação sobre Espectro no Brasil

Este brevíssimo artigo tem por objetivo responder à chamada do Workshop WTICp/D 2017, que apresenta entre seus tópicos de interesse os seguintes temas que abordaremos: “Políticas e aspectos regulatórios”, ao que somaremos uma reflexão sobre emergência das tecnologias de “rádio cognitivo e rádio definido por software” enfatizando cláusulas pétreas da Constituição Federal do Brasil, e contrastando-as com recentes reformas de mídia praticadas por países da América Latina enquanto referências para a atualização de Políticas de gestão do espectro mediadas por estas tecnologias.

Do ponto de vista jurídico, o espectro se constitui como um bem público. A Resolução Nº 67, de 03 de novembro de 2016, assim destaca no inciso I do parágrafo 1º: “o espectro de radiofrequências é um recurso limitado, constituindo-se em bem público, administrado pela Agência”.

Os bens públicos podem ser divididos entre *res publicae* e *res communis omnium*. Como *res publicae*, o espectro seria um bem público de propriedade do Estado e por ele disciplinado e regulado. No sentido romano de *res communis omnium*, ao contrário, o espectro pertenceria a todos, à toda a coletividade [Pinheiro, 2013, p. 190]. Diante do surgimento de tecnologias que realizam a gestão do espectro de maneira mais eficiente que os Estados, garantindo “a utilização eficiente e adequada do espectro; o emprego racional e econômico do espectro e a ampliação do uso de redes e serviços de telecomunicações”, tal como previstos nos incisos II, III e IV da referida e vigente Resolução da Anatel, como, afinal, tecnologias como rádio cognitivo e rádio definido por software poderiam permitir um maior acesso cidadão ao espectro?

O maior obstáculo para a ocupação plena do espectro é atribuído, desde o começo das transmissões de rádio, à interferência. Sabemos, entretanto, que este fenômeno não se deve a qualquer natureza do espectro, mas aos esquemas de transmissão e recepção que refletem, na verdade, em “como a má política criou a má ciência” [Weinberger 2003]. Esta política se reflete, no Brasil, assim como em outros países, em uma regulação dos serviços de rádio baseada no modelo comercial [Rebouças e Dias 2016, p. 45] cujas empresas não têm interesse em se desenvolverem a partir do aumento da concorrência, mas, ao contrário, empenham-se como podem na diminuição sistemática do número de emissoras com sinal disponível no ar, pois lhes ameaçam o recebimento de propaganda publicitária.

Contemporaneamente, a interferência tem sido referenciada de maneira enganosa, sugerindo um risco para a aviação sem qualquer fundamento técnico, como o demonstrou no Senado brasileiro o pesquisador Marcus Manhães (2006). Assim conclui o seu artigo: “se uma rádio qualquer estiver transmitindo com potência máxima de 25 Watt ERP e, se a mesma estiver afastada 1,5km dos pontos de teste ou de receptores aeronáuticos, o nível desta emissora no receptor aeronáutico será necessariamente inferior aos valores de corte e de gatilho, como efeito da perda em espaço livre. Essa perda representa a menor perda concebível na propagação de sinais eletromagnéticos e que, deste modo, garantirá o atendimento aos limites técnicos impostos, ao resultar em nível inferior ao valor mínimo para o nível de corte, que excetua tal emissão da composição de interferentes”.

2. Histórico e Alternativas Jurídicas para Gestão do Espectro no País

No Brasil, o surgimento do rádio esteve associado à ideia de promover a educação à distância em um país continental, mas essa missão parece ainda hoje assimilada por poucos radiodifusores, considerando que possuem sobretudo um interesse comercial nas emissões [Rebouças e Dias 2016, p. 43].

Uma das maneiras de tentar evitar a concentração dos meios que canalizam o debate público e prejudicam o desenvolvimento social é realizada, em vários países, interditando-se a propriedade cruzada sobre as empresas que veiculam as opiniões e conteúdos de interesse público. Argumenta-se que “quando a mídia não reflete a diversidade e o pluralismo das informações e opiniões, isso constitui uma ameaça à democracia e à sociedade” [Rebouças e Dias 2016, p. 49].

No entanto, a radicalidade da mudança técnica em curso impõe não apenas um desmonte crítico dos regulamentos em vigor, mas que busquemos amparos constitucionais em outros capítulos além do dedicado à comunicação social, incluindo a sadia qualidade de vida, o direito à cultura e à educação, e a liberdade de expressão.

Em uma primeira proposta alternativa, cumpre ressaltar a abordagem do Prof. Celso Pacheco Fiorillo (2000), que advoga o uso consciente e legal do espectro mediante aprovação de relatório técnico de impacto ambiental. O jurista defende que as ondas eletromagnéticas podem causar malefícios à saúde humana, e que, assim como outros bens difusos, o espectro seria um bem ambiental, amparando-se no Art. 225 da Constituição Federal de 1988. Além de deslocar a tradicional visão militar e estratégica para um entendimento cidadão de direito de acesso ao espectro, aludindo ao direito de antena, tal formulação aponta igualmente para a municipalização da regulamentação, já que considera que o espectro é, em última instância, um bem do qual se usufrui localmente.

Se entedermos o papel dos equipamentos que se utilizam do espectro como meios de transmissão de conteúdos oriundos muitas vezes das mais diversas manifestações culturais, outro artigo constitucional a que se deve prestar especial atenção para efetuar uma regulação cidadã, é o que versa sobre os direitos culturais, o Art. 215: “O Estado garantirá a todos o pleno exercício dos direitos culturais e acesso às fontes da cultura nacional, e apoiará e incentivará a valorização e a difusão das manifestações culturais”.

Por fim, mas não menos importante, o artigo que visa garantir o acesso de qualquer pessoa ao espectro, independentemente de prévia autorização, está registrado no inciso IX, do Art. 5: “é livre a expressão da atividade intelectual, artística, científica e de comunicação, independentemente de censura ou licença”. Tal formulação dá continuidade, no Brasil, ao que garante o Art XIX da Declaração Universal dos Direitos Humanos. Juntos, acreditamos que esses marcos legais não deixam dúvida sobre a necessidade de se buscarem todos os meios técnicos disponíveis para ampliar o acesso ao espectro, sendo bastante conveniente para este fim a chegada de novas tecnologias que auxiliem em uma gestão mais eficiente, e democrática, deste bem público.

3. A Complementaridade dos Serviços de Comunicação Social

A relação de proporcionalidade entre os serviços de comunicação, tal como a entendemos, é prevista no Art. 223 da Constituição Federal do Brasil, de 1988: “Compete ao Poder Executivo outorgar e renovar concessão, permissão e autorização para o serviço de radiodifusão sonora e de sons e imagens, observado o princípio da complementaridade dos sistemas privado, público e estatal”. Porém, permanece ainda muito precariamente regulamentada no Brasil. Nos últimos anos, alguns países da América Latina realizaram reformas em suas respectivas leis de mídia, as quais tomamos como referência as mais recentemente promulgadas na Argentina, na Bolívia e no Equador.

Na Argentina, a Lei 26.522 de serviços de comunicação audiovisual, de 2009, reserva 33% dos espaços radioelétricos disponíveis, em todas as bandas de radiodifusão sonora e de televisão terrestres, em todas as áreas de cobertura, para pessoa jurídicas sem fins de lucro. (Art. 89, f). Embora o alto preço praticado para se concorrer à licitação das frequências continue afastando muitas emissoras pequenas e comunitárias do espectro, tal iniciativa apontou para um desejo de reequilíbrio do uso do espectro em benefício de toda a sociedade argentina.

