

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS – UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA INTERDISCIPLINAR DE PÓS-GRADUAÇÃO EM COMPUTAÇÃO
APLICADA – PIPCA
MESTRADO ACADÊMICO

CARLOS ALFREDO WEISSHEIMER JUNIOR

**Desenvolvimento de um algoritmo híbrido utilizando metaheurísticas aplicado
a uma plataforma *Internet Protocol Television* - IPTV**

São Leopoldo

2012

CARLOS ALFREDO WEISSHEIMER JUNIOR

**Desenvolvimento de um algoritmo híbrido utilizando metaheurísticas aplicado
a uma plataforma *Internet Protocol Television* - IPTV**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, pelo Programa Interdisciplinar de Pós-Graduação em Computação Aplicada da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS

Orientador: Prof. Dr. Arthur Tórgo Gómez

São Leopoldo

2012

W433a Weissheimer Junior, Carlos Alfredo
Desenvolvimento de um algoritmo híbrido utilizando metaheurísticas aplicado a uma plataforma de Internet Protocol Television – IPTV / por Carlos Alfredo Weissheimer Junior. -- São Leopoldo, 2012.

96 f. : il. color. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa Interdisciplinar de Pós-Graduação em Computação Aplicada, São Leopoldo, RS, 2012.

Orientação: Prof. Dr. Arthur Tórgo Gómez, Ciências Exatas e Tecnológicas.

1.Metaheurísticas. 2.Busca Tabu. 3.Algoritmos genéticos. 4.Internet Protocol Television. 5.TCP/IP (Protocolo de rede de computador). 6.Televisão digital. I.Gómez, Arthur Tórgo. II.Título.

CDU 004.421

004.738.5.057.4: 621.397.6

Catálogo na publicação:
Bibliotecária Carla Maria Goulart de Moraes – CRB 10/1252

CARLOS ALFREDO WEISSHEIMER JUNIOR

**Desenvolvimento de um algoritmo híbrido utilizando metaheurísticas aplicado
a uma plataforma *Internet Protocol Television* - IPTV**

Dissertação apresentada como requisito
parcial para obtenção do título de Mestre,
pelo Programa Interdisciplinar de Pós-
Graduação em Computação Aplicada da
Universidade do Vale do Rio dos Sinos –
UNISINOS

Aprovado em ___/___/_____

BANCA EXAMINADORA

Componente da banca examinadora – Instituição a que pertence

Componente da banca examinadora – Instituição a que pertence

Componente da banca examinadora – Instituição a que pertence

Dedico essa obra a duas pessoas que sofreram comigo. Que deixaram de aproveitar os finais de semana ensolarados. E que sempre estavam ao meu lado para dizerem palavras de conforto nos momentos tristes e depressivos onde parecia que nada iria dar certo. Obrigado minha esposa Caroline, me faltam palavras para descrever o quanto você foi importante nesse momento e será na minha vida. Porém de forma sucinta, resumiria isso registrando que, hoje, não conseguiria mais viver sem você. E muito obrigado minha mãe, pois mesmo com todas as dificuldades encontradas pelo caminho nunca desistiu de acreditar que tudo daria certo.

AGRADECIMENTOS

Não poderia deixar de agradecer ao meu orientador, pessoa de um caráter ímpar. Tenho-o como um ídolo, capaz de fornecer o caminho das pedras com tamanha facilidade que em muitas vezes ficamos sem entender de qual dimensão estamos falando, e se aquilo realmente é possível. Seu conhecimento é admirável, sua capacidade de enxergar o que as pessoas normais demoram a perceber também. Gostaria de agradecer também a minha mãe, e a minha esposa sempre preocupadas com o meu nível de estresse e pelos inúmeros incentivos. Ao meu pai, que de uma maneira nem um pouco comum, nunca me deixou desamparado. Agradeço também ao projeto de pesquisa DIGICONV por fornecer a infraestrutura para a realização desta dissertação, à FINEP por financiar a pesquisa e aos professores do PIPCA, por repassarem o seu enorme conhecimento aos seus alunos.

RESUMO

A tecnologia *Internet Protocol Television* (IPTV) é um fator impactante na sociedade. Ela tem sido explorada por diferentes meios de transmissão para a entrega de conteúdo multimídia sobre serviço baseado em *Internet Protocol* (IP). Atualmente, o IPTV é alvo de várias pesquisas, pois pode trazer muitos benefícios para a sociedade, tais como o suporte à interatividade e o aumento da interoperabilidade com redes domésticas. Este trabalho apresenta o desenvolvimento e a implementação de um modelo computacional, baseado na aplicação de metaheurísticas, sobre uma plataforma IPTV, com o objetivo de desenvolver um algoritmo híbrido utilizando as metaheurísticas Busca Tabu (BT) e Algoritmo Genético (AG). Esse algoritmo permite que seja feita a análise e o estudo dos seguintes parâmetros: taxa de transmissão, qualidade de áudio, número de clientes e largura de banda, visando encontrar a melhor configuração dos mesmos para a transmissão IPTV dadas às características do cliente. Após a validação do algoritmo, foram realizados experimentos que auxiliaram a compreensão da dinâmica do sistema e viabilizaram encontrar uma boa solução, passível de simulação no simulador de rede *Network Simulator 3* (NS3).

Palavras-chave: Metaheurísticas. Busca Tabu. Algoritmos Genéticos. IPTV.

ABSTRACT

The Internet Protocol Television Technology (IPTV) is an impacting factor on society. It has been exploited by different means of transmission to the delivery of multimedia content over service based on Internet Protocol (IP). Currently, IPTV is the subject of several studies, since it can bring many benefits to society, such as interactivity support and increased interoperability with home networks. This paper presents the development and implementation of a computational model based on the application of metaheuristics on an IPTV platform in order to develop a hybrid algorithm using the metaheuristics Tabu Search (TS) and Genetic Algorithm (GA). This algorithm makes it possible to analysis and study of the following parameters: baud rate, audio quality, number of customers and network bandwidth in order to find the best setting for the IPTV transmission given the client characteristics. After validating the algorithm, experiments are performed to help understand the dynamics of the system and enable a good solution that can be simulated in the Network Simulator 3 (NS3).

Keywords: Metaheuristics. Tabu Search. Genetic Algorithm. IPTV.

LISTA DE ABREVIATURAS

ACAP	<i>Advanced Common Application Platform</i>
ACC	<i>Audio Advanced Coding</i>
ADAP_IP	Adaptador de interface de rede
ADSL	<i>Assymmetric Digital Subscriber Line</i>
AG	Algoritmos Genéticos
ATM	<i>Asynchronous Transfer Mode</i>
BD	Banco de Dados
BL	Busca Local
BT	Busca Tabu
CA	Critério de Aspiração
DCIPTVs	Dispositivos de Consumo de IPTV
DIGICONV	Plataforma de Convergência Digital
DSL	<i>Digital Subscriber Line</i>
DSLAM	<i>Digital Subscriber Line Access Multiplexer</i>
DRM	<i>Digital Rights Manegement</i>
DVB	<i>Digital Video Broadcasting</i>
DVR	<i>Digital Video Recorder</i>
EPG	<i>Electronic Program Guides</i>
FO	Função Objetivo
GEM	<i>Globally Executable MHP</i>
HD	<i>High Definition</i>
HIS	<i>High-Speed Internet</i>
IETF	<i>Internet Engineering Task Force</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
IPTV	<i>Internet Protocol Television</i>
ITU-T	<i>International Telecommunication Union Standardization</i>
k-DCT	<i>k-Degree Center Tree</i>
LD	<i>Low-Definition</i>
LT	Lista Tabu
MCIPTV	<i>Metaheuristic Cluster IPTV</i>
MHP	<i>Multimedia Home Platform</i>

MPEG	<i>Moving Picture Experts Group</i>
NS	<i>Network Simulator</i>
OBX	<i>Order Based Crossover</i>
OCAP	<i>Open Cable Application Platform</i>
PIPCA	Programa Interdisciplinar de Pós-graduação em Comp. Aplicada
PLAT_CONV	Plataforma de Convergência
PO	Pesquisa Operacional
PPV	<i>Pay-Per-View</i>
QoE	Qualidade de Experiência
QoS	Qualidade do Serviço
RGs	<i>Gateways Residenciais</i>
RTOS	<i>Real Time Operating System</i>
RTP	<i>Real Time Protocol</i>
SBTD	Sistema Brasileiro de Televisão Digital
SD	<i>Standard Definition</i>
SMPTE	<i>Society of Motion Picture and Television Engineers</i>
STB	<i>Set-Top-Box</i>
TA	Terminal de Acesso
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i>
TS	<i>Transport Stream</i>
TV	Televisão
UGC	Conteúdo Gerado pelo Usuário
UNISINOS	Universidade do Vale do Rio dos Sinos
VDSL	<i>Very-high-bit-rate Digital Subscriber Line</i>
VHO	<i>Video Headend Office</i>
VLC	<i>Video Lan Client Media Player</i>
VoD	<i>Vídeo on Demand</i>
VSOs	<i>Video Serving Offices</i>
WiFi	<i>Wireless Fidelity</i>
WiMAX	<i>Worldwide Interoperability for Microwave Access</i>

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Arquitetura simplificada da rede IPTV	20
Figura 2 - O modelo de transporte de uma rede IPTV	22
Figura 3 – Distribuição IPTV.....	26
Figura 4 – Diferença entre QoS e QoE	33
Figura 5 – Arquitetura IPTV.....	35
Figura 6 - Arquitetura futura IPTV	36
Figura 7 – Arquitetura IPTV terrestre	37
Figura 8 – Arquitetura IPTV baseada por satélite.....	38
Figura 9 – Busca local.....	42
Figura 10 – Estrutura de vizinhança para BT	43
Figura 11 – Fluxograma Busca Tabu	44
Figura 12 – Algoritmo BT	45
Figura 13 – Algoritmo Genético.....	47
Figura 14 – Operadores Genéticos	49
Figura 15 – Transmissão IPTV na arquitetura DIGICONV	53
Figura 16 – Arquitetura IPTV proposta.....	54
Figura 17 - Arquitetura da Plataforma de Convergência	55
Figura 18 – Estrutura do modelo.....	56
Figura 19 – Algoritmo MCIPTV.....	64
Figura 21 – Acréscimo de 150 em T_t	69
Figura 22 - Acréscimo de 150 em Q_v	70
Figura 23 – Alteração da variável Q_A	71
Figura 24 - Alteração da variável N_c	72
Figura 25 - Alteração da variável L_b	73
Figura 26 – Alteração em N_c (Zero).....	74

