

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

SAMARA SOARES DE OLIVEIRA

**PROCEDIMENTO PARA ESCOLHA DE PONTOS DE  
ACESSO DE REDES SEM FIO WI-FI INDOOR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
à Escola de Engenharia de São Carlos, da  
Universidade de São Paulo, Curso de  
Engenharia Elétrica com ênfase em  
Eletrônica.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Amílcar Careli César

SÃO CARLOS  
2014

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO,  
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS  
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

SOL48p      Soares de Oliveira, Samara  
                Procedimento para escolha de pontos de acesso de  
                redes sem fio Wi-Fi indoor / Samara Soares de Oliveira;  
                orientador Amílcar Careli César. São Carlos, 2014.  
  
                Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica com  
                ênfase em Eletrônica) -- Escola de Engenharia de São  
                Carlos da Universidade de São Paulo, 2014.  
  
                1. projeto de redes. 2. redes sem fio. 3. Wi-Fi. I.  
                Título.

# FOLHA DE APROVAÇÃO

Nome: Samara Soares de Oliveira

Título: "Um procedimento para escolha de pontos de acesso de redes WI-FI INDOOR"

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado  
em 27/6/2014,

com NOTA 7,0 (sete, dez), pela Comissão Julgadora:

*Prof. Titular Amílcar Careli César - (Orientador - SEL/EESC/USP)*

*Prof. Dr. Marcelo Basílio Joaquim - (SEL/EESC/USP)*

*Profa. Dra. Mônica de Lacerda Rocha - (SEL/EESC/USP)*

Coordenador da CoC-Engenharia Elétrica - EESC/USP:  
Prof. Associado Homero Schiabel

## Resumo

Wi-Fi é uma marca registrada da *Wi-Fi Alliance*, que certifica dispositivos de rede local para fios (*WLAN*) aderentes ao padrão IEEE 802.11. Dispositivos com certificação Wi-Fi estão habilitados para conexão à internet. A cobertura de um ou mais pontos de acesso –, os *hotspots*, pode estender-se desde um cômodo pequeno a um espaço amplo com muitos metros quadrados. O padrão Wi-Fi permite serviço de rede em residências privadas, em empresas, assim como em ambientes públicos, gratuitas ou pagas. A ausência de projetos para a instalação de rede sem fio Wi-Fi tem causado baixa qualidade no oferecimento do produto. Portanto, esse trabalho aborda um procedimento acessível de instalação de rede sem fio Wi-Fi, finalizando com um programa que possibilite a usuários não especialistas escolher os pontos de acesso para as suas redes sem fio *Wi-Fi indoor*. Para a validação desse software, foram feitas medidas de potência por meio de um software disponível na web.

## Abstract

Wi-Fi is a *Wi-Fi Alliance* trademark, which is used by certified products that belong to the class of local wireless network devices (WLAN), based on the standard IEEE 802.11. Wi-Fi is a trademark of the Wi-Fi Alliance, which certifies devices for wireless LAN (WLAN) compliant to IEEE 802.11 standard. The Wi-Fi certification enables devices to connect to the internet. The coverage of one or more access points, hotspots, can extend from a small room to a large space with many square meters. The Wi-Fi standard allows network service in private residences and companies, as well as public, free or paid environments. The lack of simple procedures for installing points of Wi-fi mainly in households has affected the quality of the wireless connection.. Thus, this monograph addresses a handy procedure to install Wi-Fi network, concluding with a program that enables the non-expert users to choose the access points for their indoor wireless networks. To validate the software, power measurements were performed with software available on the web.

## Sumário

Resumo .....	i
Abstract .....	ii
Lista de Figuras .....	v
Lista de Tabelas .....	vi
Lista de Siglas .....	vi
Lista de Unidades .....	viii
1 Introdução.....	1
1.1 Objetivo do Trabalho .....	2
1.2 Organização do Texto .....	3
2 Revisão Bibliográfica .....	3
2.1 Multiplexação por espalhamento espectral .....	3
2.1.1 FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) .....	4
2.1.2 DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum).....	4
2.2 Camada Física (Camada PHY) .....	5
2.2.1 OFDM (Ortogonal frequency-division multiplexing).....	5
3 Padrões Wi-Fi.....	6
4 Faixas de Frequências Utilizadas pelo Wi-Fi.....	9
5 Hardware .....	10
5.1 Dispositivos.....	10
5.1.1 Ponto de Acesso (Access Point).....	10
5.1.2 Wireless Switch.....	11
5.1.3 Outros dispositivos.....	11
6 Propagação em Redes sem fio Wi-Fi.....	12
6.1 Caracterização do Canal Rádio .....	12
6.2 Distância.....	12
6.3 Variação de Larga Escala (Long-term fluctuation /slow fading).....	16
6.4 Variação de Pequena Escala (Short-term fluctuation/fast fading) .....	17

7	Projeto de Redes sem fio Wi-Fi indoor .....	18
7.1	Site Survey .....	18
7.1.1	Principais obstáculos e interferências na transmissão.....	19
7.1.2	Processo de seleção dos Pontos de Acesso .....	20
8	Software .....	23
9	Resultados experimentais .....	31
10	Referências .....	35

## **Lista de Figuras**

<b>Figura 1 – Padronização IEEE para redes sem fio Wi-Fi [2].....</b>	<b>6</b>
<b>Figura 2 – Atenuação mediana em relação à distância (Potência do sinal (dBm) x Distância entre antenas transmissora e receptora (m)) [5].....</b>	<b>13</b>
<b>Figura 3 – Zona de Fresnel: D é a distância entre o transmissor e o receptor; r é o raio da primeira Zona de Fresnel (n=1) no ponto P. P está a uma distância d1 do transmissor e d2 do receptor [6].....</b>	<b>16</b>
<b>Figura 4 – Processo de seleção dos pontos de acesso [11] .....</b>	<b>21</b>
<b>Figura 5 - Software.....</b>	<b>24</b>
<b>Figura 6 - Destaque para como a seleção de antenas é efetuada no software.....</b>	<b>26</b>
<b>Figura 7 - Destaque para como a inserção dos dados do imóvel quanto ao comprimento, a largura e o número de andares é efetuada no software. ....</b>	<b>27</b>
<b>Figura 8 - Destaque para o retorno do software quanto ao número de pontos de acesso que devem ser empregados e onde precisam se localizar.....</b>	<b>31</b>
<b>Figura 9 - Destaque para a inserção dos dados do imóvel quanto ao comprimento, a largura e o número de andares. ....</b>	<b>32</b>
<b>Figura 10 - Destaque para o retorno do software quanto ao número de pontos de acesso que devem ser empregados e onde precisam se localizar.....</b>	<b>32</b>
<b>Figura 11 - Planta baixa do piso térreo, do primeiro piso e do segundo piso do prédio de Laboratório de Ensino da Engenharia Elétrica. ....</b>	<b>33</b>

## **Lista de Tabelas**

<b>Tabela 1 – Técnicas de Multiplexação dos padrões Wi-Fi [4].</b>	<b>8</b>
<b>Tabela 2 – Destinação das faixas de frequências 2,4/5 GHz [4].</b>	<b>9</b>
<b>Tabela 3 – Características dos padrões Wi-Fi no mundo [2].</b>	<b>10</b>
<b>Tabela 4 – Atenuação do sinal em diferentes tipos de materiais [10].</b>	<b>20</b>

## **Lista de Siglas**

AES	Advanced Encryption Standard
ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações
AP	Access Point
CCK	Complementary Code Keying
COFDM	Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing
DNS	Domain Name System
DSL	Digital Subscriber Line
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum
FHSS	Frequency Hopping Spread Spectrum
FSPL	Free Space Path Loss
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
ISM	Instrumentation, Scientific and Medical
IP	Internet Protocol

LAN	Local Area Network
LCD	Liquid Crystal Display
MIMO	Multiple-Input Multiple-Output
NAT	Network Address Translation
OEM	Original Equipment Manufacturer
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
PCI	Peripheral Component Interconnect
PCMCIA	Personal Computer Memory Card International Association
PHY	Camada Física
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
RX	Receptor
TKIP	Temporal Key Integrity Protocol
TX	Transmissor
U-NII	The Unlicensed National Information Infrastructure
USB	Universal Serial Bus
VoIP	Voice Over Internet Protocol
WAN	Wide Area Network
WAP	Wireless Application Protocol
WECA	Wireless Ethernet Compatibility Alliance
WEP	Wired Equivalent Privacy
WLAN	Wireless Local Area Network

WMM	Wi-Fi Multimedia
WPA	Wi-Fi Protected Access

## **Lista de Unidades**

dB	Relação entre potências de saída e de entrada de uma rede em escala logarítmica
dBm	Potência em escala logarítmica em referência a 1 miliwatt (1mw)
GHz	Gigahertz, $10^9$ Hz
kbps	Quilobits por segundo
Km	Quilômetro
Mbps	Megabits por segundo

## 1 Introdução

A tecnologia sem fio utiliza sinais de radiofrequência ou infravermelho para a conexão dos usuários a uma rede, operando como uma extensão ou alternativa às redes locais convencionais cabeadas, conhecidas por *LANs* (*Local Area Network*).