Na Bolívia, a Lei Geral de Telecomunicações, Tecnologias de Informação e Comunicação, Lei Nº 164, de 8 de agosto de 2011, prevê que a distribuição do total de canais da banda de frequências para o serviço de radiodifusão em frequência modulada e televisão analógica em nível nacional onde exista disponibilidade, sujeitar-se-á ao seguinte: Estado, com até 33%, Comercial, até 33% e Social comunitário, com até 17% para povos indígenas originários, camponeses, e 17% para as comunidades interculturais e afro-bolivianas (Art. 10, I). Inovando sobre a gestão do espectro, destaca-se uma abordagem étnica, voltada para a garantia dos direitos de minorias, algo inédito sobre a comunicação social tanto do continente quanto em âmbito mundial.

No Equador, “as frequências do espectro radioelétrico destinadas ao funcionamento de estações de rádio e televisão de sinal aberto se distribuirão equitativamente em três partes, reservando 33% destas frequências para a operação de meios públicos, 33% para a operação de meios privados e 34% para operação de meios comunitários” (Art. 106). Mais uma vez, notamos uma tentativa de divisão mais justa do acesso ao espectro, visando estimular transmissões tanto de grandes atores quanto de pequenas comunidades.

Observemos que, embora distintas e considerando diferentes conceitos, as três leis visam garantir o fomento ao debate público a partir de emissoras que não sejam exclusivamente as comerciais. No caso argentino, é explícita a referência a emissoras sem fins de lucro; para os bolivianos, inclui-se uma perspectiva étnica de propriedade sobre os meios, havendo uma preocupação com as visões de mundo e questionamentos trazidos por camponeses, povos indígenas, afro-bolivianos e comunidades que entendemos serem miscigenadas. E, finalmente, no Equador, há uma defesa explícita de que a maior parte do espectro, 34%, seja dedicada aos meios comunitários. Porém, no Brasil, que propostas há para atualizar leis e assegurar um interesse público que considere o debate público o mais amplo possível no contexto digital?

Historicamente, os grandes atores a ocuparem o lugar do “público” sob o princípio jurídico da complementaridade no provimento dos serviços de comunicação são as chamadas Rádios Comunitárias. Paralelamente a essas, destacamos as Rádios Livres, que partem do pressuposto de que o espectro é um Bem Comum (*res communis omnium*), e que o Art. 5º da Constituição Federal e o Art. XIX da Declaração Universal dos Direitos Humanos, de 1948, asseguram que se ocupem as frequências livres, sem prévia autorização ou licença, diferentemente do regime previsto para as Rádios Comunitárias. Independentemente de nos determos aqui em defender ou criticar tal posicionamento político, interessa-nos apontar que, especialmente no contexto digital, a proposta das Rádios Livres parece estar hoje amparada por uma novo regime de gestão do espectro, considerando que essas emissoras buscaram sempre dar um uso efetivo do espectro por meio da ocupação de faixas que se encontravam livres, hoje identificáveis por tecnologias emergentes, como rádio cognitivo e rádio definido por software.

4. A Gestão Dinâmica do Espectro

De acordo com Maximiliano Martinhão, representante da ANATEL durante o Fórum de Governança da Internet em João Pessoa, em 2015 “no Brasil, em metade das cidades, apenas metade do espectro alocado é efetivamente utilizado” [Novaes e Afonso 2016]. Tal constatação o levava a questionar: “Se existem novas tecnologias que podem oferecer um uso mais justo do espectro, quais são as oportunidades e desafios na atual transição do analógico para digital?” [ibidem].

Martinhão se refere ao rádio cognitivo e rádio definido por software, tecnologias que possuem a capacidade de configurar os parâmetros do sistema de rádio, como potência e compartilhamento do espectro, sendo capazes de escolher a melhor banda de espectro para transmissão, como é o caso do rádio cognitivo. O rádio definido por software permite que grande parte das atribuições do hardware passem a ser executadas no software, incluindo várias possibilidades técnicas impensáveis no regime analógico: mediante técnicas de “spread spectrum” e “ultrawideband”, vários equipamentos podem transmitir em uma mesma frequência com muito pouca interferência; investindo em antenas definidas por software, os receptores podem rejeitar interferências vindas de outras direções, permitindo que se detectem transmissões mais fracas; permitindo o ajuste dinâmico da potência do transmissor, com base nas informações comunicadas dos receptores, pode-se reduzir a potência de transmissão para o mínimo necessário, mitigando a interferência sobre outros equipamentos, e estendendo a vida da bateria em dispositivos portáteis, princípio que aumenta a capacidade total sistema de comunicação de redes. Em suma, combinadas, as eficiências propostas pela configuração dinâmica dos equipamentos, aliada à possibilidade de ocupação dinâmica do espectro, encontrando os melhores espaços, e realizando divisões na transmissão de dados pelo espectro para viabilizar uma comunicação otimizada, todos esses avanços vêm sendo debatidos como transformadores mesmo do paradigma de escassez, apontando para um regime de abundância de espectro [Staple e Werbach 2004]. Mas afinal, o que essa mudança significa para a comunicação social, e como a apropriação de novas tecnologias poderia levar a uma efetiva democratização dos meios de comunicação?

5. Conclusão

Este breve texto se propôs a apresentar juridicamente as principais disputas que envolvem o uso do espectro radioelétrico na atualidade. Ao investigar o argumento da interferência como limitante do livre acesso ao espectro, esperamos ter apontado as principais razões para proliferação de um discurso sobre os riscos da interferência que, sem fundamentação técnica, têm servido para a manutenção de um sistema comercial de comunicação, em prejuízo da função educadora e de fomento ao debate público que possuem os meios. Em seguida, descrevemos algumas abordagens alternativas para gestão do espectro, e os principais marcos legais a serem considerados em um momento de revisão da regulamentação sobre a comunicação social. Enfatizou-se o entendimento sobre o princípio de complementaridade dos serviços, partindo das legislações de três países vizinhos do Brasil, terminando com a demonstração da viabilidade da ampliação cidadã da ocupação do espectro por meio da apropriação de tecnologias digitais que proporcionam um uso mais eficiente do espectro. Por fim, o artigo aponta para um novo paradigma de democratização dos meios a partir da apropriação técnica direta de novas tecnologias, trazendo perguntas sobre um futuro da gestão do espectro que nos surge como uma grande abertura, e em franca mutação.

Referências

- Fiorillo, C. P. A. (2000), O Direito de Antena Em Face do Direito Ambiental no Brasil, Brasil, Saraiva.
- Manhães, M. (2006) “Desmitificando as Interferências de radiodifusão FM em Comunicações Aeronáuticas”.
<http://muda.radiolivre.org/sites/muda/files/Interferencia%20radio%20FM.pdf>.
- Novaes, T. e Afonso, C. (2016) “Alocação de espectro eletromagnético: desafios e oportunidades na ponta”. <https://politics.org.br/edicoes/aloca%C3%A7%C3%A3o-de-espectro-eletromagn%C3%A9tico-desafios-e-oportunidades-na-ponta>
- Pinheiro, G. N. (2013) “Uma Perspectiva Neoconstitucional da Regulação do Espectro Radioelétrico”. Revista Direitos Humanos e Democracia. Editora Unijuí, ano 1, n. 2, jul./dez.
- Rebouças, B. H. B. e Dias, E. N. (2016) “Radio and the media regulation in Brazil”. Radio, Sound and Society Journal, 1(1), p. 42-56.
- Staple, G. e Werbach, K. (2004) “The end of spectrum scarcity – new technologies and regulatory reform will bring a bandwidth bonanza”.
<http://spectrum.ieee.org/telecom/wireless/the-end-of-spectrum-scarcity>
- Weinberger, D. (2003). “O Mito da Interferência no Espectro de Rádio”. Tradução livre de Guilherme Barcellos.
<http://culturadigital.br/josemurilo/2014/11/10/o-mito-da-interferencia-no-espectro-de-radio/>.