	10
Figura 27 – Alteração em Tt (Zero)	75
Figura 28 - Topologia de rede para os teste iniciais.....	76
Figura 29 – <i>Streaming</i> de vídeo formato LD.....	77
Figura 30 - <i>Streaming</i> de vídeo formato SD.....	77
Figura 31 - <i>Streaming</i> de vídeo formato HD.....	78
Figura 32 – Topologia utilizada no NS3	79
Figura 33 – NS3 rodando	80

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Motivações para o IPTV.....	17
Tabela 2 – Parâmetros T_t	57
Tabela 3 – Parâmetros Q_v	58
Tabela 4 – Tipos de bandas adotados (L_b)	60
Tabela 5 – Características das transmissões.....	66
Tabela 6 – Média e desvio padrão das variáveis.	67
Tabela 7 – Valores atribuídos.....	68
Tabela 8 - Alteração em N_c (Zero).....	74
Tabela 9 - Alteração em T_t (Zero)	75
Tabela 10 – Tempo de Transmissão.....	81
Tabela 11 – Testes realizados	82

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Objetivo	14
1.1.1 Objetivo Geral	15
1.1.2 Objetivos Específicos	15
1.2 Justificativa	15
2 REVISÃO DO ESTADO DA ARTE	17
2.1 Visão Geral do <i>Internet Protocol Television</i> (IPTV)	17
2.2 Diferença de IPTV e TV via <i>Internet</i>	18
2.3 Funcionamento da tecnologia IPTV	19
2.3.1 Central de Dados (IPTV <i>Data Center</i>).....	21
2.3.2 Rede de Transporte	21
2.3.3 <i>Set-Top-Box</i>	23
2.3.4 Rede Doméstica	24
2.3.5 Distribuição IPTV.....	25
2.3.6 Empacotamento e Transporte dos Conteúdos	26
2.3.7 Programação de Radiodifusão em IPTV	27
2.3.8 Arquitetura do Software do DCIPTV.....	28
2.3.9 Sistemas DRM (<i>Digital Rights Manegement</i>)	30
2.3.10 Vídeo sob Demanda (VoD)	31
2.3.11 Administração de Redes IPTV	32
2.4 Arquiteturas IPTV	34
2.5 Aplicações do IPTV	39
2.6 Metaheurísticas	40
2.6.1 Busca Tabu (BT)	40
2.6.2 Algoritmos Genéticos (AG).....	46
2.7 Trabalhos relacionados	49
3 MODELO	52
3.1 Arquitetura do Modelo	52
3.2 Modelo Computacional	55
3.2.1 Parâmetros de Entrada.	56
3.2.2 Formulação do Modelo Matemático	57
3.2.3 Algoritmo MCIPTV.....	63
4 VALIDAÇÃO DO MODELO E EXPERIMENTOS	66

4.1 Solução Não Tendenciosa.....	66
4.2 Experimentos.....	67
4.2.1 Planejamento dos experimentos.	67
4.2.2 Análise das variáveis.....	68
4.2.3 Análise das variáveis a partir de uma atribuição não real.	73
4.3 Transmissão	75
4.4 Análise da Transmissão no NS3	78
5 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS	84
5.1 Contribuições	85
5.2 Trabalhos Futuros	86
REFERÊNCIAS.....	87

1 INTRODUÇÃO

Pode-se dizer que nos anos de 2006 e 2007 temas relacionados à *Internet Protocol Television* (IPTV) tiveram uma ascensão nas pesquisas (GRAZIANO, 2009). A maioria dos artigos encontrados na literatura é deste período. Em 2007 foi criado o *Open IPTV Forum*, com a proposta de fornecer uma ferramenta *plug and play* que permitisse acesso fácil para os usuários finais à tecnologia (*Open IPTV Forum*, 2009). Devido à tecnologia *Internet Protocol* (IP), as operadoras começaram a oferecer serviços *Triple-Play*: um pacote de voz (telefonia), vídeo (televisão) e serviços de dados, juntamente com alguns serviços de valor agregado, utilizando uma tecnologia comum (HEZMI et al., 2008).

Também é possível se observar a ascensão da tecnologia IPTV a partir da ferramenta *Google Insights* para pesquisas, que apresenta graficamente a evolução de temas procurados no portal. Essa ferramenta prevê um aumento na procura deste assunto para 2011 e 2012, quando comparado ao ano anterior. Contudo, a Aliança de Soluções para a Indústria de Telecomunicações - ATIS (2004) já afirmava:

“Para o futuro, o IPTV é visto como uma aplicação mais ampla que a adotada atualmente. Essa visão de IPTV se estende além do modelo de entrega de casa que é o foco de IPTV de hoje e inclui ainda opções adicionais para a distribuição de IPTV ao consumidor.”

Um dos principais motivos para a aposta em IPTV é que ela pode prover um serviço de TV diferenciado. Essa cesta de serviços de entretenimento, a interação do usuário e o controle do assinante sobre sua TV, podem trazer um diferencial competitivo significativo ao serviço IPTV. Porém, como se trata de um serviço que prima pela qualidade, métodos de otimização que possam agregar valor a arquitetura são importantes.

1.1 Objetivo

A seguir são apresentados os objetivos geral e específicos deste trabalho.

1.1.1 Objetivo Geral

Desenvolver um algoritmo híbrido utilizando as metaheurísticas Busca Tabu (BT) e Algoritmo Genético (AG), que viabilize a análise e estudo dos parâmetros de taxa de transmissão, qualidade de vídeo, qualidade de áudio, número de clientes e largura de banda, visando encontrar a melhor configuração dos mesmos para a transmissão IPTV dadas as características de cada cliente.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Desenvolver um modelo computacional, utilizando metaheurísticas conforme Arquitetura do Modelo Sistêmico do projeto Desenvolvimento de uma Plataforma de Convergência Digital: TV Digital / IPTV / Dispositivos Móveis, financiado pelo FUNTTEL, Chamada Pública FINEP/FUNTTEL, características 02/2009, (DIGICONV);
- Estudar e analisar o comportamento dos resultados gerados pelo modelo computacional, através de um simulador que verifique a viabilidade da solução gerada com relação à rede de transmissão/ usuário;
- Definir políticas de transmissão IPTV, através do gerenciamento das variáveis de decisão consideradas;
- Simular a solução encontrada em diferentes cenários (áudio, vídeo, usuário/dispositivos).

1.2 Justificativa

Além de estar ligado a um projeto de pesquisa desenvolvido pelo Programa Interdisciplinar de Pós-graduação em Computação Aplicada (PIPICA) denominado de Desenvolvimento de uma Plataforma de Convergência Digital: TV Digital / IPTV / Dispositivos Móveis, financiado pelo FUNTTEL, Chamada Pública /FINEP/FUNTTEL, características 02/2009 (DIGICONV), se justifica a execução do trabalho pelo fato do ineditismo no uso de metaheurísticas para solução do problema.

O projeto observa as normas da ABNT para o tratamento de sinal de televisão digital definidas para o Sistema Brasileiro de Televisão Digital (SBTVD). Neste trabalho considera-se o sinal transmitido via redes de comunicação baseado no protocolo IP (IPTV). A partir do objetivo do DIGICONV, que é especificar e desenvolver uma plataforma de convergência digital: TVD/IPTV/Dispositivos Móveis, que viabilize a disponibilização e a recepção de conteúdo audiovisual interativo, gerado por uma emissora, para sistemas de TV Digital, IPTV e dispositivos móveis, este trabalho pretende desenvolver recursos e conhecimento voltado principalmente para o atendimento de oportunidades do mercado nacional, no que diz respeito ao emprego da tecnologia IPTV.

Vislumbra-se que a Pesquisa Operacional (PO) pode agregar ainda mais valor a esse assunto, pois, segundo Hillier e Lieberman (2001), a PO “*É uma abordagem científica a tomadas de decisões*”, procurando uma boa solução, quando não a ótima, para os mais diversos problemas e suas classificações. Entre os vários problemas tratados, encontram-se: alocação de recursos, distribuição e transporte, planejamento de produção, entre outros.

Este trabalho está dividido em 5 capítulos, apresentados em sequência, sendo o primeiro a introdução. O segundo apresenta uma visão do estado da arte sobre IPTV, onde são abordados conceitos e características da tecnologia IPTV consideradas como relevantes à dissertação. Neste capítulo também são descritas as metaheurísticas a serem utilizadas na resolução do problema, de forma clara e objetiva. Já o terceiro é composto pelo modelo e formulação matemática do problema que se propõe. No quarto capítulo são apresentados os experimentos realizados e os resultados obtidos. Esse capítulo é composto por seções que descrevem os experimentos realizados para análise do modelo, e por seções que analisam a transmissão IPTV em uma rede frente à topologia adotada e apresentada na seção 4.3.

2 REVISÃO DO ESTADO DA ARTE

Este capítulo não objetiva apenas a apresentação de conceitos, arquiteturas, e as principais aplicações da tecnologia *Internet Protocol Television* (IPTV), mas também descrever conceitos e aplicações das metaheurísticas utilizadas nessa dissertação.

2.1 Visão Geral do *Internet Protocol Television* (IPTV)

A partir de serviços básicos de telecomunicação, mais abrangentes, ou seja, disponibilidade e alcance maiores que as redes de TV a cabo, as operadoras de telefonia podem se tornar concorrentes na disponibilização da tecnologia IPTV. Entretanto, para que isso seja possível, os sinais de vídeo e áudio providos devem ter qualidades comparáveis, senão superiores, àquelas dos sinais entregues pelas redes de TV a cabo. Sendo a tecnologia conhecida como *Internet Protocol Television* (IPTV) capaz de tornar isso realidade.

Existem diferentes tipos de motivação para o estudo do tema. Algumas áreas veem o IPTV não apenas como fonte de lucro ou pesquisa, mas também como um canal adicional para conteúdos já existentes, por exemplo. Na Tabela 1 são apresentadas outras possíveis motivações.

Tabela 1 - Motivações para o IPTV.

Área de atuação	Motivação
Provedor de conteúdo	Canal Adicional para o conteúdo já existente.
TV por assinatura	Assistente de gerenciamento de migração sob demanda.
Consumidores de Eletrônicos	Compartilhamento de receitas com anúncios.

Fonte: Liu e Little (2010).