Há dois tipos de instalação de redes locais sem fio, *WLANS* (*Wireless Local Area Network*): *Indoor* e *outdoor*. As *WLANS indoor* possibilitam a transferência de informações entre dispositivos de rede localizados em ambientes fechados, limitados a curtas distâncias. Essas redes oferecem todas as funcionalidades de uma rede convencional e são úteis para ambientes que apresentem dificuldades na instalação de soluções cabeadas ou são sujeitos a mudanças constantes de *layout*.

Já as *WLANS Outdoor* possibilitam a comunicação entre pontos externos, sendo útil para interligação de empresas com setores geograficamente distantes (enlaces ponto-a-ponto) ou provedores de acesso à internet (enlaces ponto-multiponto).

Um padrão amplamente utilizado para esses tipos de rede é o padrão Wi-Fi - há um fórum de padronização cujo nome é *Wi-Fi Alliance* [1]. O padrão Wi-Fi admite uma implantação de custo mais baixo de redes locais (*LANs*). Ainda se pode hospedar *WLANS* em ambientes onde uma rede a cabo não pode ser instalada, como espaços a céu aberto e monumentos históricos. Os fabricantes incluem placas de rede sem fio Wi-Fi na maioria dos *laptops*. Os produtos instituídos "Wi-Fi Certified" pela *Wi-Fi Alliance* são compatíveis. Qualquer aparelho Wi-Fi padrão irá operar em qualquer parte do mundo. A criptografia *Wi-Fi Protected Access (WPA2)* utiliza o *AES (Advanced Encryption Standard)* junto com o *TKIP (Temporal Key Integrity Protocol)* com chave de 256 bits. Novos protocolos de qualidade de serviço (*WMM - Wi-Fi Multimedia*) fazem com que o Wi-Fi seja mais apropriado para

aplicações como voz e vídeo, e formas de racionamento de energia (*WMM Power Save*) ampliam a vida útil da bateria.

As vantagens de utilizar-se a tecnologia Wi-Fi vão ao encontro das principais necessidades mundiais. Mesmo porque, a evolução no que se diz respeito à taxa de transmissão, a possibilidade de locomoção entre as células de comunicação sem fio, à robustez contra interferências e também quanto à segurança, as torna uma tecnologia com diversas aplicações.

Não obstante, a acessibilidade aumentou exponencialmente, uma vez que os custos estão cada vez menores. Com isso observou-se a dificuldade do usuário em selecionar uma antena que se adequasse as suas necessidades, assim como, como proceder com relação à localização e ao número de pontos de acesso a ser utilizado.

Diante deste cenário, percebe-se que esta tecnologia será adotada amplamente em aplicações cada vez mais complexas e, por isso, a necessidade de programas para facilitar o projeto de redes se faz cada vez mais necessário.

Neste trabalho, apresentaremos o padrão Wi-Fi, suas características e funcionalidades, e um programa escrito em planilha Excel para auxiliar a escolha do número de pontos de acesso em ambientes fechados.

## 1.1 Objetivo do Trabalho

São objetivos desta monografia apresentar o padrão Wi-Fi e estudar os problemas relacionados à seleção, localização e número de pontos de acesso de rede que, muitas vezes, não correspondem às características morfológicas e físicas da área de cobertura, não possuem capacidade de transmissão suficientes e apresentam baixa qualidade de sinal. Desenvolvemos um programa em planilha Excel para auxiliar a instalação de pontos de acesso em edificações. A utilização do programa é simples, acessível a qualquer usuário.

## 1.2 Organização do Texto

O texto está disposto em capítulos do seguinte modo. No Capítulo 2 é feito uma revisão bibliográfica. No Capítulo 3 é mostrado uma concisa descrição do padrão Wi-Fi. No Capítulo 4, apresentamos as faixas de frequências definidas mundialmente para o uso do padrão. No Capítulo 5, é apresentado sucintamente o *hardware*. No Capítulo 6, a propagação em redes sem fio Wi-Fi. No Capítulo 7 apresenta-se o projeto de redes sem fio Wi-Fi *indoor*. No Capítulo 8 é apresentado o programa e no Capítulo 9, os resultados experimentais.

## 2 Revisão Bibliográfica

Neste tópico abordam-se as técnicas de multiplexação por espalhamento espectral *FHSS* (*Frequency Hopping Spread Spectrum*) e o *DSSS* (*Direct Sequence Spread Spectrum*), e também a técnica de multiplexação por divisão de frequência *OFDM* (*Orthogonal frequency-division multiplexing*).

### 2.1 Multiplexação por espalhamento espectral

A vantagem das técnicas de espalhamento espectral é o aumento da robustez dos sinais transmitidos e a redução de interferências através da distribuição do sinal em uma grande faixa de frequências. Esta técnica permite que diversos dispositivos operem na mesma faixa de frequência simultaneamente.

Nesse trabalho serão abordadas as técnicas de multiplexação por espalhamento espectral *FHSS* e *DSSS*, que são fundamentais para multiplexar os sinais modulados uniformemente sobre uma larga faixa de frequências do espectro.

### 2.1.1 FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum)

O FHSS opera na banda *ISM* de 2,4 GHz e é um método que utiliza como meio de transmissão o rádio de alcance limitado. O sinal é difundido por uma sequência pseudoaleatória que é gerada por 79 canais de frequência com 1 MHz de largura de banda cada.

Para que as estações estejam sincronizadas, é necessário utilizar igualmente todos os canais da sequência – o que pode ser garantido com a utilização de um mesmo gerador de números pseudoaleatórios.

Através do sincronismo entre receptor e transmissor, considerando que o receptor conhece a série de canais, a informação será inteiramente recuperada, provendo também, maior segurança já que não é possível observar as transmissões se não conhecer a sequência de saltos ou o tempo de parada.

### 2.1.2 DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)

Também conhecida por pseudorruído, esta técnica é a que a maioria das *WLANs* utiliza. Os transmissores utilizados nessa tecnologia enviam o sinal com a adição de bits redundantes de dados. Cada tempo de bit é dividido em  $n$  subintervalos chamados *chips*. Para transmitir um bit, uma estação deve enviar uma sequência de *chips*. Para a transmissão de 1 Mbps, tem-se o envio de  $n$  Mchip/s. Esse método garante a robustez a interferências. O padrão IEEE 802.11 determinou o número de onze *chips* para a DSSS.

Uma vez que o receptor precisa conhecer o código sequência de um transmissor para poder decifrar os dados corretamente – tenha captado todos os sinais de dados, ele usa um correlator para decodificar os *chips* e recuperar o sinal. O código sequência

é o que permite que diversos sistemas de *DSSS* operem em uma mesma área sem interferência mútua.

Para aumentar a taxa de transferência, a especificação IEEE 802.11b utiliza a técnica de codificação *CCK* (*Complementary Code Keying*), que é uma codificação da modulação *QPSK* (*Quadrature Phase Shift Keying*). Essa codificação é composta por um conjunto de 64 palavras de 8 bits. Esse conjunto de palavras utiliza as funções *Complementary Codes*, que permitem que elas sejam distinguidas mesmo em meio ao ruído [5].

Assim como o *FHSS*, o *DSSS* utiliza a radiofrequência como meio de transmissão, operando na banda *ISM* de 2,4 GHz.

## 2.2 Camada Física (Camada PHY)

O desenvolvimento da camada física do padrão Wi-Fi foi fundamentado no método de multiplexação *OFDM*, o qual é utilizado para transmitir altas taxas de dados mesmo em condições de falta de visada direta.

### 2.2.1 OFDM (Orthogonal frequency-division multiplexing)

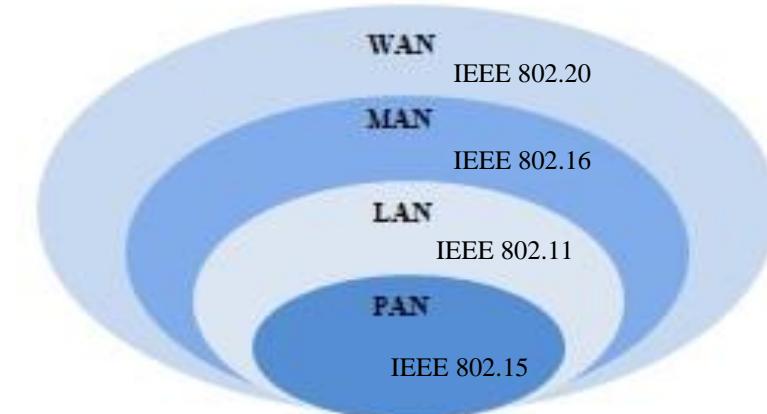
A técnica de multiplexação *OFDM* é uma variação da multiplexação por divisão de frequência (*FDM*) empregada nos sistemas de telefonia e nas tecnologias de redes de acesso como a rede sem fio Wi-Fi. A *OFDM* pertence ao grupo de multiplexação multiportadoras e a técnica utiliza a divisão de um fluxo digital de alta taxa de bits em vários fluxos digitais de baixa taxa de bits, e em seguida, modula e transmite esses fluxos em portadoras distintas. As portadoras, ou subportadoras, são geradas de modo que elas sejam linearmente independentes (ortogonais) entre si. Desta

forma, cada portadora não sofre interferência das outras portadoras transmitidas. Elas têm a mesma amplitude e são transmitidas simultaneamente, mas entre os símbolos *OFDM* são colocadas portadoras pilotos, que são empregadas na sincronização, e bandas de guarda, para eliminar totalmente a interferência entre portadoras – uma vez que possuem maior duração que o tempo de atraso da transmissão de cada símbolo *OFDM*.