Rede Digital para Integração Social: Experiências da Universidade Federal do Sul da Bahia

Raimundo José de Araújo Macêdo^{1,2}, Alirio Santos de Sá^{1,2}

¹ Pró-Reitoria de Tecnologia de Informação e Comunicação (PROTIC),
Universidade Federal do Sul da Bahia (UFSB), Bahia, Brasil.

² Laboratório de Sistemas Distribuídos (LaSiD),
Departamento de Ciência da Computação (DCC), Instituto de Matemática (IM), Universidade
Federal da Bahia (UFBA), Bahia, Brasil

{macedo, aliriosa}@ufsb.edu.br

***Abstract.** Federal University of Southern Bahia (UFSB) is the youngest federal university in Brazil. Located in the southern region of Bahia state, covering the "descobrimento" and "cacau" coasts, UFSB has three campi that are located at least 200km distant from each other. Each campus has a number of academic units such as Institutes and Professional centers, and a set of University Colleges located in nearby cities or villages. Such a spread and regionally distributed structure requires networked digital educational technologies as well as management systems, all connected to the Internet. In this paper, we present the challenges faced to implement UFSB digital network and related services, highlighting design principles and strategies adopted to overcome the limitations imposed by the lack of communication and network infrastructure in the region.*

***Resumo.** A Universidade Federal do Sul da Bahia (UFSB) é a mais jovem Universidade Federal do Brasil. Localizada na região sul da Bahia, cobrindo as Costas do Descobrimento e do Cacau, a UFSB é distribuída em três campi que distam pelo menos 200 km entre si. Cada campus possui unidades acadêmicas e centros de formação profissional, além de um conjunto de Colégios Universitários localizados em pequenas cidades da região. Tal dispersão geográfica requer tecnologias educacionais com interfaces digitais e sistemas de governança articulados em rede e conectados à Internet. Este artigo apresenta os desafios enfrentados para conceber e implantar a rede digital da UFSB e serviços relacionados, ressaltando princípios de projeto e estratégias que foram adotadas para superar a carência de infraestrutura de comunicações e banda larga da região.*

1. Introdução

A capacidade de realização de uma sociedade nos dias atuais depende fortemente de sua habilidade em lidar de forma eficiente e abrangente com as Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC). Portanto, os efeitos da ausência de infraestrutura adequada e de conhecimentos amplos sobre essas tecnologias, tornam as regiões menos desenvolvidas ainda mais vulneráveis [1]. Reconhecendo a importância das TIC em processos contemporâneos de ensino e aprendizagem e na governança institucional, a UFSB (criada pela Lei 12.818 de 5 de Junho de 2013), em seus princípios norteadores, explicitados em sua Carta de Fundação e Plano Orientador [2], coloca as TIC como elementos estruturantes de sua organização – inclusive, criando a primeira Pró-Reitoria de Tecnologia de Informação e Comunicação (PROTIC) de Instituições de Ensino Superior do País. Ideia depois seguida por outras universidades, a exemplo da UFOB e UFPE.

A arquitetura curricular da UFSB adota o regime de ciclos de formação. O estudante tem acesso à universidade através de Bacharelados ou Licenciaturas Interdisciplinares e depois avança para habilitações profissionais ou carreiras acadêmicas específicas. O primeiro ciclo, comum aos estudantes de uma das áreas do conhecimento, deve apresentar os respectivos campos de práticas, posicionando o estudante como integrante de um mesmo aprendizado social em prol de objetivos compartilhados. A etapa de formação geral do primeiro ciclo (primeiro ano) tem a finalidade de promover visão interdisciplinar, consciência planetária, abertura à crítica política, acolhimento à diversidade e respeito aos saberes da comunidade. Essa etapa de formação universitária, que inclui componentes curriculares como *introdução ao raciocínio computacional e matemática e cotidiano*, é oferecida tanto nos campi quanto numa Rede de Colégios Universitários (CUNIs) localizados em municípios e localidades do território de abrangência da universidade.

A dispersão geográfica da UFSB, e seu intuito de atingir comunidades remotas, demandam tecnologias educacionais com interfaces digitais para criação, uso e compartilhamento de conteúdos e integração entre equipes docentes. Do ponto de vista administrativo, ferramentas digitais são requeridas e utilizadas para facilitar e tornar mais eficientes os processos de gestão de forma descentralizada.

2. Rede Digital da UFSB

Para cumprir sua missão, a UFSB precisa dispor de uma rede digital robusta e que suporte atividades intensas de ensino-aprendizagem e gestão acadêmico-administrativa, integrando os três campi, núcleos de apoio em Ilhéus e Salvador, Colégios Universitários em pequenos municípios do Sul e extremo Sul da Bahia e complexos integrados de educação. Tal modelo de funcionamento e seu contexto regional impõem uma série de desafios, dos quais destacados os dois a seguir.

(D1) Ausência de infraestrutura de banda larga adequada. Na época de instalação da Universidade, em Julho de 2013, a região Sul da Bahia não possuía uma infraestrutura de rede banda larga adequada para atender as demandas da UFSB. A Rede Nacional de Pesquisa¹ (RNP) tinha dificuldades para contratação de provedores de telecomunicações para atender as instituições federais de ensino e pesquisa do interior da Bahia e, além disso, não tinha planos para conexão dos CUNIs. Na época, existiam várias iniciativas para implantação de Banda Larga, mas sem uma previsão tangível de concretização² para a região Sul. Na iniciativa privada, os grandes provedores não tinham infraestrutura e nem interesse em atender muitos dos pequenos municípios sede dos CUNIs. Muitos destes municípios eram atendidos por pequenos provedores que não possuíam uma infraestrutura de rede e de suporte com a mesma maturidade dos grandes provedores.

(D2) Universidade em implantação. Pelo fato da UFSB ser uma Universidade nova, sendo criada sem herdar qualquer estrutura de outra universidade (o que é raro para universidades novas), com um modelo *sui generis* de funcionamento e organização, não existia um histórico de demandas tecnológicas que pudessem orientar o desenho da infraestrutura de TIC. Além disso, o processo de implantação impõe um crescimento rápido e gradativo da demanda pelo uso de recursos computacionais. Outro aspecto é o desafio de lidar com um quadro reduzido de pessoal, e ainda sem as especialidades necessárias, para acomodar todas as demandas de TIC da Universidade.

Para orientar o enfrentamento desses desafios, definimos três princípios norteadores

¹ Ver informações em: <http://www.rnp.br/>

² Ver, por exemplo, os projetos “Banda Larga” (<http://www2.secti.ba.gov.br/programas-projetos/rede-de-banda-larga-da-bahia>) e o projeto Gigasul (<http://nit.uesc.br/portal/acoes/projeto-gigasul/>).

(requisitos de alto nível) para o projeto da rede digital da UFSB:

(P1) Alinhamento Estratégico. Atender ao modelo de funcionamento da Universidade, descrito em seu Plano Orientador [2], que inclui grande capilaridade regional na distribuição de suas unidades acadêmicas, uso intenso de TICs em de seus processos de ensino/aprendizagem, entre outros.

(P2) Eficácia e Eficiência. Como estratégia para atingir este requisito, adotamos os seguintes princípios de projeto: (a) *Busca por Confiabilidade* a partir de infraestruturas que minimizem dependências e riscos, permitindo soluções ou modos de funcionamento alternativos, e possivelmente sub-plenos (ou degradados), na ocorrência de falhas de componentes ou de eventos não previstos durante o projeto; (b) *Busca por Sustentabilidade*, observando, por exemplo, a eficiência no uso de energia, no reuso e no descarte de materiais; (c) *Busca por melhores compromissos entre custo e benefício*, observando quais soluções podem atender aos desafios da Universidade ao mesmo tempo em que reduzam custos ou demanda de pessoal; e (d) *Transparência de Procedimentos e Métodos*, permitindo que os mesmos sejam facilmente auditáveis.