De maneira ampla, a IPTV pode ser definida como um tipo de transmissão de TV com conteúdos entregues via protocolo de *Internet* diretamente ao consumidor, através de uma rede fechada (UGALDE; HUICI, 2007). O provedor de conteúdo tem alguma forma de controle sobre a rede que fornece o sinal para o usuário. Isso é diferente de TV pela *Internet* que será abordada na seção 2.2. Pinto, em (PINTO; RICARDO, 2010), complementa a definição de *Internet Protocol Television*

descrevendo que é o serviço de transmissão (*streaming*) de programas de TV ao vivo e de vídeo sob demanda através de uma rede IP.

Para Lee (2007) e Volk et al. (2008) *Internet Protocol Television* (IPTV) é a tecnologia que fornece vídeo digital em tempo real e serviços de *streaming* de televisão, sobre IP e redes de acesso, com mecanismos para garantir a qualidade adequada do serviço (QoS) e da experiência (QoE), interatividade e confiabilidade.

O IPTV pode fazer uso de um *Set-Top-Box* para acesso ao serviço, através de um aparelho de televisão clássico. Isso é feito por meio de conexão com a *Internet* de banda larga, o que pode ser um grande empecilho quando o acesso a esse meio é difícil, caro e, na sua grande maioria, não atinge os requisitos mínimos estabelecidos para a transmissão de vídeo (MINOLI, 2008).

2.2 Diferença de IPTV e TV via *Internet*

A crescente disponibilidade de redes de banda larga dentro e fora de casa, a riqueza crescente de serviços web, o desenvolvimento de aplicações mais fáceis, permitiram o crescimento atual da distribuição de vídeo, através da *Internet*. Isso fez com que a indústria de TV experimentasse uma nova mudança na rede de televisão tradicional "TV via *Internet*" (PALMER, 2008). No entanto, essa mudança cria alguma confusão entre o que o serviço IPTV e a TV via *Internet* têm em comum e quais fatores os tornam diferentes.

O IPTV não deve ser confundido com transmissão de TV via *Internet*. A transmissão de TV via *Internet* consiste, basicamente, da entrega de TV usando IP (*Internet Protocol*) sobre uma rede que seja capaz de prover a qualidade de serviço necessária à entrega do vídeo. De acordo com Ugalde e Huici (2007), o IPTV é definido como um conjunto de serviços multimídia tais como televisão, vídeo, áudio, texto, gráficos e dados entregues por redes baseadas em IP, gerenciadas para fornecer os níveis de QoS e QoE, segurança, interatividade e confiabilidade requeridos.

Assim, a grande diferença entre a entrega de vídeo via *Internet* e IPTV reside na utilização de uma rede que garante a qualidade de serviço necessária para uma boa experiência de uso por quem assine o serviço. Em (MARIE; KLYM; MIRLACHER, 2010), os autores definem que IPTV fornece a lista de serviços

definidos como os tradicionais programas de televisão, Vídeo *on Demand* (VoD), *Pay-Per-View* (PPV), *Electronic Program Guides* (EPG), bem como serviços adicionais como informações de tráfego e condições meteorológicas (LIU; LITTLE, 2010).

A integração da *Internet* e TV (TV via *Internet*) é um meio poderoso para a entrega de informação para os clientes. No entanto, a instrução tem de ser concebida para atender às necessidades e características dos mesmos (ALLY, 2001). Ao contrário do que acontece na IPTV, a TV via *Internet* pode ser qualquer vídeo entregue, através da *Internet* pública para computadores e alguns equipamentos dedicados (ALLY, 2001). A TV via *Internet* pode ser fornecida em alguns casos até mesmo em tempo real, porém o formato de vídeo utilizado na transmissão de baixa definição é o (*Low Definition* (LD)) e não há uma garantia de que ocorrerá disponibilidade na transmissão, ou seja, quando o número de usuários for excessivo a transmissão trava ou perde conexão, conforme Tomari et al. (1997). Alguns sites utilizam recursos como o chamado Conteúdo Gerado pelo Usuário (UGC) para transmitir programas de televisão como se fosse TV via *Internet*, porém os conteúdos não são transmitidos em tempo real. Esse fator se tornou popular com o surgimento de sites, como *YouTube*, que até pouco tempo atrás não realizavam transmissões em alta definição e assim não poderiam ser comparados à tecnologia IPTV, pois suas características eram totalmente diferentes (MARIE; KLYM; MIRLACHER, 2010).

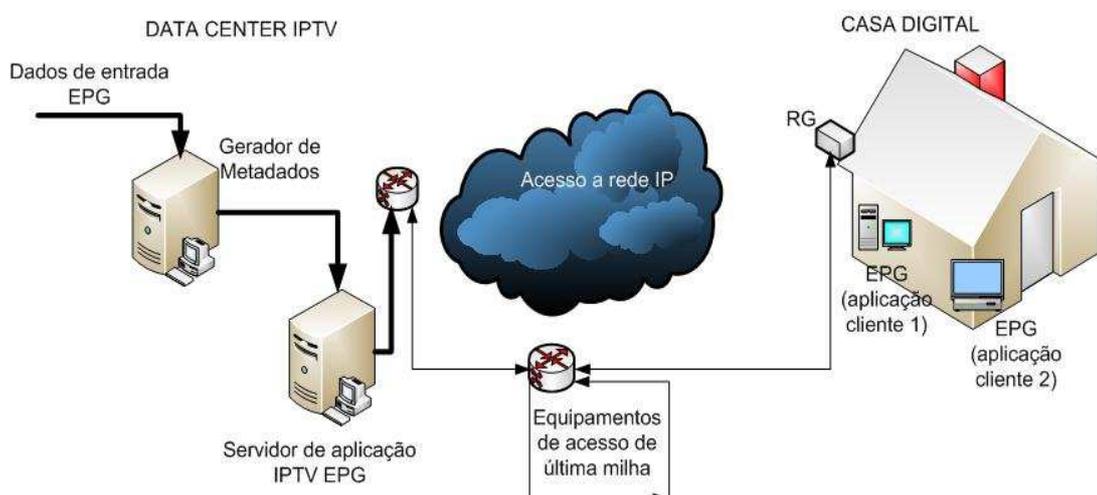
2.3 Funcionamento da tecnologia IPTV

Nesta seção é apresentada a arquitetura do IPTV, tendo em vista seus componentes e características peculiares. O serviço IPTV é provido individualmente a cada cliente, através de seu enlace com a provedora de acesso, diferentemente do que ocorre nos sistemas de TV a cabo e via satélite. A exclusividade do canal permite fazer não só o *broadcast* (difusão) de um programa de TV para vários assinantes, como oferecer Vídeo sobre Demanda (VoD), programação com atraso (*Timeshift broadcast*) e *download* de arquivos para exibição posterior (MINOLI, 2008).

O serviço de *Internet Protocol Television* é geralmente transmitido sobre uma *Digital Subscriber Line* (DSL) de alta velocidade (VDSL). Isto significa que a cadeia

de fornecimento de toda a IPTV é semelhante ao de cabo, satélite ou transmissão terrestre, e sob o controle de um operador, tendo como exemplo a AT & T, segundo Minoli (2008). Na Figura 1, é apresentada uma arquitetura simplificada da rede de IPTV.

Figura 1- Arquitetura simplificada da rede IPTV



Fonte: O'Driscoll (2008)

Na Figura 1, observa-se que o fluxo de dados inicia pelo o *Data Center* IPTV. O mesmo recebe os dados de entrada áudio, vídeo e dados através do gerador de metadados. Em seguida, é acrescentada a identificação própria dentro da rede. Isso permite o mapeamento no receptor dos identificadores, criados no ambiente de autoria para sua localização no sistema de transporte, e os envia para o servidor de aplicação.

O servidor de aplicação recebe as informações do gerador de metadados e as armazena, realizando a transmissão perante a solicitação do usuário. Isso é feito por meio da rede IP, composta por equipamentos como roteadores, *switches* e outros. A Figura 1 ainda apresenta os chamados equipamentos de acesso à última milha, ou seja, o roteador que distribui IP para o usuário. A partir deste roteador é realizada a transmissão até o usuário final que decodifica os dados, através do seu equipamento (O'DRISCOLL, 2008).

Diante da visão ampla abordada na seção 2.1, surge a necessidade de se detalhar alguns itens que serão utilizados do desenvolvimento da arquitetura da tecnologia IPTV. Diversos aspectos tecnológicos são fundamentais para tornar a tecnologia IPTV viável, dentre eles destacam-se a compressão (codificação) de vídeo e o aumento na taxa de transmissão, hoje obtida da parte final do enlace entre

a operadora ou provedora do serviço de telecomunicações e o cliente. Porém, para que se possa compreender melhor seu funcionamento, algumas entidades que fazem parte do seu universo serão contempladas a seguir, a saber, Central de Dados, Rede de Transporte, *Set-Top-Box*, Rede Doméstica, Distribuição IPTV, Empacotamento e Transporte dos Conteúdos, Programação de Radiofusão em IPTV, Arquitetura do Software do DCIPTV, Sistema DRM e Administração de Redes IPTV.

2.3.1 Central de Dados (IPTV *Data Center*)

A Central de Dados de IPTV é responsável pelo processamento e preparo do conteúdo para distribuição. Tal estrutura conta, não só com *switches* e roteadores, mas também com servidores de armazenamento necessários para suportar os serviços de vídeo, programação, com base local, etc. (AGRAWAL; BISDIKIAN; LEE, 2007).

A Central recebe conteúdo de uma variedade de fontes: vídeo local, conteúdos agregadores, conteúdo de produtores, canais terrestres, satélite e cabo. (MINOLI, 2008). Uma vez recebidos, uma cadeia de componentes de *hardware*, de codificadores e servidores de vídeo para roteadores de IP e hardware exclusivo de segurança, é utilizada para preparar o conteúdo de vídeo para ser entregue, através de rede baseada em protocolos de *Internet* (IP). Adicionalmente, um sistema de gerenciamento de assinaturas gerencia os dados dos assinantes e pagamentos. A Central de Dados IPTV tem sua localização ditada pela infraestrutura de rede usada pelo provedor de serviços (O'DRISCOLL, 2008).