### 3 Padrões Wi-Fi

O IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) patrocina um grupo de pesquisa chamado de *Wireless Local-Area Networks Standard Working Group*, com a finalidade de criar padrões para redes sem fio Wi-Fi, definindo uma camada física para redes onde as transmissões são realizadas na frequência de rádio ou infravermelho, e um protocolo de acesso ao meio, o *DFWMAC* (*Distributed Foundation Wireless MAC*). Esse padrão é denominado de Projeto IEEE 802.11.

A Figura 1 mostra o padrão Wi-Fi (IEEE 802.11) e outros padrões para redes sem fio Wi-Fi.



**Figura 1 – Padronização IEEE para redes sem fio Wi-Fi [2].**

Os principais padrões na família IEEE 802.11 são [3]:

**IEEE 802.11a:** Padrão Wi-Fi para frequência 5 GHz com capacidade teórica de 54 Mbps, que utiliza a técnica de multiplexação *OFDM*.

**IEEE 802.11b:** Padrão Wi-Fi para frequência 2,4 GHz com capacidade teórica de 11 Mbps, utiliza o *DSSS* e a técnica de modulação *CCK*.

**IEEE 802.11g:** Padrão Wi-Fi para frequência 2,4 GHz com capacidade teórica de 54 Mbps. Além da técnica de multiplexação *OFDM*, também pode utilizar o *CCK*.

**IEEE 802.11n:** Padrão Wi-Fi para frequência 2,4 GHz e/ou 5 GHz com capacidade de até 600 Mbps. Esse padrão emprega como técnica de transmissão o *MIMO-OFDM* (*Multiple-Input Multiple-Output – Ortogonal frequency-division multiplexing*).

A multiplexação por divisão de frequência ortogonal (*OFDM*) é uma forma de espalhamento espectral, uma vez que as transmissões estão espalhadas por várias frequências ao mesmo tempo. O sistema de codificação baseia-se na modulação por deslocamento de fase. O método tem boa eficiência espectral em termos de bit/s/Hz e maior imunidade ao desvanecimento multipercorso.

O *DSSS* é suscetível a obstáculos como colunas, móveis e paredes. Essa restrição causa redução da taxa efetiva de transmissão, o que não acontece com a técnica *OFDM*.

No modo como é implementado, o *OFDM*, é conhecido por *coded OFDM* (*COFDM*). O *COFDM* divide um sinal de banda larga em várias subportadoras de bandas menores. Uma banda de 20 MHz possui 52 subcanais (subportadoras), cada um com aproximadamente 300 kHz. Quatro subcanais são utilizados para a correção de erros e para manter a coerência do sinal em frequência. Os dados utilizam os 48 subcanais restantes. O *COFDM* exibe robustez em ambientes onde ocorrem reflexões.

A Tabela 1 proporciona uma visão da modulação dos padrões Wi-Fi [4].

**Tabela 1 – Técnicas de Multiplexação dos padrões Wi-Fi [4].**

Padrão Wi-Fi	Frequência	Multiplexação
802.11a	<b>5 GHz</b>	<b>OFDM</b>
802.11b	<b>2,4 GHz</b>	<b>DSSS</b>
802.11g	<b>2,4GHz</b>	<b>OFDM</b>
802.11n	<b>2,4 GHz e/ou 5 GHz</b>	<b>MIMO-OFDM</b>

Os padrões IEEE 802.11b e 802.11a, que usam as frequências de 2,4 e 5 GHz, são capazes de atingir taxas nominais de transmissão de 11 e 54 Mbps, respectivamente. O padrão 802.11b, apesar de operar em taxas de transmissão menores, é mais aceito no mercado do que o padrão 802.11a; as razões para isso são basicamente duas: primeiro, as interfaces 802.11b são mais baratas do que as 802.11a e, segundo, as implementações de 802.11b foram lançadas no mercado antes das implementações do 802.11a. Além disso, nesse ano foi criada a *Wireless Ethernet Compatibility Alliance* (WECA), que se organizou com o objetivo de garantir a interoperabilidade entre dispositivos de diferentes fabricantes [1].

Foi aprovado em 2003, pelo comitê de padronização da IEEE, o padrão IEEE 802.11g que trabalha na frequência de 2,4 GHz – assim como o 802.11b, mas alcança até 54 Mbps de taxa nominal de transmissão.

Os padrões 802.11b e 802.11g utilizam a banda 2.4 GHz *ISM (Instrumentation, Scientific and Medical)*. O 802.11a utiliza a banda 5GHz *U-NII (The Unlicensed National Information Infrastructure)*, que proporciona 8 canais não sobrepostos ao contrário dos 3 proporcionados na frequência de banda 2.4GHz *ISM*.

A fração do espectro da frequência de rádio empregado muda entre os países. No Brasil, as redes sem fio Wi-Fi utilizam frequências que não requerem licenciamento pela ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicações), entretanto as condições de uso destas frequências no Brasil estão estabelecidas através do regulamento sobre Equipamentos de

Radiocomunicação de Radiação Restrita [4]. A Tabela 2 apresenta a destinação das frequências no Brasil.

**Tabela 2 – Destinação das faixas de frequências 2,4/5 GHz [4].**

Frequências (GHz)	Condições de uso no Brasil
<b>2,400-2,483</b>	Destinadas no Brasil, em caráter secundário, a equipamentos de radiocomunicação restrita como redes sem fio Wi-Fi e rádio <i>Spread Spectrum</i> . A faixa de 2400 MHz é utilizada no Brasil em caráter primário pelo Serviço Auxiliar de Radiodifusão e Correlatos (SARC) e de Repetição de TV. A Anatel estabeleceu que sistemas (2400 MHz) em localidades com população superior a 500 mil habitantes e com potência superior a 400 mW, não podem operar sem autorização da Anatel.
<b>5,725-5,850</b>	Sistemas de acesso sem fio em banda larga para redes locais.
<b>5,150-5,350 5,470-5,725</b>	A faixa de 5150-5350 MHz pode ser utilizada em ambientes internos e a de 5470-5725 MHz em ambientes internos e externos.

Os outros padrões são o 802.11d, 802.11e, 802.11f, 802.11h, 802.11i, 802.11j, 802.11k, 802.11n, 802.11p, 802.11r, 802.11s, 802.11t, 802.11v, 802.11x, 802.11w, 802.11z e 802.11ac.

#### **4 Faixas de Frequências Utilizadas pelo Wi-Fi**

A utilização das faixas de frequências para o padrão Wi-Fi em diferentes países e áreas geográficas é apresentada na Tabela 3 [2].

No Brasil a maior parte das redes sem fio Wi-Fi utiliza o padrão 802.11b [2].

**Tabela 3 – Características dos padrões Wi-Fi no mundo [2].**

<b>Padrão</b>	<b>Região /País</b>	<b>Frequência (GHz)</b>	<b>Potência (mW)</b>
<b>801.11b</b>	Brasil	2,4-2,4835	100
<b>802.11b &amp; g</b>	América do Norte	2,4-2,4835	1000
<b>802.11b &amp; g</b>	Europa	2,4-2,4875	100
<b>802.11b &amp; g</b>	Japão	2,4-2,497	10
<b>802.11a</b>	América do Norte	5,15-5,25	40
<b>802.11a</b>	América do Norte	5,25-5,35	200
<b>802.11a</b>	América do Norte	5,47-5,725	Não aprovado.
<b>802.11a</b>	América do Norte	5,725-5,825	800

## 5 Hardware

### 5.1 Dispositivos

#### 5.1.1 Ponto de Acesso (Access Point)

Um ponto de acesso sem fio refere-se a um dispositivo que conecta um grupo de dispositivos sem fio a uma *LAN* com fio. Um ponto de acesso retransmite dados entre dispositivos sem fio, conectados, usualmente, a um único dispositivo com fio. Esse dispositivo é frequentemente conectado a um *HUB Ethernet* ou *Switch*, admitindo aos dispositivos sem fio comunicarem-se com outros dispositivos com fio.

As antenas usadas por padrão nos pontos de acesso são do tipo dipolo ou onidirecionais, irradiando o sinal em todas as direções, permitindo que você se conecte à rede a partir de qualquer ponto na área em torno do ponto de acesso. Há duas antenas para que

ambas recebam os sinais e os combine de forma que o melhor resultado obtido pela combinação seja utilizado pelo receptor (diversidade espacial).

### 5.1.2 Wireless Switch

É o equipamento que gerencia os pontos de acesso.

Esse equipamento oferece ao administrador uma flexibilidade excelente, com opções de direcionar o tráfego *VOIP* (*Voice Over Internet Protocol*) diretamente para o ponto de acesso, melhorando o desempenho. Com o *Wireless Switch*, o administrador também pode ativar detecções de ameaças e utilizar varreduras de radiofrequência para monitorar toda a rede sem fio Wi-Fi. Ainda, através da função *roaming* transparente, o usuário *wireless* pode acessar mecanismos de rede sem precisar de autenticação – uma vez que o *Wireless Switch* gerencia o mecanismo, mesmo não estando na mesma sub-rede.