(P3) Planejamento de Curto e Longo Prazos. Estabelecer planos de curto e longo prazos. As ações que atendam às necessidades imediatas da UFSB (curto prazo) devem ser convergentes com as metas do planejamento de longo prazo.

2.1 Estratégia de Construção da Rede, Diretrizes, Planejamento

A partir dos desafios (D1 e D2) e princípios norteadores (P1,P2 e P3), deduzimos alguns requisitos técnicos de baixo nível que deveriam ser considerados durante a construção da rede digital, descritos a seguir: *Desempenho adequado*, de modo a garantir interação síncrona via rede, a partir de conexões com baixa latência e oscilação (*jitter* de comunicação) na transmissão de mensagens, largura de banda adequada para acomodar os fluxos de transmissão e baixa perda de mensagens; *Confiabilidade*, de modo a evitar que falhas comprometam atividades fortemente dependentes da rede digital; *Segurança adequada*, para garantir os níveis desejados de confidencialidade das informações e de disponibilidade e integridade de serviços e dados.

A partir das demandas e dos requisitos técnicos levantados, foi desenhado o modelo de rede digital para a UFSB, considerando um planejamento de longo prazo, denominado **plano de operação plena**. Para atender às demandas imediatas, também foi estabelecido um planejamento de curto prazo, denominado **plano de operação sub-plena**, o qual ajusta a capacidade e a qualidade do serviço ofertado pela rede digital às limitações/restrições existentes na época. Cada um destes planos é detalhado a seguir. O plano sub-pleno deveria estar disponível em um prazo de um ano, a partir de Setembro de 2013, o que de fato ocorreu, e o plano pleno em seis anos (i.e., 2019), sendo que o modelo sub-pleno continuaria operacional como backup de operações para falhas no modelo pleno..

Plano de Operação Plena. Representa um plano de longo prazo, no qual todos os serviços informatizados, recursos e ambientes de colaboração da Universidades estão disponíveis online e são oferecidos de forma confiável a qualquer momento e de qualquer lugar (modelo de computação *anytime-anywhere* [3]). Para isto, os Campi estão interligados entre si (em anel) a partir de circuitos confiáveis e com velocidades na escala de gigabit por segundo. Além disso, os Colégios Universitários (CUNIs) estão conectados a seus respectivos Campi, a partir de circuitos confiáveis e com velocidades na escala de centenas de megabits por segundo. Isto permite, por exemplo, que atividades acadêmicas sejam realizadas envolvendo interações síncronas via rede com participantes em campi e CUNIs distintos sem que estas interações tenham que compartilhar recursos com o tráfego externo à rede digital da UFSB

(e.g., tráfego de outras instituições ou da Internet). Neste plano de operação, evita-se pontos únicos de falha – isto é, falhas de conexão em um colégio ou em toda a rede de qualquer um dos campi não comprometem o funcionamento dos demais. Cada Campus também possui duas outras conexões adicionais: Conexões primárias, que interligam cada Campus ao Ponto de Presença da Rede Nacional de Pesquisa (PoP-BA/RNP) para obter acesso à Internet acadêmica e aos demais serviços da RNP; e Conexões Secundárias, que garantem interação com a Internet em caso de falhas nos links que nos conectam com a Internet provida pela RNP. De acordo a localização e disponibilidade técnica, os núcleos de apoio da UFSB devem ser interligados ao Campus mais próximo ou diretamente ao PoP-BA/RNP, como é o caso do Núcleo da UFSB em Salvador.

O plano pleno também considera o uso de provedores de infraestruturas de computação em nuvem para hospedar sistemas e ambientes digitais vitais para universidade, tais como correio eletrônico, ambientes virtuais de aprendizagem, sistemas de gestão etc. Esta estratégia permite contornar a ausência e o custo de implantação de infraestruturas físicas e de pessoal especializados demandados por centros de dados (*datacenters*). Além disso, o modelo prevê mini *datacenters* em cada campus, os quais são usados para abrigar um número reduzido de servidores de rede necessários para execução de serviços básicos de rede e para facilitar a implantação de serviços digitais que apoiem a colaboração e interação digital internamente na UFSB: telefonia baseada em rede de digital (VoIP), serviços replicados de conferência web, serviço de armazenamento de dados etc. Por fim, o plano pleno considera o uso de servidores de baixa capacidade nos CUNIs para viabilizar a entrega de serviços e ser usado para armazenamento temporário de dados utilizados em atividades acadêmicas. Estes servidores permitem, por exemplo, que certos objetos de aprendizagem estejam disponíveis mesmo mediante a falha de links de comunicação, dos minis *datacenters* de cada campus ou no provedor de computação em nuvem.

Plano de Operação Sub-plena (ou Operação Degradada). Representa um plano de curto prazo, no qual a implementação é ajustada à capacidade existente em termos de provedores de banda larga, pessoal especializado e infraestruturas físicas. Neste modo de operação, as interações são principalmente assíncronas e com conteúdo armazenado localmente, reduzindo a dependência nos links de comunicação. Uma estratégia adotada é, na medida que as implementações avançam para o modelo proposto no plano de operação plena, os componentes do plano de operação sub-plena permanecem disponíveis como uma alternativa para o contingenciamento de falhas em componentes da rede digital.

Sobre a Oferta de Infraestrutura de Banda Larga para o Sul da Bahia. Na época de instalação da Universidade, a RNP teve dificuldades em interconectar os campi da UFSB até setembro/2014, prazo previsto para início das aulas da Universidade. Então, no segundo semestre de 2013, a equipe da PROTIC/UFSB realizou um mapeamento envolvendo grandes e pequenos provedores de telecomunicações para verificar a capacidade de atendimento dos três campi e da rede de colégios universitários. Deste levantamento, foi observado que seria possível contratar provedores para interconectar os Campi ao PoP-BA/RNP com circuitos de transporte confiáveis, simétricos e dedicados de pelo menos 100 Mbps (cem megabits por segundo). Para os colégios universitários, por outro lado, verificou-se que seria possível o atendimento, de todos os colégios, a partir da contratação de *links* individuais de Internet com pelo menos 12 Mbps (doze megabits por segundo). Neste caso, os links de Internet, disponíveis para atender aos colégios universitários, seriam em sua maioria susceptíveis à falhas, com baixa qualidade e possivelmente entregues, em muitos casos, a partir da associação de circuitos de pequenos provedores.

Além disso, a Secretária de Educação do Estado da Bahia (SEC-BA) já possuía contrato com provedor de telecomunicações para provisão de links satélites para todos os colégios da rede

estadual de ensino – o que contemplava os colégios estaduais que sediam os CUNIs da UFSB. Portanto, adotamos o uso de links satélites como uma alternativa para atender aos CUNI, servindo de backup para as conexões de 12 Mbps que utilizaria enlaces de radiofrequência. Contudo, conexões satélites possuem latência de comunicação bastante elevada, não sendo adequadas para interações síncronas, podendo, no entanto, serem utilizadas para transmissões ao vivo.

Projeto Básico para Contratação dos Provedores de Telecomunicações no plano de conectividade sub-plena. A partir do contexto apresentado, a estratégia adotada para contratação dos provedores, baseado em edital próprio de nossa Universidade, foi um dos aspectos fundamentais para o sucesso da implantação da rede digital da UFSB.