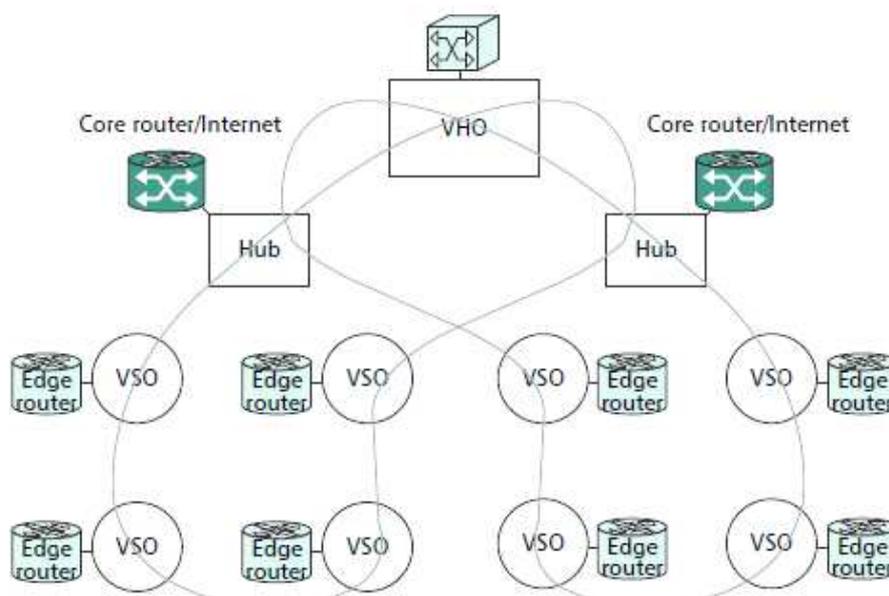
2.3.2 Rede de Transporte

Consiste num *mix* de tecnologias que carregam o conteúdo de IPTV da central de dados até o usuário final. A entrega de serviços de IPTV requer conexão individual, *one-to-one* como se observa na Figura 1. No caso de grande emprego de IPTV, o número de conexões *one-to-one* aumenta significativamente e as demandas, em termos de largura de banda na infraestrutura de rede, podem ser bem grandes (HAN; NEHIB, 2008).

Segundo Hallam e Rarick (2007) a fibra óptica, o cabo coaxial de infraestruturas de TV e fibras de redes de telecomunicações (fibras óticas) são particularmente adequados para conteúdo de IPTV.

O modelo de transporte de uma rede IPTV, ilustrado na Figura 2, mostra uma rede de transporte de referência de IPTV modelo de 11 nós. Oito *Video Serving Offices* (VSOs) estão conectados a um *Video Headend Office* (VHO). A topologia da rede de transporte (anel) fornece dois caminhos protegidos para o tráfego de vídeo entre o VHO e os Hubs e os VSOs. A proteção do tráfego entre os Hubs e os VSOs também é feita, através de dois caminhos (HSI) *High-Speed Internet* (HAN; NEHIB, 2008).

Figura 2 - O modelo de transporte de uma rede IPTV



Fonte: Han e Nehib (2008).

O VHO é o fator principal da distribuição de vídeo na rede regional. Ele é o topo da árvore de redes *multicast*, a fonte para o tráfego de VoD e o ponto de entrada para o índice de difusão local e anúncios locais (HALLAM; RARICK, 2007).

Para o transporte, o protocolo é um fator muito importante. Em determinados tipos de arquiteturas utilizadas, alguns são mais usuais do que outros (SILVERSTON, 2009). A arquitetura adotada nesse trabalho utiliza o Protocolo de Transporte RTTP/UDP: O *Real-Time Transport Protocol* (RTTP), (SCHULZRINNE, 1998). O Protocolo de Transporte em Tempo Real foi apresentado formalmente em janeiro de 1996, pelo Grupo de Trabalho de Redes (*Network Working Group*) do *Internet Engineering Task Force* (IETF), com o objetivo de padronizar a

funcionalidade para aplicativos de transmissão de dados em tempo real como vídeo, áudio, tanto em redes *unicast* como nas *multicast*, sem, entretanto garantir a qualidade de serviço (QoS) ou reservar recursos de endereçamento (TANENBAUM, 2003).

2.3.3 Set-Top-Box

Uma nomenclatura bastante utilizada na literatura como sinônimo para *Set-Top-Box* é *IPTV Devices*. Eles são instalados nos *Set-Top-Box* clientes e promovem a conectividade entre a TV e o acesso à rede baseada em protocolos de *Internet*. Os Dispositivos de Consumo de IPTV (DCIPTVs) são componentes chaves para permissão do acesso aos serviços de IPTV. O DCIPTV conecta à rede de banda larga, sendo responsável por decodificar e processar a entrada de IP, com fluxo de vídeo comportando avançadas tecnologias que minimizam ou eliminam completamente os efeitos de problemas da rede quando processam conteúdos IPTV (HALLAM e RARICK, 2007).

O IPTV permite a entrega de uma ampla variedade de conteúdo de vídeo numa variedade de diferentes dispositivos de consumo. Dos diversos dispositivos de consumo que estão disputando uma cota do emergente mercado de IPTV, hoje a maior parte das implantações de uso residencial são a dos *gateways* IP e *Set-Top-Box* (GRAZIANO, 2009).

Gateways residenciais (RGs) são caracterizados por sua capacidade de interconectar diferentes tipos de dispositivos de consumo digital conectados a uma rede de distribuição doméstica de acesso em banda larga IP. Além da conectividade, os RGs também possuem funcionalidades avançadas, tais como proteção de *firewall*, suporte para acesso a uma gama de serviços IP, incluindo IPTV (O'DRISCOLL, 2008).

O *Set-Top-Box* é o aparelho de escolha para a maioria dos operadores de telecomunicações que queiram adicionar serviços de IPTV aos seus portfólios de produtos. Ele é baseado em tecnologia de rede IP e através do projeto de *software* dos módulos é fornecido o suporte necessário. Os módulos são classificados da seguinte maneira: módulo de acesso à rede, módulo de registro e autenticação, módulo do navegador, *Qt server* (método de entrada) módulo *player* de vídeo e módulo leitor de áudio (XIANZHANG, et al. 2009).

Uma caixa de IP *Set-Top* permite painéis nos *displays* das TVs para exibição de conteúdo de vídeo baseado em IP (XIANZHANG, et al. 2009). Alguns dos mais sofisticados IP *Set-Top-Box* incluem recursos mais avançados como tempo de deslocamento da visualização, a capacidade de processar conteúdo de vídeo de alta definição e suporte avançado para serviços de redes domésticas. Além disso, a maioria dos módulos componentes pode ser integrada num único *chip* de circuito integrado (MINOLI, 2008).

O advento do *system-on-chip* nos *Set-Top-Box* baseados em IP torna mais fácil para os prestadores de serviços a implantação de serviços de IPTV (GRAZIANO, 2009). Nota-se que a aparência física geral e a sensação produzida por uma caixa são especificadas pelo fornecedor. A gama de produtos *Set-Top-Box* é segmentada em um número de categorias: *multicast* e *unicast*, DVRs, IP híbrido terrestre, IP híbrido satélite e Cabo IP híbrido. *Set-Top* híbrido é uma nova categoria de dispositivos que podem receber e decodificar satélite terrestre padrão, ou conteúdo de vídeo a cabo, bem como permitir acesso aos serviços interativos de IPTV sobre uma rede de banda larga (MINOLI, 2008).

Outros tipos de DCIPTVs incluem consoles de jogos e servidores de mídia em casa. Os consoles de jogos são utilizados pelos consumidores como muitas formas de entretenimento digital, incluindo a navegação na *Internet* e acesso a serviços IPTV. Os servidores de mídia fornecem um *hardware* exclusivo e uma plataforma de *software* ideal para acessar os serviços IPTV (TAESEOK; HYOKYUNG, 2008).

2.3.4 Rede Doméstica

Ela possibilita a distribuição de dados, voz e vídeo entre os diferentes equipamentos eletrônicos da residência. Seu objetivo é prover acesso à informação, como voz, áudio, dados e entretenimento entre diferentes dispositivos digitais dentro da residência. Ela conecta um número de componentes digitais dentro de uma pequena área. Na Figura 1, seção 2.3, a rede doméstica é identificada como casa digital. Ela melhora a comunicação entre seus usuários e permite o compartilhamento de recursos caros entre os membros de uma família trazendo uma economia maior, tanto financeira quanto de tempo (O'DRISCOLL, 2008).

As taxas de transmissão de banda larga tendem a ficar cada vez mais acessíveis. Junta-se a esse fator, os avanços na tecnologia de compressão e a

necessidade das empresas de telecomunicações de oferecer serviços de vídeo aos seus clientes, sendo possível ter um crescimento na adoção global de IPTV. Várias organizações estão envolvidas no desenvolvimento tecnológico de padrões e produtos para incentivar os consumidores a adotarem os serviços de IPTV, um exemplo disso é o próprio projeto DIGICONV.

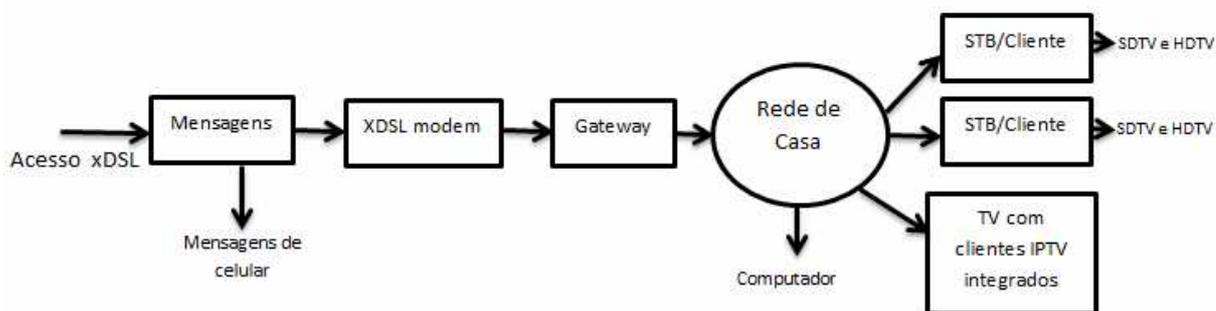
2.3.5 Distribuição IPTV

Para Graziano (GRAZIANO, 2009), pela natureza do IPTV, uma alta velocidade da plataforma de rede de distribuição se faz necessária para suportar a entrega de conteúdos baseados em IP. O objetivo desta rede é mover *bits* de dados entre o centro do prestador de serviços de dados IPTV e o dispositivo consumidor de IPTV. É necessário fazer isso de uma maneira que não afete a qualidade do fluxo de vídeo entregue ao assinante IPTV, e cabe a cada provedor de IPTV decidir sobre o tipo e a sofisticação da arquitetura de rede necessária para suportar os seus serviços de IPTV.