O *roaming* é uma importante característica de comunicação sem fio. Permite que estações mudem de célula e continuem enviando e recebendo informações. Sistemas de *roaming* empregam arquiteturas de microcélulas que usam pontos de acesso estrategicamente localizados. O *roaming* entre pontos de acesso é totalmente transparente para o usuário.

### 5.1.3 Outros dispositivos

Os adaptadores como o *PCI* (*Peripheral Component Interconnect*), *miniPCI*, *USB* (*Universal Serial Bus*) e *PC card* conectam dispositivos por meio de conexões externas ou internas.

Os roteadores sem fio admitem que dispositivos de redes com fio conectem-se a um único dispositivo *WAN* (*Wide Area Network*), além de permitirem também que pontos de acesso e roteadores sejam configurados por meio de um utilitário central.

Ainda, uma rede cabeada pode ser conectada a uma rede sem fio Wi-Fi por uma ponte de rede sem fio Wi-Fi, que é distinto de um ponto de acesso – que utiliza a camada *data-link*. Em uma situação como entre duas residências afastadas, onde uma rede cabeada pode estar indisponível, duas pontes sem fio são empregadas para conectar duas redes cabeadas sobre um enlace sem fio.

Para ampliar o alcance de uma rede sem fio Wi-Fi existente, extensores de alcance podem ser utilizados. Eles também podem ser dispostos de forma a permitir que um sinal atravesse obstáculos.

## 6 Propagação em Redes sem fio Wi-Fi

### 6.1 Caracterização do Canal Rádio

Sobre a propagação *indoor*, o canal de rádio sofre atenuações em função da distância, da variabilidade de larga escala (*long-term fluctuation /slow fading*) e da variabilidade de pequena escala (*short-term fluctuation/fast fading*) do sinal.

### 6.2 Distância

Existem dois tipos de modelos de propagação, os modelos teóricos e os modelos empíricos.

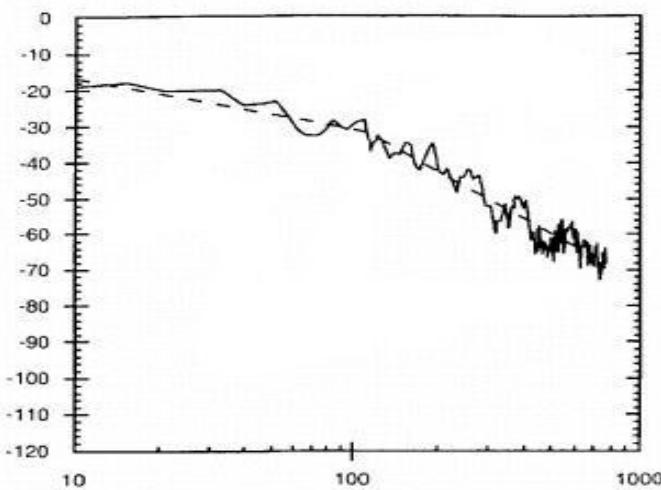
Para uma melhor adequação a um ambiente, os modelos empíricos, possibilitam uma caracterização do modelo de propagação baseado em medidas de diversos tipos de ambiente.

Os modelos teóricos são fundamentados na solução da equação de onda, avaliado o estado de contorno do espaço.

Qualquer sinal tem seu nível de potência atenuado à medida que se propaga no canal. Este fato ocorre devido ao espalhamento do sinal no espaço.

Essa atenuação tem uma relação quadrática com a distância percorrida pelo sinal, para um sinal que se propaga no espaço livre. Mas, essa atenuação pode atingir uma relação com a quarta ou quinta potência com a distância, em ambientes nos quais existem obstrução do sinal [5].

A Figura 2 apresenta o modelo de predição teórico de duas inclinações (*dual slope*), onde é praticável observar que a atenuação aumenta lentamente com a distância (expoente de atenuação 2) até o ponto de quebra. Posteriormente, o expoente aumenta para valores posicionados entre 3 e 9 [5].



**Figura 2 – Atenuação mediana em relação à distância (Potência do sinal (dBm) x Distância entre antenas transmissora e receptora (m)) [5].**

De acordo com [5], a propagação é usualmente descrita através de modelos de dois raios e de quatro raios. O modelo de dois raios consiste em um raio direto e um raio refletido no solo, e a distância em que o ocorre o ponto de quebra ( $d_{pq}$ ) é a distância para qual o primeiro elipsoide de Fresnel é obstruído pelo solo. A posição do ponto de quebra é condicionada, para espaço similar, às alturas das antenas e à frequência de operação conforme

$$d_{pq}(m) = \frac{4h_t h_r}{\lambda} \quad (1)$$

Na qual:

- $h_t$  = altura da antena transmissora [m];
- $h_r$  = altura da antena receptora [m];
- $\lambda$  = comprimento de onda [m].

A atenuação de potência no espaço livre (*FSPL - Free Space Path Loss*) é dada por

$$FSPL(dB) = P_{TX} + A_{TX} - C_{TX} + A_{RX} - C_{RX} - S_{RX} - F \quad (2)$$

Na qual:

- $P_{TX}$  = potência TX [dBm];
- $A_{TX}$  = ganho da antena TX [dBi];
- $C_{TX}$  = cabo TX [dB];
- $A_{RX}$  = antena RX [dBi];
- $C_{RX}$  = cabo RX [dB];
- $S_{RX}$  = sensibilidade RX [dBm];
- $F$  = desvanecimento (*fading*) [dB].

Encontrando o valor de FSPL através de (2), o valor da distância máxima é adquirido, através de [5]

$$FSPL = 10 \log_{10} \left( \left( \frac{4\pi}{c} df \right)^2 \right)$$

$$FSPL = 20 \log_{10} \left( \frac{4\pi}{c} df \right)$$

$$FSPL = 20 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f) + 20 \log_{10} \left( \frac{4\pi}{c} \right)$$

Para distância (d) e frequência (f) em km e MHz, respectivamente, o terceiro termo é a constante 32,44.

$$FSPL = 20 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f) + 32,44$$

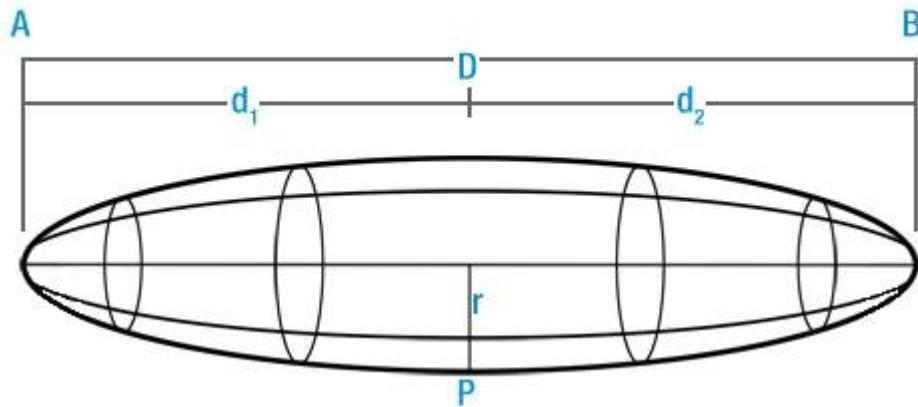
Então, tem-se:

$$| \quad \text{Distância (km)} = 10(FSPL - 32,44 - 20 \log(f)) / 20 \quad (3)$$

Na qual:

- FSPL=Free Space Path Loss [dB];
- f= frequência [MHz].

A Zona de Fresnel é a área em volta da linha de visada para onde as ondas de rádio se espalham após serem emitidas pelas antenas. É necessária uma linha de visada livre de interferências para manter uma boa qualidade, especialmente para sistemas que trabalham com 2,4 GHz, pois as ondas nesta frequência são facilmente absorvidas pela água. A Figura 3 exemplifica essa questão [6].



**Figura 3 – Zona de Fresnel:** D é a distância entre o transmissor e o receptor; r é o raio da primeira Zona de Fresnel ( $n=1$ ) no ponto P. P está a uma distância  $d_1$  do transmissor e  $d_2$  do receptor [6].

Para uma boa qualidade de sinal, 60% da Zona de Fresnel deve estar livre de interferências, conforme [8]

$$FSPL \times r = 8,66 \times \sqrt{d/f} \quad (4)$$

Na qual:

- d = distância [km];
- f = frequência [GHz];
- r = raio [km].

### 6.3 Variação de Larga Escala (Long-term fluctuation /slow fading)

A variabilidade de larga escala, ou sombreamento, é marcado por um tempo de duração maior, no entanto mais suave do que o de pequena escala. Essa variabilidade está agregada a flutuações ou variações do nível de potência do sinal ao redor do seu valor médio,

que ocorrem devido a aspectos físicos do espaço, como a própria arquitetura do imóvel, objetos ou pessoas.

#### **6.4 Variação de Pequena Escala (Short-term fluctuation/fast fading)**

A variabilidade de pequena escala é ocasionada por ondas provenientes de um transmissor, que chegam ao receptor por caminhos diferentes. Esse fenômeno é conhecido como efeito multipercorso - faz com que os sinais cheguem ao destino com amplitudes e fases diferentes. No caso da fase, quanto maior for a frequência do sinal em operação - uma alteração de disposição dos dispositivos, tanto do transmissor quanto do receptor, pode causar desvanecimentos de curta duração ao sinal recebido.