O termo de referência do edital previu a separação dos circuitos em dois grupos: (1) circuitos dedicados de transporte para interligar os Campi ao PoP-BA/RNP; e (2) Circuitos de Internet para os Colégios Universitários. Além disso, a modalidade de circuitos para os CUNIs permitia a realização de consórcios para transporte de dados e as velocidades dos circuitos em ambos os grupos foram escolhidas de modo a garantir ampla concorrência (i.e., 100 Mbps para os circuitos dos Campi e 12 Mbps para os dos CUNIs).

Ao final da licitação, um provedor de grande porte apresentou preços mais competitivos para os circuitos dos Campi. Contudo, a concorrência associada à participação de pequenos e médios provedores permitiu que os preços finais ficassem 25% menores que os preços aferidos no mercado. No grupo de circuitos dos CUNIs, um provedor de médio porte apresentou preços mais competitivos que os demais, fazendo articulação com outros pequenos provedores -- que já possuíam infraestrutura de rede implantada. Isto contornou a inexistência de provedores com infraestrutura em toda a região, motivou a concorrência e reduziu os preços para 65% dos preços aferidos no mercado.

2.2 Estágio Atual

Atualmente, as conexões que atendem a UFSB evoluíram e incluem as conexões simplificadas que estão sendo apresentadas na Figura 1. Os Campi são interligados ao PoP-BA/RNP em Salvador a partir de links de fibra óptica com velocidades de 100 Mbps a 1 Gbps, em um misto de links contratados pela RNP e pela UFSB. A partir de uma negociação com o provedor que fornece as conexões para os CUNIs, conseguimos que a UFSB fizesse parte do circuito de transporte de dados entre o CUNI e a Internet. Com isso, foi possível implantar conexões de Internet de 30 Mbps (ou superior) nos Campi, as quais são fornecidas por um misto de fibra óptica e radiofrequência e servem como contingência para falhas nas conexões com a RNP. Além disso, os CUNIs passaram a ter conexões diretas de 20 Mbps (ou superior), via radiofrequência e fibra óptica, com os Campi -- o que permite uma melhor gestão da qualidade de serviço e melhor controle do tráfego para as interações síncronas via rede. A partir de convênio com a SEC-BA, os CUNIs também são atendidos por conexões secundárias via satélite, as quais propiciam redundância para contornar falhas dos links principais que atendem aos CUNIs. Outro ponto importante relacionado às conexões que atendem aos CUNIs é que (1) muitos links de radiofrequência foram substituídos por fibra óptica e muitos rádios foram trocados por outros de melhor capacidade e (2) alguns provedores do consórcio melhoraram suas rotinas de suporte e de resposta a incidentes, a partir de nossas demandas de controle de qualidade.

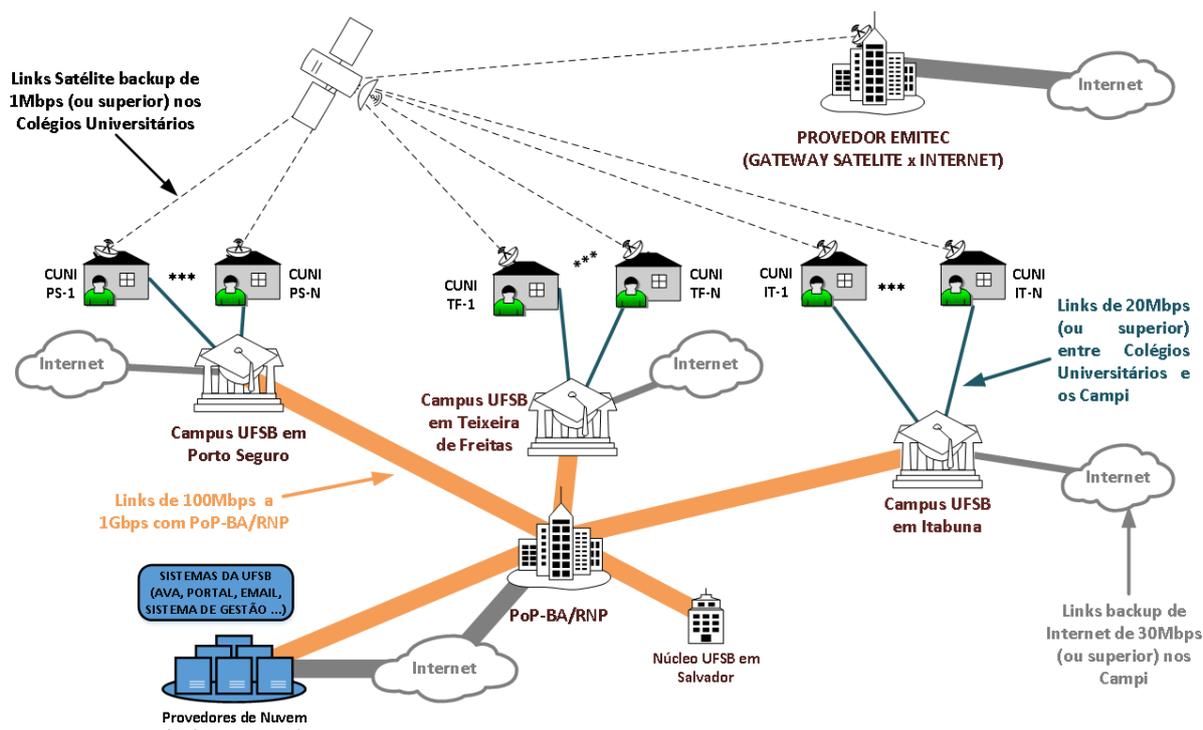


Figura 1 - Visão Simplificada da Rede Digital da UFSB

Para reduzir custos com provedores de infraestrutura em nuvem, os principais sistemas da UFSB foram hospedados em estruturas de servidores da UFSB no *datacenter* do STI/UFBA, a partir de uma parceria entre a UFBA e a UFSB. O correio eletrônico da UFSB é fornecido pelo SERPRO desde 2014, atendendo ao decreto 8.135/2013 da Presidência da República [4].

3. Conclusões

Descrevemos neste artigo os principais desafios, princípios norteadores e estratégias utilizadas na construção da rede digital da UFSB, uma universidade federal recém-criada na região Sul e Extremo Sul da Bahia. As estratégias adotadas se mostraram eficazes, resultando em uma rede digital que hoje viabiliza o funcionamento da universidade e atende ao seu modelo de ensino e aprendizagem e de gestão descentralizados - cobrindo, inclusive, uma rede de colégios universitários espalhados em pequenos municípios da zona rural -, superando expectativas negativas de implantação em função da ausência de infraestrutura adequada de banda larga na região.

Referências

- [1] Raimundo José de Araújo Macêdo. *Desenvolvimento e Tendências das Tecnologias da Informação e Comunicação no Mundo e na Bahia: Uma Visão*. 24 páginas. Abril de 2015. Disponível em <https://www.academia.edu>.
- [2] "Plano Orientador da Universidade Federal do Sul da Bahia", UFSB, Disponível em: <http://ufsb.edu.br/wp-content/uploads/2015/05/Plano-Orientador-UFSB-Final1.pdf>, acessado em 5 de Outubro de 2016.
- [3] BIRMAN, Ken; CHOCKLER, Gregory; VAN RENESSE, Robbert. Toward a cloud computing research agenda. ACM SIGACT News, v. 40, n. 2, p. 68-80, 2009
- [4] [http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2013/Decreto/D8135.htm]. Acessado em 5 de Outubro de 2016.

The Power of Partnerships in Internet Infrastructure

Peter T. Knight¹

ptknight@braude.org.br

Fernand Braudel Institute of World Economics
Rua Ceará, 2, São Paulo – SP, 01243-010

Abstract. This paper provides some of the rationale for infrastructure sharing and examples of its use in hybrid (fiber/radio) telecommunications networks in Brazil.