Operadores de telecomunicações têm uma grande variedade de tecnologias de rede para escolher ao decidirem implantar os serviços de IPTV. As capacidades de largura de banda, virtualmente ilimitada, de redes baseadas em fibra ótica a tornam uma plataforma ideal para a realização de serviços IPTV (MARIE; KLYM; MIRLACHER, 2010).

O uso de conexões rápidas de *Internet* cresceu muito nos últimos anos. Conforme mais pessoas compram computadores e criam suas redes domésticas, a demanda por conexões de banda larga (alta velocidade) cresce sem parar. Tecnologias como ADSL264 e VDSL65 fornecem redes com grande largura de banda e velocidades (MARIE; KLYM; MIRLACHER, 2010). Elas são soluções de comunicação totalmente escaláveis e são adequadas para a entrega de aplicações avançadas de IPTV aos usuários finais (GRAZIANO, 2009). Conforme, ilustrado na Figura 3, a seguir, o modem xDSL e *Set-Top-Box* (STB) não estão integrados no mesmo módulo.

Figura 3 – Distribuição IPTV



Fonte: Ramírez-Acosta, A. A.; Vázquez M.S. (2010).

Neste caso, os vídeos *streams* IPTV são enviados do *modem* xDSL para o monitor ou televisão com a STB de um cliente de IPTV integrado (*embedded*) na rede da casa de destino (RAMÍREZ; VÁZQUEZ, 2010).

A indústria de satélites também já começou a aumentar os seus serviços de transmissão de TV, com novos produtos de vídeo IP que visam os setores da indústria da telecomunicação e TV a cabo (GRAZIANO, 2009). A arquitetura de rede utilizada para apoiar esses novos produtos à base da IPTV inclui um *headend* de vídeo para o processamento, os satélites para a distribuição, *hubs* de vídeo para a agregação regional e as redes de acesso em banda larga para entrega dos sinais de IPTV aos assinantes (RAMÍREZ; VÁZQUEZ, 2010).

A capacidade de distribuir TV eficientemente, através da *Internet* pública está transformando a indústria da TV digital. Garantir um serviço de qualidade é uma das maiores questões com que os prestadores de serviços têm de lidar quando entregarem IPTV, através da *Internet* pública (CRUZ; NUNES, 2009). Atrasos, o congestionamento da rede e pacotes de IP corrompidos são apenas algumas das condições com que os produtores de canal de *Internet* TV e grandes portais de serviços de vídeo têm de lidar em sua rotina diária. Porém, o IPTV tem algumas exigências muito rigorosas quando se trata de desempenho de infraestrutura de rede, ou seja, capacidade de largura de banda adequada e níveis de performance previsíveis (MINOLI, 2008).

2.3.6 Empacotamento e Transporte dos Conteúdos

A compressão de vídeo é um processo utilizado pelos prestadores de serviços de IPTV, para reduzir a quantidade de dados contidos num arquivo de

vídeo, para um tamanho que possa ser transportado, através de uma rede de banda larga. Diferentes tecnologias de compressão são adequadas para diferentes fins. O *Moving Picture Experts Group 2* (MPEG-2), por exemplo, é uma tecnologia de compressão de vídeo usado por aplicações de televisão digital. MPEG-4 é o sucessor do MPEG-2 e inclui uma série de recursos avançados que dão melhoria nas taxas de compressão para suporte de aplicações multimídia interativas. O VC-1 é uma tecnologia de codificação que foi padronizada pela organização internacional chamada SMPTE. É publicada como SMPTE 421M e é acompanhada de duas publicações irmãs, que definem os mecanismos de transporte e diretrizes de conformidade para a tecnologia. O VC-1 foi projetado para comprimir vídeo numa variedade de diferentes taxas de *bits*, incluindo aqueles que são normalmente utilizados pelas aplicações de IPTV (OBARIDOA; et al., 2009).

O IPTVCM, modelo de comunicação IPTV, é uma estrutura conceitual em rede que é composta de sete camadas e, em algumas implementações, de oito, cada uma delas com protocolos específicos e funções de rede que são usados para comunicação entre dispositivos de IPTV. As camadas superiores do modelo são responsáveis por serviços diversos, como codificação de vídeo e empacotamento de conteúdo. Os níveis mais baixos deste modelo são responsáveis pelo transporte de funções direcionadas como roteamento, endereçamento, controle de fluxo e entrega física (OBARIDOA, et al., 2009).

2.3.7 Programação de Radiodifusão em IPTV

Prestadores de serviços de IPTV também estão ofertando a transmissão de programação linear tradicional de TV aos seus assinantes. Para VoD, um sistema de comunicação *unicast* é usado para estabelecer vínculos individuais ou sessões entre os vários DCIPTVs e o *datacenter* do servidor IPTV (PINTO e RICARDO, 2010). Este método de comunicação não é eficaz para entrega dos canais tradicionais de transmissão porque a duplicação de sessões ponto a ponto seriadas sobrecarregam a rede. Portanto, uma técnica chamada IP *multicast* é amplamente usada para fornecer um único canal de transmissão de TV a vários clientes simultaneamente (PINTO; RICARDO, 2010).

O IP *multicast* seria uma técnica popular usada para transmitir canais de televisão ao vivo. Do ponto de vista técnico, é um híbrido de *unicast* e tecnologias de

transmissão. Com um IPTV *multicast*, somente uma única cópia de cada canal de vídeo é transportado, através da rede, independentemente do número de pessoas que visualizarem o canal. Este é um excelente mecanismo para reduzir as exigências de tráfego da rede e ajuda na conservação da largura de banda (PINTO e RICARDO, 2010).

Além de atender às solicitações de vários tipos de DCIPTVs e encaminhamento de tráfego de rede, os roteadores *multicast* têm uma série de outras capacidades, desde a gestão de árvores de distribuição que controlam o caminho que o tráfego de IP *multicast* desenvolveu através da rede para replicar fluxos, até processamento de protocolos *multicast*, etc. (PINTO e RICARDO, 2010).

2.3.8 Arquitetura do Software do DCIPTV

O *software* que roda num DCIPTV permite o bom funcionamento do dispositivo, escondendo do usuário final a complexidade dos elementos do sistema. Um ambiente típico de *software* de DCIPTV inclui os itens detalhados a seguir (GRAZIANO, 2009):

- *Drivers*: Este componente suporta uma vasta gama de tipos de *mídia* e protocolos de rede;
- *RTOS (Real Time Operating System)*: É um componente chave da plataforma de *software* do dispositivo de consumo IPTV. Os sistemas operacionais que funcionam em caixas de IP *Set-Top* e plataformas de RG são capazes de atender à forte demanda dos consumidores associada à prestação de serviços de IPTV. Um RTOS é capaz de operar dentro de um pequeno espaço de memória, é extremamente confiável e realiza *boot* muito rapidamente durante a inicialização do dispositivo. Além de processamento e codificação de sinais de televisão, um RTOS de um DCIPTV também deve regular a alocação de recursos, como memória e utilização de processador;

- *Middleware*: No contexto de IPTV, este tipo de *software* é instalado no *Set-Top-Box*, descrito na seção 2.3.3, e age como uma camada de conversão ou tradução. Pode ser definido como uma camada em *software*, de abstração de *hardware*, sobre a qual são estruturadas as aplicações, independentemente das peculiaridades do *hardware* do terminal de acesso (CPqD, 2006). Com ele, também é possível sua utilização com um servidor para *off-load* de algumas tarefas de processamento e armazenamento do IP *Set-Top-Box* para o servidor *back-end*. Além disso, este *software* tem um papel fundamental para garantir que os serviços de IPTV sejam processados corretamente. Para um modelo de varejo, é fundamental a criação de modelos abertos que possam garantir o investimento no DCIPTV. Com isso, a procura por padrões abertos no mundo dos sistemas de *middleware* de IPTV resultou numa série de planos para estender a funcionalidade das seguintes normas, para apoiar a prestação de serviços interativos de IPTV:
 - a) MHP (*Multimedia Home Platform*): Uma plataforma única, aberta, de desenvolvimento de televisão interativa com base na plataforma Java. Um dos principais benefícios do MHP é que ele fornece aos desenvolvedores a capacidade de facilmente criar aplicações baseadas em código aberto. MHP-IPTV é uma extensão para o sistema de *middleware* MHP;
 - b) GEM (*Globally Executable MHP*): Pode ser definida como uma plataforma de TV interativa que permite a outras organizações definir especificações baseadas em MHP;
 - c) OCAP (*Open Cable Application Platform*): Descrito como uma plataforma aberta de *software middleware* que foi desenhado para a indústria de cabo norte-americana, permitindo aos operadores oferecer serviços sofisticados de TV interativa. OCAP incorpora um vasto conjunto de APIs

que são utilizadas pela comunidade de desenvolvedores para criação de aplicações de iTV;

- d) ACAP (*Advanced Cammon Application Plataform*): é uma norma que integra duas plataformas de *middleware* de televisão interativa, seguindo as tecnologias utilizadas na especificação GEM;
- e) GINGA: Segundo (COMUNIDADE GINGA, 2006) ele é o *middleware* de especificação aberta, adotado pelo Sistema Brasileiro de TV Digital Terrestre (SBTVD) e que será instalado em conversores (*Set-Top-Box*) e em televisores, fato esse que já acontece atualmente. Ele é uma camada de *software* intermediária, entre o sistema operacional e as aplicações e possui duas funções principais: uma é oferecer um melhor suporte ao desenvolvimento de aplicações e a outra é tornar as aplicações independentes do sistema operacional da plataforma de *hardware* utilizado, sendo ele o responsável por dar suporte à interatividade.

2.3.9 Sistemas DRM (*Digital Rights Manegement*)

Para (LIN, et al., 2005) o *Digital Rights Management* (DRM) é essencial para controlar e proteger os direitos digitais do conteúdo disponibilizado pelo IPTV. Ele deve realizar uma proteção contra o acesso não autorizado aos serviços e conteúdo de IPTV, para que as operadoras de telecomunicações possam garantir que o sistema de segurança instalado irá prover a identidade de cada assinante que acessar o conteúdo baseado em IP (CHENGJUN e SANPING, 2010). Além da autenticação, o sistema de segurança de IPTV também precisa proteger o conteúdo em todos os estágios da entrega, do ponto de acesso da captação do conteúdo audiovisual até o último quilômetro de chegada ao DCIPTV ou *Set-Top-Box* do assinante (LIN, et al., 2005).