Se por exemplo, for analisado um impulso que é transmitido ao longo de um canal de rádio, quando esse chegar ao receptor, não será mais um impulso, e sim um pulso mais largo (*delay spread* – espalhamento do retardo). Esse *delay* restringirá a taxa de transmissão do sinal digital. E caso dois ou mais sinais, próximos no espectro de frequência, sofram esse atraso, podem tornar-se correlacionados. Dessa forma, quando a amplitude ou fase dos dois sinais recebidos é fortemente correlacionada, a banda por ele ocupada é determinada como largura de banda de coerência. A banda de coerência é a faixa de frequências na qual um canal exibe comportamento igual sobre todas as frequências [7].

Dentro da banda de coerência, o canal é tido plano – todas as componentes espectrais atravessam o canal sofrendo o mesmo ganho e com variação linear de fase. Portanto, quaisquer duas componentes de frequência localizadas na banda de coerência terão alta correspondência.

Para minimizar esse tipo de dificuldade a diversidade de espaço é amplamente utilizada - um terminal com duas antenas (dipolo) recebe os sinais e os combina de modo que o melhor resultado adquirido pela combinação é usado pelo receptor.

## 7 Projeto de Redes sem fio Wi-Fi indoor

### 7.1 Site Survey

*Site Survey* é uma metodologia utilizada para o desenvolvimento de projetos de redes sem fio *Wi-Fi* – é uma ferramenta indispensável para a antecipação, detecção e resolução de problemas operacionais na implementação de uma nova infraestrutura ou ampliação de uma instalação existente [9].

Essa metodologia é baseada na inspeção técnica do local onde serão instalados os equipamentos de radiofrequência da rede sem fio *Wi-Fi*. Inspeção essa que tem como principal objetivo assegurar que os sistemas e equipamentos sejam condizentes com as necessidades do projeto, maximizando as funcionalidades requeridas e otimizando o desempenho [9].

Para a realização de um *Site Survey*, são levantadas condições como [2]:

- a) Características morfológicas e físicas da área de cobertura;
- b) Capacidade de transmissão de dados que a rede deve suportar;
- c) Qualidade de sinal necessária para o bom funcionamento dessa rede;
- d) Análise de ruídos e interferências de RF;
- e) Equipamentos e sistemas mais indicados;
- f) Nível de segurança;
- g) Orçamento do projeto.

Os equipamentos utilizados para a realização de um *Site Survey* são:

- a) Um computador portátil;
- b) Um cartão PCMCIA;

- c) Ponto de acesso;
- d) *Wifi Analyser* ( opcional - *software* gratuito que analisa o sinal da rede).

### **7.1.1 Principais obstáculos e interferências na transmissão**

Concreto – A densidade das paredes diminui a potência das ondas irradiadas.

Portanto quando a espessura é grande ou existe uma série de paredes a serem ultrapassadas, o sinal é ainda mais atenuado.

Água – Grandes recipientes com água, como aquários e caixas d'água, são fontes de reflexão e atenuação do sinal quando a frequência utilizada é de 2,4 GHz, uma vez que a água absorve essas ondas de rádio.

Aparelhos eletrônicos – Telefones sem fio, micro-ondas, rádio comunicador, aparelhos de som, reatores de lâmpadas fluorescentes e até televisores de plasma ou *LCD* (*Liquid Crystal Display*), geram um sinal com uma frequência que pode sobrepor o sinal da rede sem fio Wi-Fi – o que pode influenciar ou anular o sinal emitido pelo ponto de acesso [4].

Outros pontos de acesso – Muitos pontos de acesso são utilizados com a configuração de fábrica, trabalhando, muitas vezes, em um canal saturado, o que pode sobrepor os sinais e gerar ruído.

Antenas ou Pontos de Acesso – Quanto mais alto estiver o equipamento, menos barreiras o sinal encontrará até o dispositivo receptor.

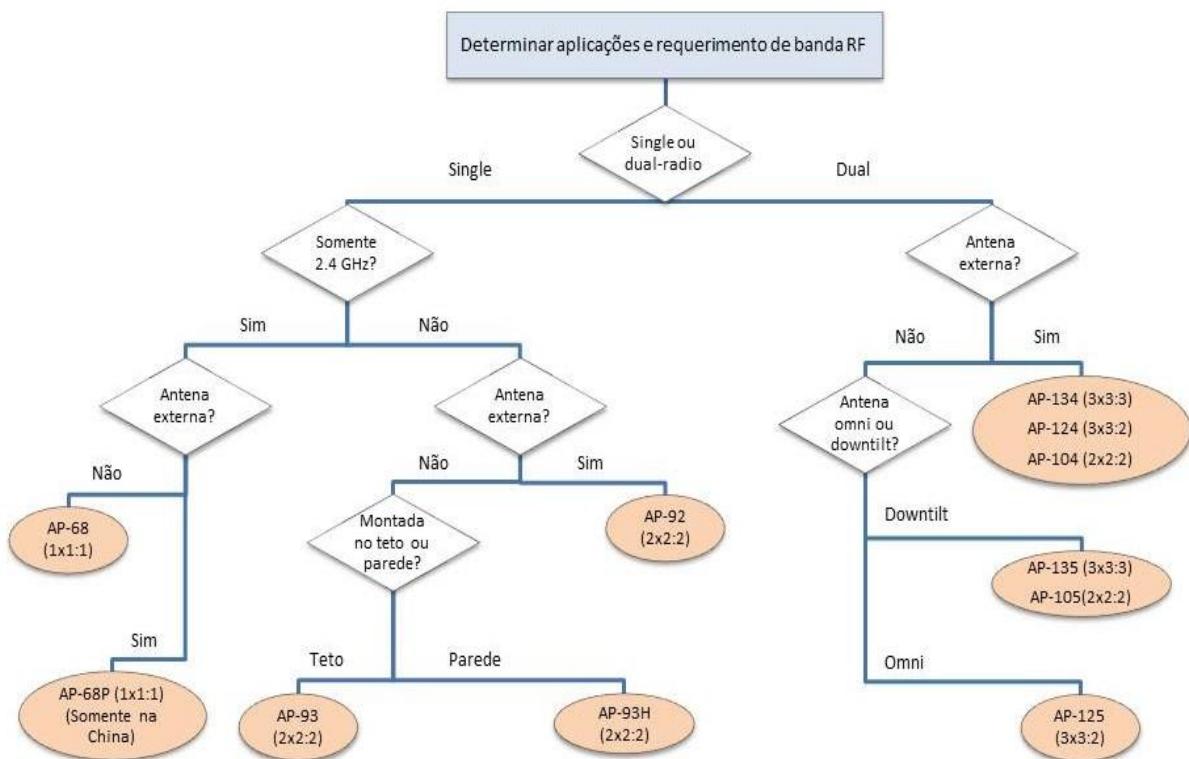
É apresentado na Tabela 4 a atenuação do sinal em diferentes tipos de materiais.

**Tabela 4 – Atenuação do sinal em diferentes tipos de materiais [10].**

Material	Atenuação (dB)
<b>Janela de vidro</b>	2
<b>Porta de madeira</b>	3
<b>Parede de gesso</b>	3
<b>Mármore</b>	5
<b>Parede de vidro</b>	6
<b>Parede de tijolo</b>	8
<b>Parede de concreto</b>	10-15

### **7.1.2 Processo de seleção dos Pontos de Acesso**

O fluxograma na Figura 4 mostra um processo para selecionar o ponto de acesso apropriado para a cada implementação [11].



**Figura 4 – Processo de seleção dos pontos de acesso [11]**

A primeira seleção a ser feita é quanto a usar um ponto de acesso para um ou dois rádios. Considere a vida útil dessa implementação, tipicamente de 4 a 7 anos, e como na maioria dos casos a tendência é a expansão da capacidade, deve-se escolher sempre um *AP* radio dual.

O rádio adicional permite equilibrar os usuários entre 2,4 GHz e 5 GHz, com recursos como direção de banda – para servir automaticamente usuários com capacidade de 5 GHz com o rádio de 5 GHz, maximizando a capacidade na faixa de 2,4 GHz – e dobra de número de usuários que podem ser servidos em um determinado local.

Os *APs* monorrádio são apropriados para implementações de baixa densidade. Os *APs* que suportam apenas 2,4 GHz são limitados tanto por sua capacidade - por ter acesso a apenas uma única banda; quanto pelo fato de que os canais de 40 MHz não estão

disponíveis, o que limita a taxa de dados máxima à PHY (camada física do modelo OSI) 135 Mb/s.

Abaixo se pode observar as características dos *APs* no formato:

$$T \times R : S \quad (" : " \text{ significa proporcionalidade})$$

Na qual:

- T é o número de antenas de transmissão;
- R é o número de antenas receptoras;
- S é o número de fluxos de dados especiais.

Em termos gerais, mais *APs* conduzem a mais fluxos espaciais estarem disponíveis, embora, nem sempre seja 1-1. Quanto mais fluxo espacial, mais dados podem ser transmitidos para os dispositivos dos usuários - assumindo que eles tenham a mesma capacidade [2].

Para muitas implementações, montar os *APs* no teto, com inclinação para baixo, é a opção mais adequada. Estes *APs* podem ser montados sobre trilhos de teto e cobrem o chão abaixo. Para implementações onde os *APs* precisam estar acima do teto, por razões estéticas - antenas externas podem ser uma escolha adequada (dependendo do material do teto). Antenas externas também permitem o uso de antenas direcionais em um ambiente desafiador.