1. Introduction

Infrastructure sharing is a notable tendency in today's telecommunications networks, driven largely by the presence of substantial returns to scale in network construction and operation.² Partnerships to share both passive and active infrastructure can result in increased competition in the provision of Internet service and lower prices to consumers.

An article in Wikipedia³ lists many types of telecommunications infrastructure sharing:

Telecom service providers can share infrastructure in many ways, depending on telecom regulatory and legislation.

- *Passive Infrastructure* sharing is sharing non-electronic infrastructure at cell site. Passive Infrastructure is becoming popular in telecom industry worldwide.
 - *Site* sharing includes antennas and mast; this may also hold Base transceiver station (BTS), Node B in UMTS context and common equipment such as Antenna system, masts, cables, ducts, filters, power source and shelter.
 - Sharing a mast is called *mast* sharing.
 - *Antenna* sharing shares an antenna and all related connections (coupler, feeder cable), in addition to passive radio site elements.
- *Active* sharing is sharing electronic infrastructure.
- *Spectrum-sharing* (also called *Frequency* sharing) concept is based on a lease model and is often termed 'spectrum trading'. An operator can lease a part of its spectrum to another operator on commercial terms. Though this mechanism, along with that of MVNOs, exists in the US, Europe, Singapore and Australia.
- *Base station* sharing is prospective while each operator maintains control over logical *Node B* so that it will be able to operate the frequencies assigned to the carrier, fully independent from the partner operator and retains control over active

¹ The author thanks Michael Stanton for helpful comments on an earlier draft.

² See Deloitte and APC (2015), GSMA (no date), and Garcia and Kelly (2015).

³ https://en.wikipedia.org/wiki/Telecom_infrastructure_sharing. Accessed 28/04/2017.

base station equipment such as the TRXs that control reception/transmission over radio channels. Radio network controller and core network are not shared here.

- *Radio Network Controller* (RNC) sharing represents maintaining logical control over the RNC of each operator independently.
- *MSC and Routers* sharing or *backbone* sharing includes sharing switches (MSC) and routers (SGSN) on the operator's fixed network.
- *Network Sharing* where a network infrastructure is created expressly for sharing resources. For example, in Sweden 70% of the country is covered by a shared network built as a joint venture between Telenor Sweden (originally Vodafone Sweden) and HI3G (Hutcheson Investor). When a user is in one of the main cities his calls are carried by the native network infrastructure of Telenor or HI3G while outside the cities his call roams onto the shared network provided by 3GIS.

This paper discusses infrastructure sharing in some state and regional fiber optic or hybrid (fiber/radio) networks in Brazil.

2. Partnerships in fiber optic and hybrid networks in Brazil

A basic economic characteristic of fiber optic networks is that the cost of increasing the numbers of fibers in a cable before it is deployed is much less than proportional to the number of fibers. Doubling the number of fibers increases the price of the cable from 30 to 40 percent. But the total cost per kilometer of the deployed cable increases much less than this, from 10 to 20 percent for aerial installation and less than 5% if installed underground, since the cost of hanging or burying the cable is about the same irrespective of the number of fibers in the cable. So, when costs are shared among partners, usually in proportion to the number of dark (unlit) fibers to which each partner has rights, the result is a win-win situation, since each partner's costs are much less than if they had built their own fiber links. This provides a substantial incentive for the entity investing in the fiber link to find partners. Each partner usually "lights" its own pairs of fiber, or even a fraction of these, though some other aspects of the infrastructure, like cabinets holding the electronic equipment, can also be shared.

Swaps (called *permutas* in Brazil)⁴ are another way to reduce costs, and are widely used in the telecommunications industry between commercial telecommunications operators, though this fact is not widely known and it is extremely difficult to obtain maps showing each company's network and those parts that are shared or traded with other companies.⁵ Several Brazilian states, led by Pará and Ceará, have invested in their own fiber networks and engaged in sharing of fiber cables with partners including RNP, Telebras, Petrobras, and federal and state electric power distribution companies. Several other states have begun or are planning to do the same, among them Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Sergipe, and Tocantins.⁶ In addition the Brazilian Army

⁴ See <http://eduardogrizendi.blogspot.com.br/2017/04/as-permutas-de-infraestrutura-optica-no.html> for a discussion of *permutas*.

⁵ See Knight (2014), especially Chapter 1, "The Strategic Importance of the Internet for Brazil's Development" for further analysis.

⁶ See *Ibid*, Chapter 5, "What Is Being Done to Improve Internet Connectivity". Also, Carvalho, Feferman, Knight and Woroch, (2016),

is partnering with several other organizations in the Amazônia Conectada program to put 7,800 km of sub-fluvial fiber optic cables in rivers of the Amazon river system.⁷

In the following paragraphs, some details are provided on public-private, public-public, and private-private partnerships in four Brazilian networks: Pará's *Navegapará*, Ceará's Digital Beltway (*Cinturão Digital*), the Brazilian Army's *Amazônia Conectada*, and *Net Rocinha*, a private-sector ISP based in Rio de Janeiro's largest favela, Rocinha.

Navegapará

In 2007 the Pará State ICT Company (*Empresa de Tecnologia da Informação e Comunicação do Estado do Pará – Prodepa*) became the first partner in the National Education and Research Network (*Rede Nacional de Ensino e Pesquisa - RNP*) community network (*Redecomep*) project that now has operating networks in 40 Brazilian cities, 26 of them in state capitals, with a total of about 2,400 km of fiber optic cables. Belém's metropolitan network is called MetroBel. Leadership for the initial concepts of MetroBel came from the Federal University of Pará (UFPA) and the Emílio Goeldi Museum (MPEG) in Belém.

In 2007, the MetroBel consortium signed an agreement with the government of the state of Pará (GEPA) through its Secretariat of Science and Technology (SECTI) and Prodepa. This agreement gave Prodepa access to two pairs of fiber (later increased to three pairs), leaving 21 pairs of the total of 24 for RNP, and provided for the expansion MetroBel to reach other government installations. In return, Prodepa agreed to cover part of the maintenance costs of the network.

MetroBel was constructed in three stages.

- In the first stage, there was an agreement (*convênio*) with the Metrobel consortium that ceded two pairs of dark fiber to the Pará state government. In return the state government paid part of MetroBel's maintenance costs. That network was about 40 km in length.
- From this initial ring, Prodepa expanded the network to reach other state installations, building an additional 115 km, using its own resources. Of the 24 pairs of fibers in this expansion, three were ceded to the RNP, leaving 21 for Prodepa. Thus, the state operated a network on only three pairs in RNP's original network and 21 pairs in the expansion. Later RNP entered into an agreement whereby it ceded some of its 21 in the original MetroBel to Telebras. This caused some problems (unmatched pairs) and it was not possible to add additional partners, as there was insufficient excess capacity on those parts of the metropolitan network originally constructed by RNP. This model was not financially sustainable since Prodepa did not have excess fiber to lease to potential partners in return for financial remuneration or in-kind services.