Além de proteger os acessos aos conteúdos de TV multicanais sob demanda, o sistema de segurança da IPTV precisa também proteger a privacidade do usuário

final, seus dados e os componentes de sua infra-estrutura de rede (OBARIDOA, et al., 2009). Existem algumas opções de modelos de sistemas que as empresas de telecomunicações podem adotar. Sendo assim o objetivo do DRM é parametrizar e controlar um determinado conteúdo de maneira mais restrita. Ele está sendo incluído em todos os tipos de dispositivos digitais, algumas vezes sem informar a quem os compra a respeito de suas consequências (LIN, et al., 2005).

2.3.10 Vídeo sob Demanda (VoD)

Segundo (O'DRISCOLL, 2008), a tecnologia que está mudando a maneira como as pessoas assistem e interagem com televisão é o vídeo sob demanda (VoD). A IPTV permite que os usuários naveguem numa biblioteca de vídeos armazenados digitalmente, selecionem e visualizem instantaneamente o conteúdo escolhido. Estimulados pelo surgimento de redes de banda larga de próxima geração, combinado com a melhoria do preço e as taxas de desempenho de DCIPTVs, em todo o mundo são implantados sistemas de VoD baseados em tecnologias de rede IP, e estas vem crescendo significativamente nos últimos tempos (LIN, et al., 2005).

O método tradicional de solicitação *pay-per-view* de conteúdo de vídeo está mudando e evoluindo para atender às demandas dos consumidores. Esta evolução provoca a implantação generalizada da tecnologia vídeo sob demanda. VoD é um aplicativo de TV interativa que permite ao consumidor visualizar o conteúdo de vídeo quando quiser, além de fornecer aos usuários finais de IPTV um amplo espectro de aplicações do tipo *on-demand*. Os principais componentes de uma infra-estrutura IP-VoD incluem servidores de vídeo IP, protocolos de transporte e *software* do cliente (Open IPTV Forum, 2009).

O servidor de vídeo armazena e executa, em tempo real, o *streaming* de conteúdo IPVoD (Open IPTV Forum, 2009). Os arquivos estão fisicamente armazenados em servidores na forma de arquivos de computador. Há um enorme crescimento da demanda pela recente tecnologia de armazenagem avançada, para apoiar a crescente popularidade de produtos *on-demand* (HALLAM; RARICK, 2007).

Os processadores dos servidores de VoD permitem suportar uma maior densidade de fluxos de vídeo. IPVoD também inclui uma plataforma de *software* de gestão capaz de gerir conteúdos armazenados (WALKO, 2005). O *software*

especializado em armazenagem deste aplicativo na caixa *set-top*, ajuda a melhorar a experiência de baixar vários tipos de conteúdo VoD. Esta aplicação, geralmente, é integrada à caixa *set-top*, comunicando-se diretamente com o servidor de VoD (HALLAM; RARICK, 2007).

Existem duas abordagens para a concepção de uma rede de apoio à entrega de vídeo IP sob demanda: centralizada e distribuída. Na abordagem centralizada, os servidores são mantidos numa localização central, enquanto que um projeto baseado numa arquitetura distribuída localiza os servidores em diferentes posições ao longo de uma determinada região geográfica (HALLAM; RARICK, 2007). Os protocolos utilizados para facilitar a comunicação entre os servidores IPVoD e os DCIPTVs dos clientes variam entre as arquiteturas de rede, mas tipicamente incluem o uso de protocolos de *Internet* de comunicação que exercem fluxos de IPTV sobre redes de banda larga, (O'DRISCOLL, 2008).

2.3.11 Administração de Redes IPTV

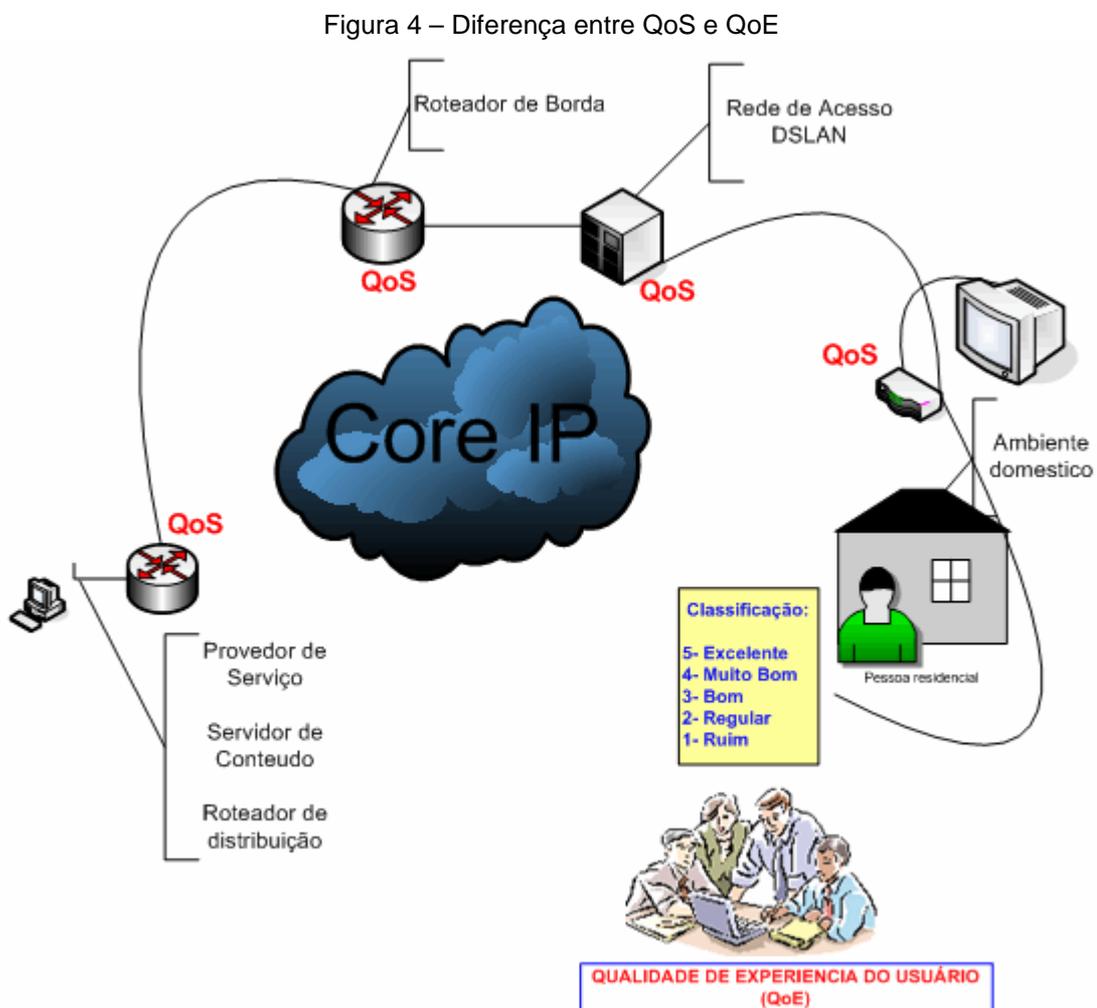
A prestação de serviços de TV, através de uma rede baseada em IP, vem com seu próprio conjunto de desafios técnicos e comerciais. Um dos primeiros desafios surge durante a operação de uma rede IPTV no dia a dia, é quando o prestador de serviços precisa ser capaz de gerenciar o tráfego de vídeo dos vários componentes da rede que são usados para fazer uma rede IP (MINOLI, 2008). Para ativar esse controle os provedores de IPTV necessitam de um sistema de gerenciamento de rede (NMS) que monitore e identifique os problemas que possam vir a afetar o fornecimento dos serviços de televisão aos seus clientes (YARALI, 2005). Outro desafio enfrentado pelos fornecedores é simplificar a disposição dos serviços aos novos assinantes (CHUNG-HUA, et al., 2010).

A instalação de um serviço de IPTV é relativamente complexa e exerce pressão sobre os recursos dos prestadores de serviços. Portanto, muitos operadores tentam automatizar a instalação e o abastecimento de serviços de IPTV num esforço para reduzir o tempo necessário para realizar instalações. Assim, vão além do gerenciamento e a distribuição de serviços de rede IPTV.

Serviços IPTV precisam garantir que seus clientes recebam uma qualidade de TV que seja superior diante da oferta de outros serviços de cabo e satélite. Por isso os operadores de IPTV precisam garantir que os seus clientes recebam a resposta

adequada nas solicitações de mudança. Isto é um requisito completamente básico a partir da perspectiva do assinante, no entanto, a implementação desta funcionalidade, especialmente numa grande rede IPTV, pode ser problemática para os operadores de rede (CHUNG-HUA, et al., 2010).

Nesse item, dois fatores devem ser levados em consideração: QoS e QoE, pois, como já citado, eles são características que diferenciam o IPTV de outros serviços similares, segundo (KIM; CHOI, 2010). A Figura 4 ilustra as diferenças entre eles e mostra que o QoS se refere aos mecanismos aplicados na rede IPTV no nível dos equipamentos de rede, e o QoE se refere à opinião do usuário quanto à qualidade do serviço IPTV fim-a-fim (CHUNG-HUA, et al., 2010).



Fonte: (CRUZ; NUNES, 2009).

A Figura 4 apresenta como informações de entrada os dados do provedor de serviço e do servidor de conteúdo que passam pelo primeiro nível onde é possível encontrar o QoS, no roteador de distribuição. Assim, os dados são enviados para o

roteador de borda, onde na figura está localizada a segunda aplicação de QoS. Os dados são encaminhados para rede de acesso do cliente, no caso *Digital Subscriber Line Access Multiplexer* (DSLAM), equipamento que assegura os fluxos *Asynchronous Transfer Mode* (ATM), para rede de transporte. Por fim, os fluxos são transmitidos até o aparelho do usuário, último nível que se pode aplicar o QoS. Após a transmissão ser recebida o cliente avalia o serviço entre os níveis determinados pela operadora.

A partir da compreensão do funcionamento do IPTV, obtida nesse capítulo com o detalhamento dos fatores que o compõem, é possível entender as diferentes arquiteturas utilizadas para que o serviço chegue até o usuário. Essas arquiteturas serão abordadas na próxima seção.