Quanto a escolha de uma antena oni ou *down-tilt*, a antena oni fornece cobertura igual em todas as direções, enquanto a *down-tilt* centra a sua energia para baixo (perpendicular ao plano) - é usada para implantações de teto em áreas densas ou em áreas com tetos altos.

A quantidade de usuários também deve ser checada. O número máximo recomendado por ponto de acesso é de 25 usuários por estação - para que seja alcançada uma qualidade mínima de taxa de transferência.

Alguns equipamentos descrevem possuir quantidade de usuários ilimitada, porém não estão considerando a taxa de transferência.

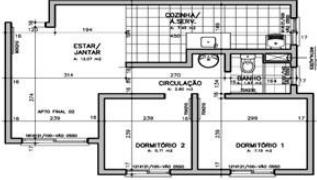
Já quanto à área, depende muito do equipamento e antena que será utilizado. Uma vez que depende da potência do sinal irradiado pelo ponto de acesso e da potência da antena do receptor. Precisando, ainda, considerar se a área é aberta (sem obstrução) ou fechada (com paredes e lajes).

## 8 Software

Como demonstrado nos capítulos anteriores, projetar uma rede sem fio Wi-Fi *indoor* não é algo trivial, e o ideal seria estudar cada caso especificamente para que se obtenha êxito quanto as reais necessidades do usuário.

Desenvolvemos um software no programa Microsoft Excel, com o objetivo de resolver problemas mais simples – tendo como base a metodologia *Site Survey*. A Figura 5 exemplifica o *software*.

Baixa densidade	Média densidade	Alta densidade
residências e escritórios de pequeno porte: 1 dispositivo a cada 10m <sup>2</sup>	escritórios, hospitais, escolar e edifícios de médio porte: 1 dispositivo a cada 5m <sup>2</sup>	escritórios, hospitais escolas e edifícios de grande porte: 1 dispositivo a cada 1m <sup>2</sup>



**Access Point AP-93**

Diagram illustrating the software interface for calculating access points:

- 1º**: DENSITY selection (dropdown menu: Média).
- 2º**: Insert data from the floor plan (button: Inserir dados do imóvel) into the table:

DADOS DO IMÓVEL	
Comprimento(m)	
Largura(m)	
Nº de Andares	
Área(m <sup>2</sup> )	

- 3º**: Results table (button: LIMPAR) showing the number of APs required based on density and area.

1º Passo: Escolher a densidade conforme a tabela acima.

2º Passo: Inserir os dados do imóvel através do botão acima.

3º Passo: Escolher de forma adequada o tipo e a quantidade de acess points para seu imóvel.

**Figura 5 - Software.**

O programa, primeiramente, pede para que o usuário escolha a densidade de usuários no imóvel - que pode ser baixa, média ou alta. Este processo é feito através de uma caixa de combinação da guia “Desenvolvedor”. Sua formatação se dá na opção “Formatar controle” e os valores atribuídos estão denotados a seguir:

Intervalo de entrada = \$B\$9:\$B\$11 (B9=“Baixa”, B10=“Média”, B11=“Alta”)

Vínculo da célula = \$B\$12

Portanto se o usuário selecionar “Baixa” na caixa de combinação, será retornado o valor 1 na célula B12, já se selecionado “Média”, retornará o valor 2 e se selecionado “Alta” o valor 3.

Todas as células citadas acima ficam ocultas do usuário, já que tem como finalidade modelar e direcionar os cálculos a seguir, não precisando ser explicitadas.

E dessa forma a escolha do ponto de acesso é efetuada:

Para ambiente de baixa densidade, o ponto de acesso *AP-68* da *Aruba Networks* é um multifuncional muito acessível - projetado para imóveis menores.

As características do ponto de acesso *AP-68* são: monorrádio, *single-band* 802.11n *indoor*; suporta frequências de 2,4 GHz a 2,4835 GHz; 150 Mbps de taxa de transferência; potência máxima de transmissão de 20 dBm e possui uma antena integrada onidirecional com ganho máximo de 3,0 dBi<sup>[1]</sup>.

Para ambiente de média densidade, o ponto de acesso *AP-93* da *Aruba Networks* é um multifuncional acessível e de alto desempenho – ótimo para escritórios, hospitais, escolas e lojas de varejo. Esse *AP* possui tecnologia avançada, alta confiabilidade do sinal de RF, identifica fontes de interferência e possui um sistema de segurança que oferece uma série de vantagens.

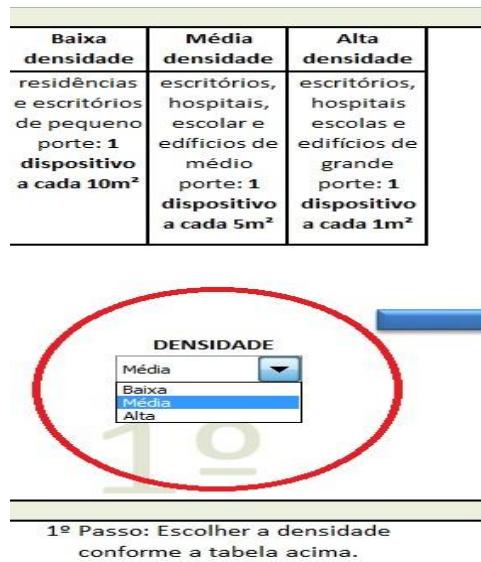
As características do ponto de acesso *AP-93* são: monorrádio, *dual-band* 802.11n *indoor*; software configurável monorrádio que suporta 2,4 GHz e 5 GHz; 2x2 MIMO 802.11n com dois fluxos espaciais e até 300 Mbps de taxa de transferência; potência máxima de transmissão de 21 dBm tanto para 2,4 GHz, quanto para 5 GHz e possui duas antenas integradas onidirecional para MIMO 2x2 com ganho máximo de 2,5 dBi em 2,4 GHz e 5,8 dBi em 5 GHz.

Para ambientes de alta densidade de usuários, o ponto de acesso *AP-105* da *Aruba Networks* é um multifuncional acessível, de nível empresarial - excelente para escritórios, hospitais, escolas, lojas de varejo e armazéns. Com as mesmas vantagens quanto ao alcance, confiabilidade e segurança do *AP-93*.

As características do ponto de acesso *AP-105* são: radio dual, *dual-band* 802.11n *indoor*; software configurável radio dual que suporta 2,4 GHz e 5 GHz; 2x2 MIMO 802.11n com dois fluxos espaciais e até 300 Mbps de taxa de transferência; potência máxima de transmissão de 23 dBm tanto para 2,4 GHz, quanto para 5 GHz e possui quatro antenas integradas *downtilt* onidirecional para MIMO 2x2 com ganho máximo de 3,0 dBi em 2,4 GHz e 4,5 dBi em 5 GHz.

[1] – ganho/diretividade em relação à antena isotrópica.

Como é possível observar por meio da Figura 6.



**Figura 6 - Destaque para como a seleção de antenas é efetuada no software.**

Então o usuário insere os dados do imóvel quanto ao comprimento, a largura e o número de andares através de um botão inserido pela guia “Desenvolvedor”, no qual é atribuído um código para a exibição de um formulário desenvolvido no programa Microsoft Visual Basic.

Ao botão foi atribuído o nome de “Botão1”, e o código de programação para seu clique é apresentado a seguir.

```
Sub Botão1_Clique()
    inserir_dados.Show
End Sub
```

Ao formulário foi atribuído o nome de “inserir\_dados” e o código inserido no clique do seu botão “OK” está denotado a seguir.

```
Private Sub Bot_Finalizar_Click()
    Range("G8").Select
    x = comprimento
    ActiveCell.FormulaR1C1 = x
```

Range("G9").Select

y = largura

ActiveCell.FormulaR1C1 = y

Range("G10").Select

Z = nandares

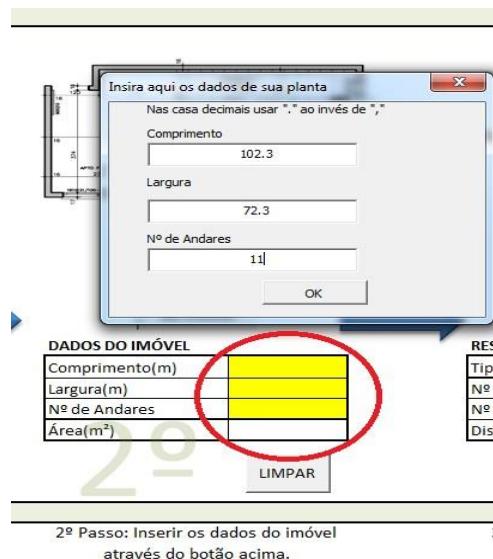
ActiveCell.FormulaR1C1 = Z

inserir\_dados.Hide

End Sub

Sendo “comprimento” o nome dado a primeira caixa de inserção de dados do formulário “inserir\_dados”, retornando seu valor para a célula G8; “largura” o nome dado a segunda caixa de inserção de dados, retornando seu valor para a célula G9; “nandares” o nome dado a terceira caixa de inserção de dados, retornando seu valor para a célula G10.

A Figura 7 a seguir demonstra o funcionamento da etapa descrita acima.