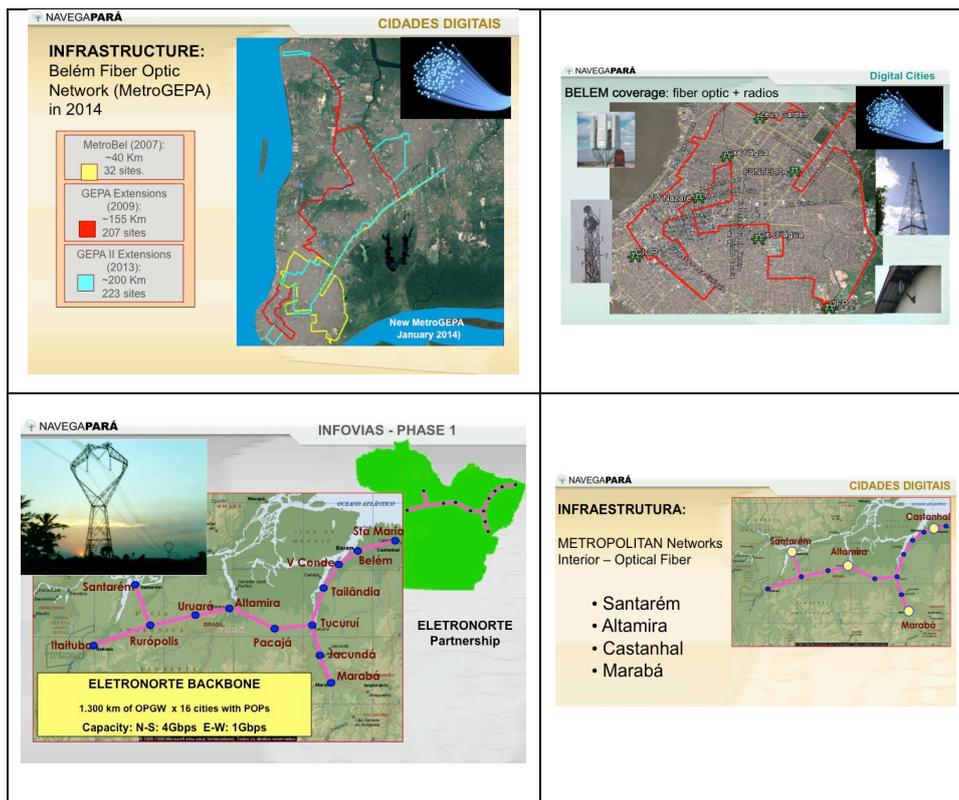
The government sought to guarantee the financial sustainability of the network by investing in an additional 50 km of fiber, in this way closing a ring with 24 pairs and making possible new partnerships to lease unused dark fiber other branches and agencies

⁷ See Grizendi, Stanton and Sales (2016) and <http://www.amazoniaconectada.eb.mil.br/eng/>. Accessed 28/04/2017.

of government (judicial, municipal, public bank (Banpará) and perhaps eventually to private operators should GEPA authorize such leases, and thereby finance operations and maintenance costs of the entire network.

To develop the government network outside of Belém (known as Navegapará), the state government signed an agreement with Eletronorte (ELN) to access two pairs of existing fiber in the optical ground wire (OPGW) cable on ELN's high voltage transmission lines in the state. Figure 1 provides a map of Navegapará's Phase 1 fiber network in the state. Improvements to raise the speed of the Belém-Santarem route to 10 Gbps were made as part of Phase 2, in partnership with Eletronorte and RNP, also shown in Figure 1.

RNP has invested in other fiber networks in Pará state, including four cities: Santarem, Altamira, Marabá, and Castanhal, to serve university campi and research institutions in these cities. These are part of RNP's Redecomep project, supported by the Ministry of Science, Technology, Innovations and Communications (MCTIC).⁸ These additional fiber networks have 30 pairs, of which 21 are for RNP and nine for the Pará state government (GEPA), and in return GEPA has added an extra segment in the city of Marabá. Under this agreement GEPA does not pay RNP for use of the nine pairs, but built the additional segment in Marabá and maintains all five networks.



⁸ See <http://www.redecomep.rnp.br/> Accessed 29/04/2017.

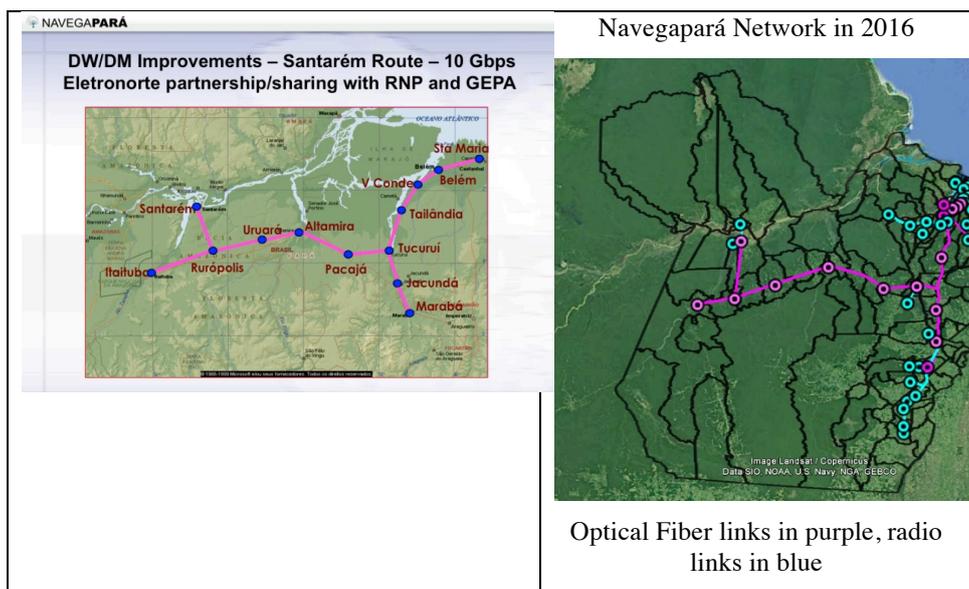


Figure 1: Metrobel and Navegapará

Source: Prodepa

Of GEPA’s nine pairs (three through the *convênio* with RNP plus six in return for building the Marabá segment), the Para State Electric Company (*Companhia de Energia Eltrica do Pará – Celpa*) received two, Telebras three, and the municipal governments one, the remaining three went to Prodepa for Navegapará. Payments in kind or in services from Celpa, Telebras, Banpar (a bank owned by the GEPA) and the municipal governments (and possibly from private partners if Prodepa leases one or two of its three pairs should this be authorized by GEPA) should go a long way toward assuring financial sustainability for Navegapará. As of 2017, Navegapará’s network provided connectivity in 82 of Pará’s 144 municipalities. Figure 2 shows in different colors the expansions in Navegapará’s network from the initial Eletronorte backbone in 2008 through mid-2017.

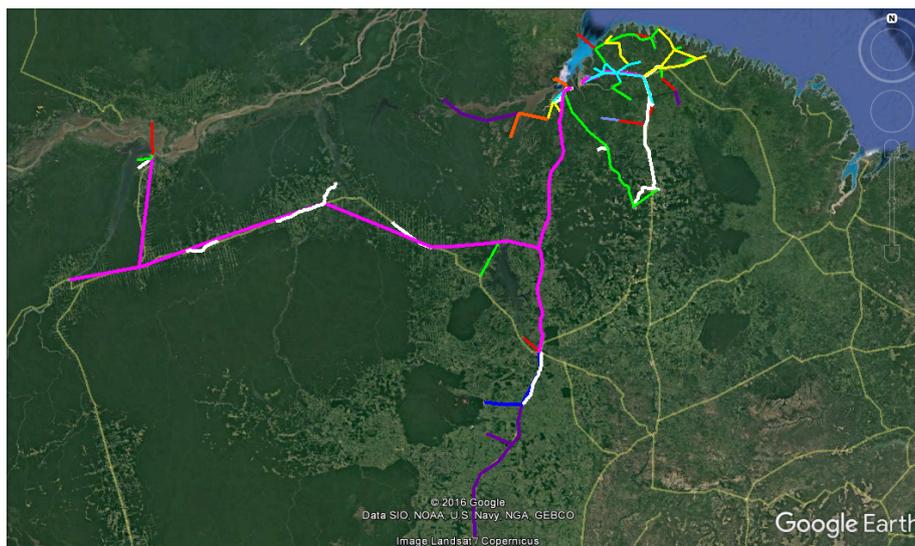


Figure 2: Navegapará Network, mid-2017

Source: Prodepa

Ceará's Digital Beltway⁹

A unique collaboration of public and private interests was at the heart of the Ceará Digital Beltway (*Cinturão Digital do Ceará*, “CDC”) project. The CDC is a fiber network with wireless extensions that delivers high-speed data transmission throughout the Brazilian state of Ceará. This project was undertaken by the State of Ceará's ICT company *Empresa de Tecnologia da Informação do Ceará* (Etice) which specified the terms and conditions for collaboration with other public organizations and with private sector partners. The CDC model innovates on the conventional public-private partnership (PPP) to conform to the economic and political conditions that prevail in the target markets.