2.4 Arquiteturas IPTV

Uma arquitetura de rede IPTV consiste em duas partes: a "última milha" de banda larga de distribuição (uma para cada ponta) e a espinha dorsal ou núcleo centralizado. Uma grande variedade de redes, incluindo os sistemas a cabo, telefone de cobre, sem fio e redes de satélites, pode ser utilizada para fornecer serviços avançados de rede IPTV ao longo do percurso da "última milha" da rede. A entrega de vídeo em todos esses diferentes tipos de redes vem com seus próprios conjuntos de desafios.

Diferentes arquiteturas são usadas no mercado, porém a União Internacional das Telecomunicações (UIT) definiu um modelo de referência para a IPTV *Next Generation Network Architecture* (GNA) para que uma padronização fosse respeitada (LEE, 2007). A arquitetura considera quatro papéis principais, que podem pertencer a entidades distintas, por exemplo, o provedor de conteúdo pode ser uma organização de mídia, o prestador de serviços e de rede pode ser um operador e, juntos, servir o cliente com serviços de IPTV, (CRUZ; NUNES, 2009), (MARIE; KLYM; MIRLACHER, 2010) e (*Open IPTV Forum*, 2009). As funções são descritas seguir:

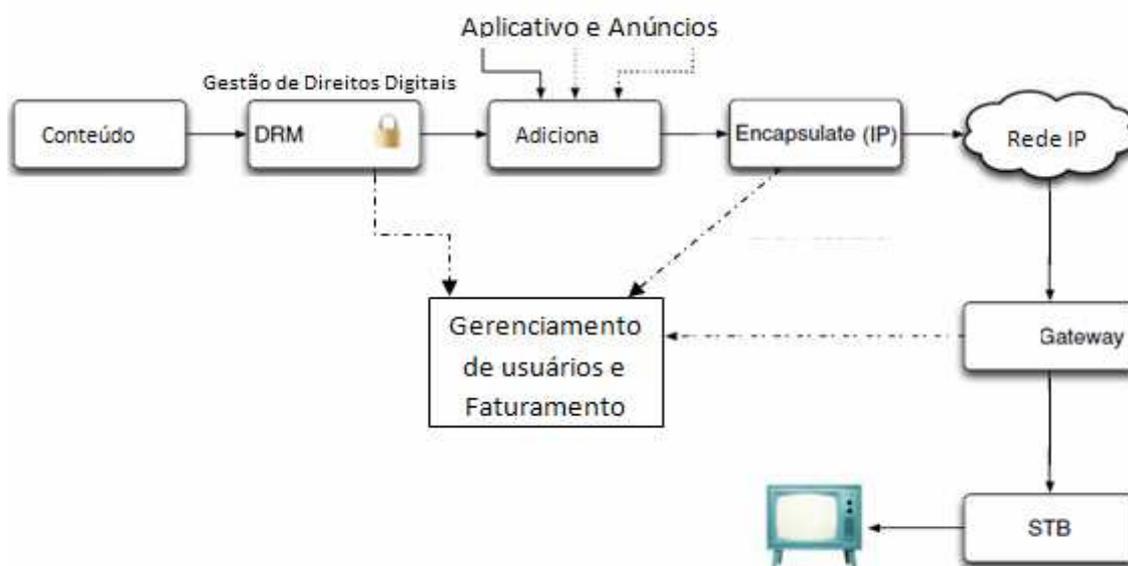
- Provedor de Conteúdo: Esta entidade é proprietária e pode vender o conteúdo a ser transmitido para o cliente;
- Provedor de Serviço: O serviço de IPTV é fornecido pelo Provedor de Serviços, os conteúdos são licenciados ou adquiridos a partir do

provedor de conteúdo. O cliente compra o serviço que é um pacote criado pelo Provedor de Serviços, desde que ele esteja disponível;

- Operadora Rede: A conexão entre o prestador e o cliente é garantida pela operadora de rede;
- Cliente: O próprio nome o define, consome o serviço de IPTV.

Uma configuração de IPTV, utilizada atualmente, é representada pela Figura 5. Essa arquitetura dispensa a utilização dos tradicionais provedores de TV aberta, TV a cabo e por satélite. Ela utiliza serviços *Over The Top* (OTT), entrega de vídeo, áudio e dados para todos os usuários via rede, englobando todos os lugares na comunidade e no mundo, com ou sem a dependência de uma infra-estrutura tradicional com um núcleo da rede, (MARIE; KLYM; MIRLACHER, 2010).

Figura 5 – Arquitetura IPTV



Fonte: (MARIE; KLYM; MIRLACHER, 2010).

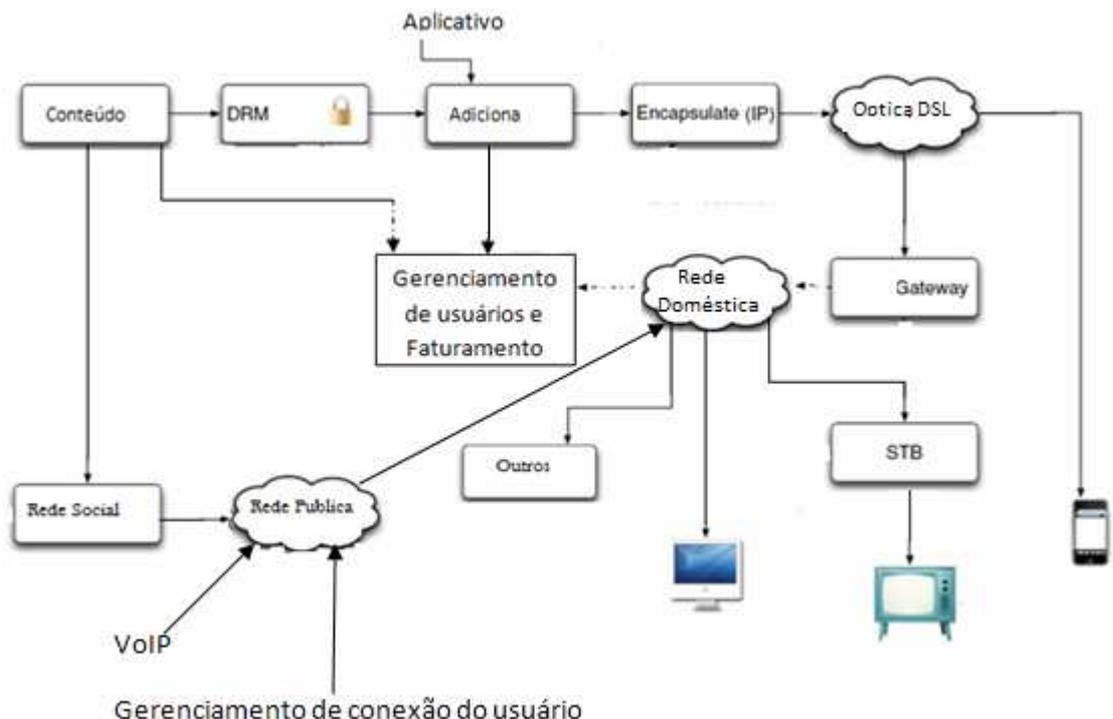
A Figura 5 mostra, de maneira sucinta, a arquitetura IPTV. O primeiro processo é chamado de conteúdo, ele é responsável pela geração de conteúdo e pela codificação. Já o segundo processo, DRM faz a criptografia e gerenciamento dos direitos digitais, esse bloco foi detalhado na seção 2.3.9. O terceiro processo adiciona os anúncios e aplicativos Web. No encapsulamento IP é feito o encapsulamento e a modulação para a transmissão sobre telefonia fixa feita pela rede IP privada. O campo de gerenciamento de usuários e faturamento faz a gerência a partir de três blocos (DRM, Gateway e encapsulamento IP). Por fim, é

feito o encaminhamento fim para um dispositivo específico de *Middleware*, detalhado na seção 2.3.8.

Observa-se também que a arquitetura ilustrada na Figura 5, atual no ano de 2010, realizava a transmissão de forma única, ou seja, para um único dispositivo, no caso uma TV, ligada ao *Set-Top-Box* (STB), porém em (MARIE; KLYM; MIRLACHER, 2010), era já prevista uma evolução para essa arquitetura que é apresentada na Figura 6. A arquitetura utilizada neste trabalho se identifica com a ilustrada pela Figura 6, pois entre suas diferenças contempla-se seguir, a saber, maior agilidade na interação com o gerenciamento de usuários e principalmente a abrangência dos mais diferenciados dispositivos dos usuários/clientes.

A Figura 6 mostra como um sistema de IPTV poderia ser implementado num futuro próximo segundo (MARIE; KLYM; MIRLACHER, 2010). O sistema inclui um *middleware* localizado dentro do bloco de gerenciamento, independente de dispositivo para a migração de conteúdo fácil, com ênfase em um número crescente de dispositivos conectados em uma rede doméstica.