**Figura 7 - Destaque para como a inserção dos dados do imóvel quanto ao comprimento, a largura e o número de andares é efetuada no software.**

Após inserir os dados, na célula G11 o software retornará o valor da área do imóvel através do código a seguir.

```
=SE(comprimento="""";"";comprimento*largura)
```

Se o usuário desejar recomeçar sua pesquisa, o botão “LIMPAR” abaixo das células de inserção dos dados do imóvel apaga os valores atribuídos as células G8, G9 e G10. O código inserido no clique deste botão é denotado a seguir.

```
Sub limar_area_novo()
    ' limar_area_novo Macro
    ActiveWindow.SmallScroll Down:=-3
    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("Button 2")).Select
    Range("H7").Select
    ActiveWindow.SmallScroll Down:=0
    Range("F8").Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "Comprimento"
    Range("F8").Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "Comprimento(m)"
    Range("F9").Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "Largura(m)"
    Range("H13").Select
    ActiveWindow.SmallScroll Down:=0
    Range("J11").Select
    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("Button 2")).Select
    Range("H13").Select
End Sub
```

Lembrando que às células G8, G9 e G10 foram atribuídos os nomes “comprimento”, “largura” e “nandares” respectivamente.

As distâncias das antenas foram calculas segundo o Capítulo 6.2, através das equações (2), (3) e (4) e foi utilizado a atenuação de 50dB para baixa e média intensidade, e de 100dB para alta intensidade.

Como as antenas onidirecionais concentram o sinal na horizontal, devem ficar sempre na posição vertical. No caso de um prédio de vários andares, as antenas serão utilizadas de acordo com a capacidade de cada uma, como especificado abaixo. Ao instalar o ponto de acesso, o ideal é colocá-lo em uma posição central e mais alto que os móveis e os demais obstáculos, para que o sinal possa trafegar até os usuários sem muitos desvios.

Se a opção anterior foi baixa densidade: será utilizado um *AP* a cada 1.000 m<sup>2</sup>, e o *AP* ficará localizado no centro dessa metragem, no teto, a cada dois andares - mais andares, a montagem é repetida.

Se a opção anterior foi média densidade: será utilizado um *AP* a cada 4.000 m<sup>2</sup>, e o *AP* ficará localizado no centro dessa metragem, no teto, a cada dois andares - mais andares, a montagem é repetida.

Se a opção anterior foi alta densidade: será utilizado um *AP* a cada 10.000 m<sup>2</sup>, e o *AP* ficará localizado no centro dessa metragem, no teto, por andar - mais andares, a montagem é repetida.

Levando em consideração as afirmações anteriores, são utilizadas duas células ocultas aos usuários para diferenciar se os APs serão instalados a cada dois andares ou a cada andar. Os códigos estão exibidos a seguir.

Para M9:

=SE(B12=1;nandares/2;(SE(B12=2;nandares/2;(SE(B12=3;nandares;"")))))

Para L9:

=SE(M9>1;M9;1)

Na célula J8 e também em I2 e I3 (células mescladas), é inserida a programação que retornará o nome do AP escolhido.

=SE(B12=1;"Access Point AP-68";SE(B12=2;"Access Point AP-93";SE(B12=3;"Access Point AP-105";"")))

Na célula J9 está a programação, produzida a partir das afirmações anteriores e do desenvolvimento de equações do Capítulo 6.2, que calcula o número total de APs.

=SEERRO(((SE(B12=1;(SE(G11/1000=INT(G11/1000);INT(G11/1000);INT(G11/1000)+1));SE(B12=2;(SE(G11/4000=INT(G11/4000);INT(G11/4000);INT(G11/4000)+1));SE(B12=3;(SE(G11/10000=INT(G11/10000);INT(G11/10000);INT(G11/10000)+1));"")))\*L9);")

Na célula I10, toma-se o cuidado de inserir uma programação que retorne, dependendo da densidade escolhida, “Nº de APs por andar” ou “Nº de APs a cada 2 andares”. A fim de não provocar confusão no usuário quanto a montagem de seus APs. O código para tal célula é exibido a seguir

=SE(OU(B12=1;B12=2);“Nº de APs a cada 2 andares”;“Nº de APs por andar”)

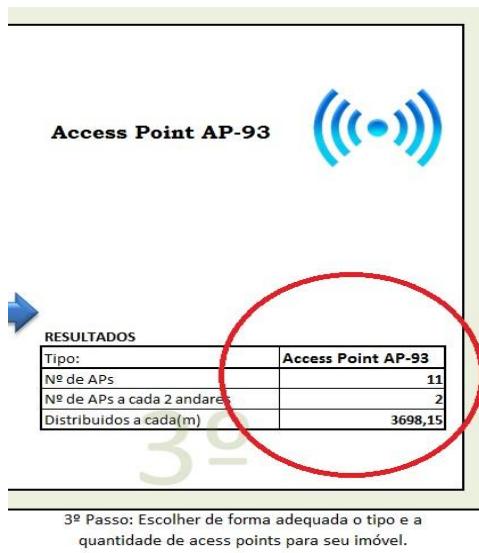
Na célula J10 é calculado o número de APs por andar ou a cada dois andares, segundo o código a seguir.

=SEERRO((SE(OU(B12=1;B12=2);(J9/nandares\*2);(J9/nandares)));"")

Já na célula J11, o cálculo retorna a distribuição de APs por metro quadrado. Seu código é exibido a seguir.

=SEERRO(SE(J10=1;(G11/(2\*(J9/L9)));(G11/(J9/L9)));";")

Por fim, o *software* retorna o ponto de acesso a ser utilizado, quantas unidades devem ser empregadas e onde precisam se localizar, para que se obtenha uma rede sem fio Wi-Fi *indoor* satisfatória. Como é possível constatar através da Figura 8.



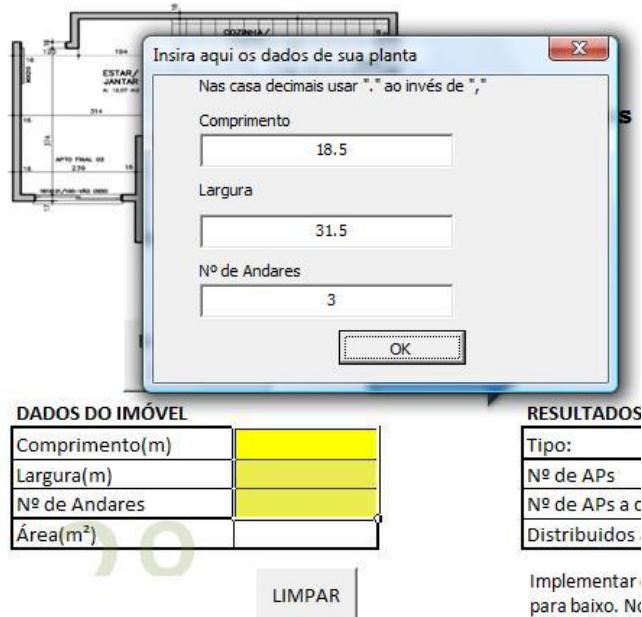
**Figura 8 - Destaque para o retorno do software quanto ao número de pontos de acesso que devem ser empregados e onde precisam se localizar.**

## 9 Resultados experimentais

Para a validação do software, utilizamos as instalações de rede Wi-fi do prédio de Laboratório de Ensino do Departamento de Engenharia Elétrica e de Computação da Universidade de São Paulo, campus São Carlos.

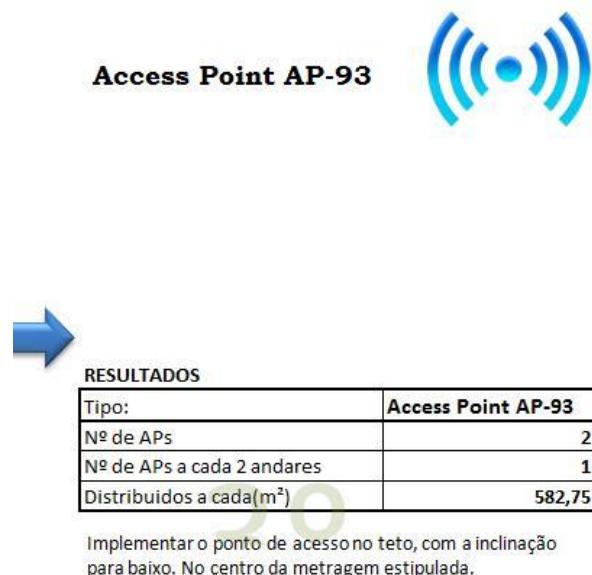
Uma vez que é uma edificação considerada de média utilização, deve-se utilizar um ponto de acesso que possua as especificações mencionadas para tal situação: potência de transmissão de 21 dBm para 2,4 GHz e duas antenas integradas onidirecional com ganho de 2,5 dBi em 2,4 GHz. No caso, é utilizado o ponto de acesso DWL 3200AP Dlink, que é compatível.

Então, no software preenche-se os campos de comprimento, largura e número de andares com as dimensões do prédio, como mostra a Figura 9.



**Figura 9 - Destaque para a inserção dos dados do imóvel quanto ao comprimento, a largura e o número de andares.**

O software retornou os valores apresentados na Figura 10.