The CDC relies on partnerships with RNP for sharing investment costs and fibers in cables, the state power company (exchange of fibers for use of their poles), and more recently leasing of fibers to private-sector operators to achieve long-term financial sustainability using a business model. This model includes (i) usage-based fees for state government clients, (ii) sale of network services to municipalities and local populations at cost, with involvement of regional ISPs, and (iii) lease of network capacity to private sector concessionaires to cover Etice's operational costs and maintenance expenses with the CDC network, beginning in 2016. At the end of 2015, the CDC supplied Internet access to 1.5 million users, linking more than 2,000 points throughout the state, at speeds up to 1 Gbps.



Figure 3: Ceará's Digital Beltway

Source: Etice

⁹ See Carvalho, Feferman, Knight and Worocho, (2016) for an extensive analysis of this network.

Amazônia Conectada¹⁰

The Amazonia Connected program (*Programa Amazônia Conectada*) was launched in 2015 by the Brazilian Army, though the concept was first developed by RNP.¹¹ The Army has led its gradual rollout, in partnership with RNP, the state IT companies Prodam (the Amazonas state ICT company) and Prodepa (the Pará state ICT company), the governments of the states of Amazonas and Pará, and the federal government-owned telephone and electrical energy companies (Telebras and Eletrobras), among others. The program has an estimated extension of 7,800 km and encompasses five routes called Information Highways (*Infovias*) along the following rivers: Negro, Solimões, Madeira, Purus and Juruá (the purple lines in Figure 3). An initial proof of concept project was successfully carried out in the Negro River at Manaus, where a stretch of about 7 km of subfluvial cable was laid, interconnecting two Brazilian Army units and completing an optical ring with RNP's Metropolitan Network of Manaus – MetroMAO.

A pilot project interconnecting Coari and Tefé, 240 km apart on the Solimões River, was concluded in the first semester of 2016, and has been providing terrestrial service to Tefé, in combination with a radio link between Coari and Manaus. Before this, communication to Tefé was only possible by a very expensive satellite link. The second stage of Amazônia Conectada, to be carried out in 2017, will provide subfluvial links between Manaus, Manacapuru and Coari, by the Solimões River, and between Manaus and Novo Airão by the Negro River, a total distance of approximately 500 km. As of May 2017, the segment linking Manaus and Coari had been completed, so now fiber optic speeds are available all the way to Tefé. The Brazilian army's agreement with the Ministry of Education is to connect schools along the river free of charge. To accomplish this, the Army is negotiating partnerships with local Internet service providers to connect to the fiber cable and provide commercial service in return for connecting the schools free of charge.

¹⁰ The *Amazônia Conectada* project is analyzed in detail in Grizendi, Stanton, and Sales (2016).

¹¹ See Grizendi and Stanton (2013).



Figure 4: Planned routes of subfluvial cables for the **Amazônia Conectada** program

Source: Grizendi, Stanton, and Sales (2016), p 330

Net Rocinha¹²

Net Rocinha is a private company providing Internet services in one of Rio de Janeiro's largest *favela* (squatter community), Rocinha. It was founded and is owned by two entrepreneurs born in the community and as of April 2017 had 2,000 paying customers. In 2017, it began offering 100 Mbps fiber-to-the-home (ftth) service. Net Rocinha has plans to expand to other communities in the Rio de Janeiro area and beyond making use of joint investments in fiber optic cables with two other private companies that should also greatly reduce Net Rocinha's cost of connecting via two separate (redundant) routes to Rio de Janeiro's PPT.

3. Conclusions

It is well known that partnerships for the construction and operation of telecommunications infrastructure can reduce costs and promote competition. But partnering between different organizations with differing objectives in the public and private sectors is not easy, and usually involves innovative, tenacious, and visionary leadership to realize economic and social benefits. That has certainly been the case in the Brazilian cases presented in this paper.

References

- Coimbra, A. and Silva, S. (2016). "Fiber in the Favela: Our experience in Rocinha", Chapter 15 in Knight, Feferman, and Foditsch (2016), pp 338-350.
- Deloitte and APC (2015). *Unlocking Broadband for all: Broadband infrastructure sharing policies and strategies in emerging markets*,

¹² Coimbra and Silva (2016) gives a detailed account of Net Rocinha and its development.

<https://www.apc.org/en/system/files/Unlocking%20broadband%20for%20all%20Full%20report.pdf>. April. Accessed 25/04/2017.

Garcia, J. M. and Kelly, T. (2015). “The Economics and Policy Implications of Infrastructure Sharing and Mutualisation in Africa” Background Paper for the 2016 World Development Report. Washington, DC: The World Bank, November.

<http://pubdocs.worldbank.org/en/533261452529900341/WDR16-BP-Infrastructure-Mutualisation-Garcia.pdf>. Accessed 25/04/2017.

Grizendi, E. and Stanton, M. (2013). “Use of Subfluvial Optical Cable in a Region Without Land-Based Infrastructure – a Project to Deploy Advanced Communications in the Amazon Region”, *Proceedings and reports of the 6th UbuntuNet Alliance annual conference*, Kigali, Ruanda: 14-15 November 2013. Lilongwe, Malawi: UbuntuNet Alliance,

pp 53-68. Available at <https://www.ubuntunet.net/sites/default/files/grizend.pdf>. Accessed 29/04/2017.

Grizendi, E., Stanton, M., and Sales, D. (2016). “Underwater Cables in Brazil and the World”, Chapter 14 in Knight, Feferman and Foditsch (2016), pp 315-337.

GSMA, *Mobile Infrastructure Sharing* (no date)

https://en.wikipedia.org/wiki/Telecom_infrastructure_sharing,

<http://www.gsma.com/publicpolicy/wp-content/uploads/2012/09/Mobile-Infrastructure-sharing.pdf>. Accessed 25/04/2017.

Knight, P. T. (2014). *The Internet in Brazil: Origins, Strategy, Development, and Governance*. Bloomington, Indiana: Author House.

Knight, P., Feferman, F., and Foditsch, N. eds. (2016). *Broadband in Brazil: Past, present and future*. São Paulo: Figurati/Novo Século (free eBook available from Google books at

https://books.google.com.br/books/about/Broadband_In_Brazil.html?id=FS2rDQAAQBAJ&redir_esc=y). The Portuguese version was published in July 2016 and is available as an eBook from Amazon and Google Books as well as in print and electronic formats in bookstores in Brazil or directly from the publisher at

<http://www.gruponovoseculo.com.br/banda-larga-no-brasil.html>. Accessed 29/04/2017/

Carvalho, Fernando, Flavio Feferman, Peter Knight and Glenn Woroch, “Public-private partnerships for the expansion of access to broadband: lessons of Ceara’s Digital Beltway”, Chapter 13 in Knight, Feferman, and Foditsch (2016), pp 279-314.

Realização



Apoio Fomento



Apoio Institucional



Patrocinador Diamante



Patrocinador Ouro



Patrocinador Bronze