**Figura 10 - Destaque para o retorno do software quanto ao número de pontos de acesso que devem ser empregados e onde precisam se localizar.**

Como os pontos de acesso já estavam nos locais sugeridos pelo software, modificações referentes à localização não foram necessárias.

No entanto, para que fosse comprovada a eficiência, medidas de potência foram feitas.

Existem vários softwares para a avaliação da potência, como por exemplo, o Wifi Analyser [12], Wi-Fi Inspector [13] e o Netstumbler [14]. Utilizamos o Wifi Analyser.

As medidas foram efetuadas nas localidades representadas por números na

Figura 11. Os pontos de acesso são representados pelo círculo preto.

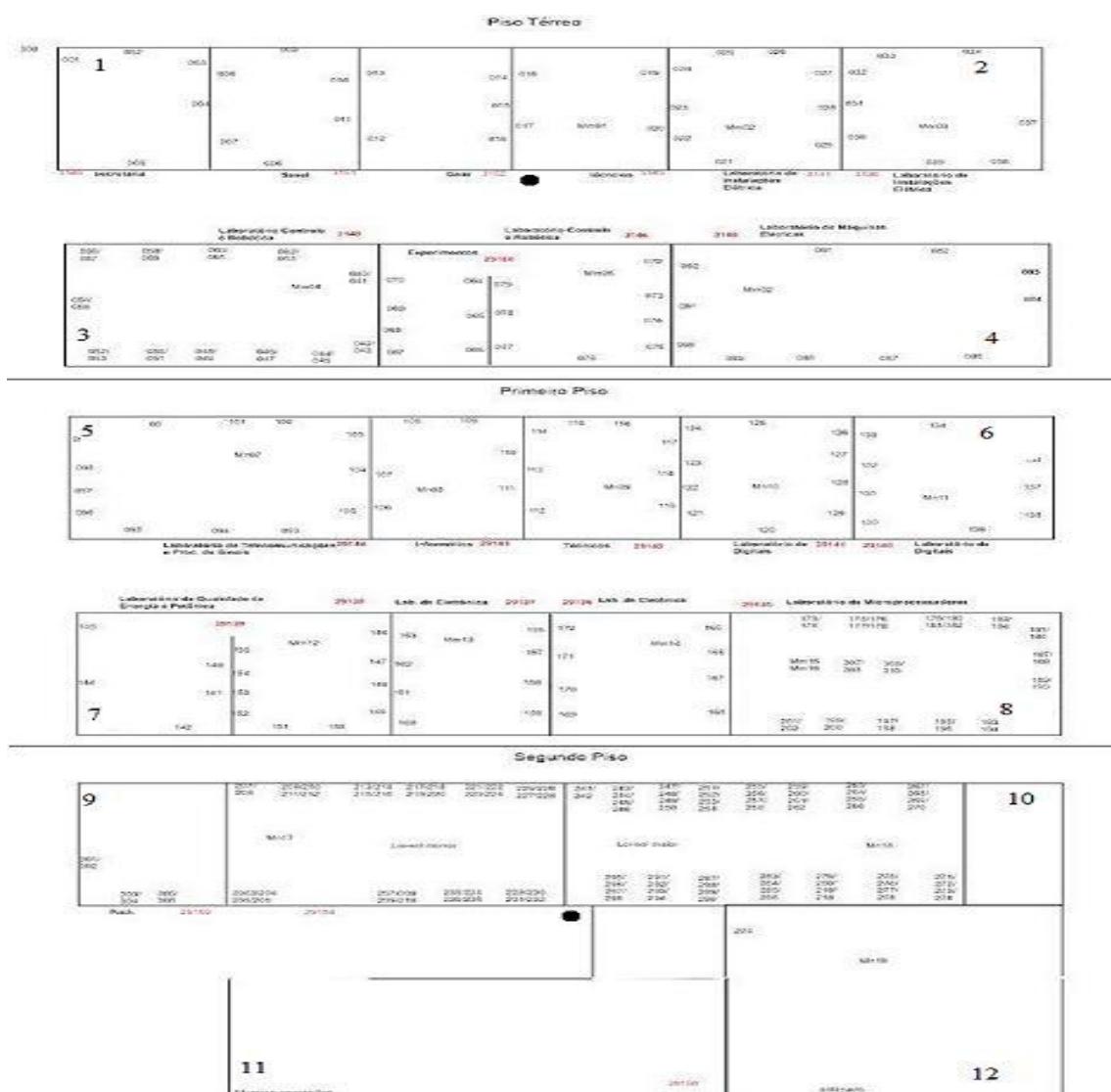


Figura 11 - Planta baixa do piso térreo, do primeiro piso e do segundo piso do prédio de Laboratório de Ensino da Engenharia Elétrica.

As medidas efetuadas nos pontos foram:

1. -70 dBm, para o AP do piso térreo;
2. -65 dBm, para o AP do piso térreo;
3. -70 dBm, para o AP do piso térreo;
4. – 68 dBm, para o AP do piso térreo;
5. -72 dBm, para o AP do piso térreo e -70 dBm para o AP do segundo piso;
6. -70 dBm, para o AP do piso térreo e -68 dBm para o AP do segundo piso;
7. -82 dBm, para o AP do piso térreo e -75 dBm para o AP do segundo piso;
8. -85 dBm, para o AP do piso térreo e -80 dBm para o AP do segundo piso;
9. -65 dBm, para o AP do segundo piso;
10. -65 dBm, para o AP do segundo piso;
11. -58 dBm, para o AP do segundo piso;
12. -60 dBm, para o AP do segundo piso.

Nota-se que a utilização simultânea do procedimento/software apresentado e de um software de medida de potência disponível na web é bem eficaz na escolha do ponto de acesso apropriado e avaliação dos resultados.

Uma vez que essa tecnologia precisa de soluções rápidas e que possibilitem qualquer um projetar a sua própria rede, sem necessidade de conhecimento prévio, esse *software* preenche o seu objetivo.

Assim, possibilita-se que qualquer usuário sem experiência, e mesmo, pequenas e médias empresas, tenham a oportunidade de projetar a sua própria rede sem fio Wi-Fi *indoor* de acordo com suas próprias necessidades, conquistando dessa forma maior eficiência e redução de custos.

## 10 Referências

- [1] Wi-Fi Alliance: Disponível em <<http://wi-fi.org>> Acesso em 21 de maio de 2014.
- [2] Teleco: Inteligência em Telecomunicações: Disponível em: <<http://www.teleco.com.br>> Acesso em 21 de maio de 2014.
- [3] IEEE: Advancing Technology for Humanity: Disponível em <<http://www.ieee.org>> Acesso em 21 de maio de 2014.
- [4] ANATEL: Agência Nacional de Telecomunicações: Disponível em <[www.anatel.gov.br](http://www.anatel.gov.br)> Acesso em 1 de junho de 2014.
- [5] NAJNUDEL, M., *Estudo de Propagação em Ambientes Fechados para o Planejamento de WLANs*, Rio de Janeiro, 2004.
- [6] GUSTRAU, F., *RF and Microwave Engineering: Fundamentals of Wireless Communications*, Wiley, 2012.
- [7] PUC-Rio: Disponível em <<http://www.puc-rio.br>> Acesso em 1 de junho de 2014.
- [8] DORNAN, A., *The Essential Guide to Wireless Communications Application*, New York, Prentice Hall Computers Books, 2000.
- [9] GEIER, J., *Wireless LANs: Implementing High-Performance IEEE 802.11 Networks*, New York, Sams, 2001.
- [10] Liveport: Disponível em <<http://www.liveport.com>> Acesso em 1 de junho de 2014.
- [11] Aruba Networks: Enterprise Mobility & Wireless LAN, Acess Points, and BYOD solutions: Disponível em <<http://www.arubanetworks.com>> Acesso em 21 de maio de 2014.
- [12] Wifi Analyser: Disponível em <[www.baixaki.com.br/android/download/wifi-analyzer.htm](http://www.baixaki.com.br/android/download/wifi-analyzer.htm)> Acesso em 1 de junho de 2014.
- [13] Wi-Fi Inspector: Disponível em <<http://www.baixaki.com.br/download/xirrus-wi-fi-inspector.htm>> Acesso em 1 de junho de 2014.
- [14] NetStumbler: Disponível em <<http://www.netstumbler.com/downloads/>> Acesso em 1 de junho de 2014.
- [15] ARAÚJO, J., *New strategies for planning and performance evaluation of wireless networks: case studies based on the cross-layer approach*, SciELO, Brasil, 2013.
- [16] Atlas Brasileiro de Telecomunicações, Revista Teletime, 2008.
- [17] BRITO, LINA M., *AN Analysis of Localization Problems and Solutions in Wireless Sensor Networks*, SciELO, Tékhne, Portugal, 2008.
- [18] Cisco System, Inc: Disponível em <<http://www.cisco.com>> Acesso em 21 de maio de 2014.
- [19] GAST, M., *802.11 Wireless Networks: the definitive guide*, O'Reilly and Associates, Inc. Sebastopol, CA, 2002.
- [20] SMITH, C.; GERVELIS, C. *Wireless Network Performance Handbook*, McGraw-Hill Professional, 2003.
- [21] RAPPAPORT, T., *Comunicações sem fio: princípios e práticas*, Pearson Prentice Hall, 2009.
- [22] TP-LINK: The Reliable Choice: Disponível em <<http://www.tp-link.pt>> Acesso em 21 de maio de 2014.