Figura 6 - Arquitetura futura IPTV



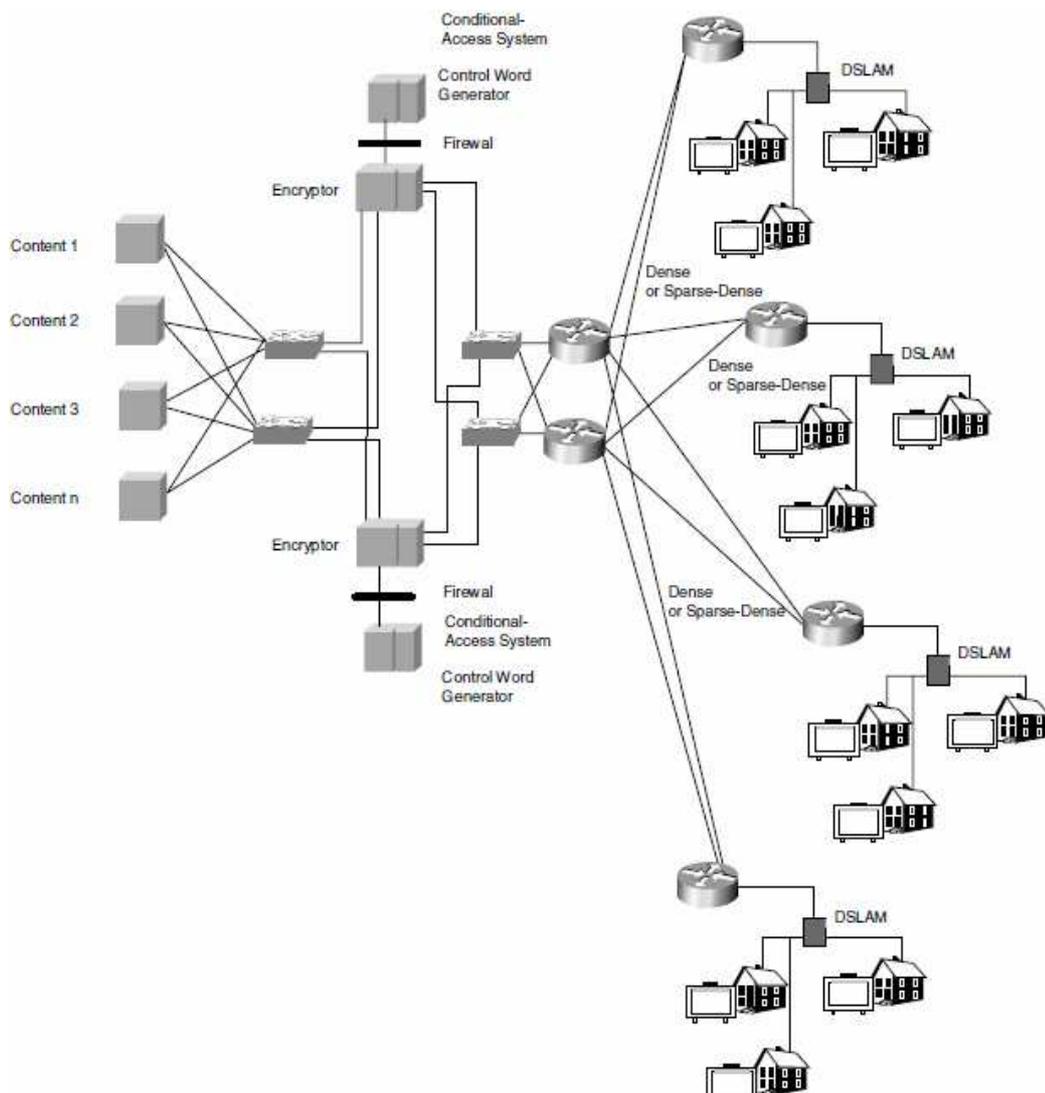
Fonte: (MARIE; KLYM; MIRLACHER, 2010).

Na Figura 6, o processo de conteúdo é responsável pela geração de conteúdo e pela codificação. Já o processo DRM, faz a criptografia, o adiciona, acrescenta os

anúncios e aplicativos Web. No encapsulamento IP é feito o encapsulamento e a modulação para a transmissão sobre a DSL de fibra óptica, e encaminha o pacote para rede doméstica através do *gateway*. O campo gerenciamento de usuários faz a gerência a partir de três blocos (Conteúdo, Rede doméstica e Adiciona). Assim o *gateway* encaminha para um dispositivo específico do usuário através da rede doméstica descrita na seção 2.3.4. O campo conteúdo pode encaminhar dados para o atributo rede social passando pela *Internet* pública, onde está o gerenciamento de conexão e o VoIP, e por fim entrega o arquivo via rede doméstica ao dispositivo do cliente.

Além das arquiteturas já mencionadas nesse trabalho, outras duas são apresentadas em (MINOLI, 2008). A primeira é apresentada pela Figura 7.

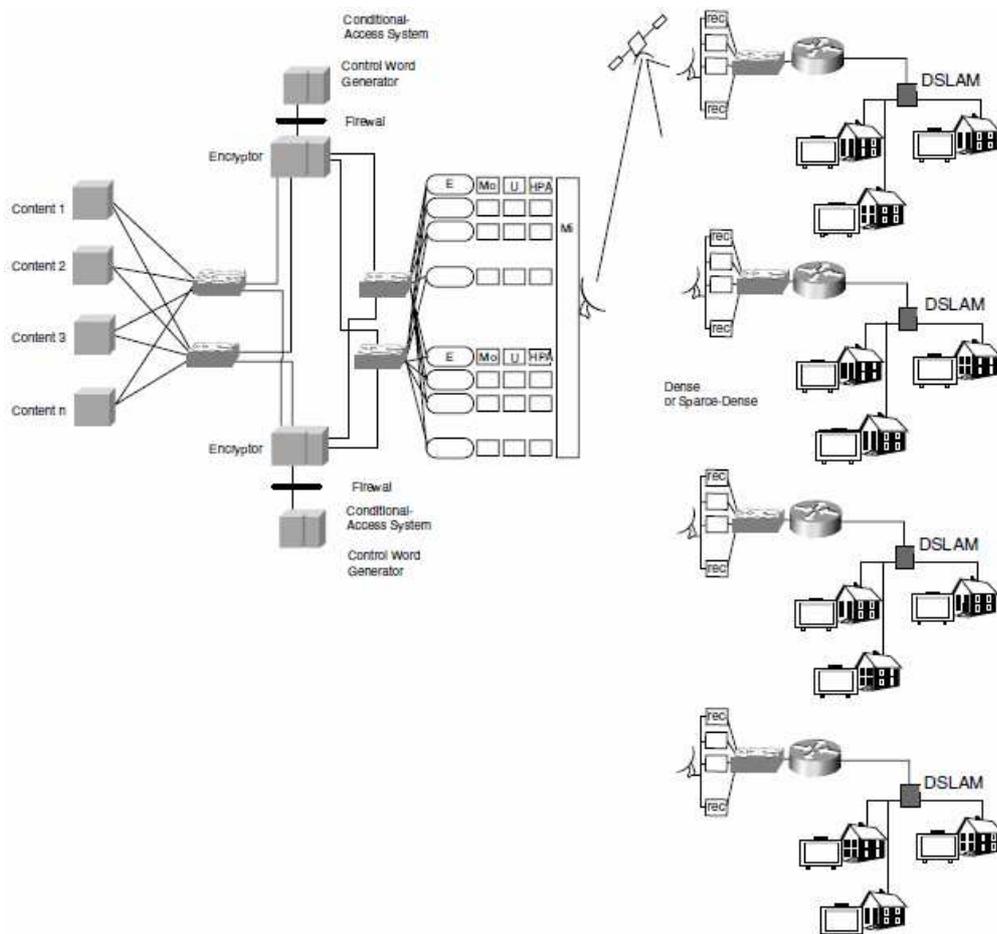
Figura 7 – Arquitetura IPTV terrestre



Fonte: (MINOLI, 2008).

A Figura 7 mostra um agregador de conteúdos preparando o conteúdo em uma única fonte para a distribuição terrestre em várias redes de telecomunicações remotas. Esta arquitetura mostra as redes de telecomunicações adquirindo o serviço de um agregador/distribuidor, ao invés de executar essa função bastante complexa por conta própria, que pode ser bastante cara para se arquitetar, desenvolver, configurar e manter. A segunda arquitetura, IPTV baseada em satélite, é ilustrada na Figura 8. É basicamente semelhante à Figura 7, mas a distribuição para as redes de telecomunicações remotas é feita através de uma tecnologia de transmissão via satélite.

Figura 8 – Arquitetura IPTV baseada por satélite



Fonte: (MINOLI, 2008)

Pode-se observar que a comunicação, ao invés de ser feita com roteadores e cabos como no modelo anterior, neste modelo é feita por sinal. A entrega via satélite é típica de algumas operadoras de TV a cabo, como por exemplo a SKY.

A seguir, serão apresentadas algumas aplicações do *Internet Protocol Television*. Essa próxima seção tem como objetivo, apresentar ao leitor uma breve discussão sobre os diferentes tipos de utilização existentes para as arquiteturas abordadas.

2.5 Aplicações do IPTV

O acesso ao conteúdo de vídeo *on-demand* e as tecnologias baseadas em IP, também permitem que os operadores de telecomunicações possam oferecer aos consumidores finais uma série de aplicações de TV interativas. Através de serviços de IPTV, os espectadores têm a possibilidade de controlar, na sua visualização, o bate-papo com amigos, navegar na *Internet* e ler as últimas atualizações dos esportes enquanto assistem à TV. Esta capacidade de entregar mais de uma via de serviços de televisão interativa, descrita na seção 2.3, aos consumidores é um diferencial para os operadores de IPTV (YARALI, 2005). Dentro deste contexto pode-se dizer que o uso do IPTV na TV digital é capaz de fornecer os seguintes itens:

- VoD IP;
- Navegação;
- E-mail;
- DVR (gravação de vídeo);
- Mensagens instantâneas;
- IPTV*commerce*;
- Gerenciamento remoto;
- Exibição de chamadas telefônicas na tela;
- Localização de conteúdo de vídeo;
- Jogos *on demand*;
- Controle pelos pais.

A partir do conhecimento adquirido com o estudo do IPTV, a seção 2.6 irá abordar as metaheurísticas que serão utilizadas neste trabalho. Em suma serão duas: Busca Tabu e Algoritmos Genéticos. A seção pretende apresentá-las de forma

clara para que o leitor possa entender suas dinâmicas, não havendo assim, a necessidade de explicá-las quando o modelo for apresentado.

2.6 Metaheurísticas

Metaheurísticas são estratégias que guiam o processo de busca por boas soluções em problemas de otimização combinatória. Elas conduzem e modificam uma heurística subordinada, utilizando de maneira efetiva e inteligente, diferentes conceitos de exploração do espaço de busca (GLOVER; KOCHENBERGER, 2003). Como seus algoritmos são de aproximação, elas não garantem encontrar a solução ótima dentro de um tempo limitado, mas procuram encontrar o ótimo local rapidamente (OSMAN; LAPORTE, 1996).

Outro ponto bastante relevante para este trabalho é que as metaheurísticas não são específicas para um problema, podendo assim serem aplicadas em diferentes áreas para os mais diversificados problemas, com intuito de se obter soluções mais otimizadas (GENDREAU; POTVIN, 2005). No contexto deste trabalho, sua classificação fica dividida em dois métodos, o primeiro baseado em trajetória, Busca Tabu (BT) descrita na seção 2.6.1, e o segundo método baseado em população, Algoritmos Genéticos (AG), descrito na seção 2.6.2 (OSMAN; LAPORTE, 1996).

2.6.1 Busca Tabu (BT)

Proposta por Glover em (1986) foi aprofundada pelos autores Glover e Laguna (1997) e obteve uma grande utilização em alguns tipos de problemas específicos, como o de roteamento de veículos (SIMAS; GÓMEZ, 2007). Busca-se neste trabalho que a mesma possa apresentar bons resultados em áreas onde sua utilização não é muito corriqueira, como a transmissão IPTV. A BT consiste em uma rotina iterativa para construir vizinhanças com ênfase na exploração do espaço de busca, evitando a busca ficar presa a ótimos locais.

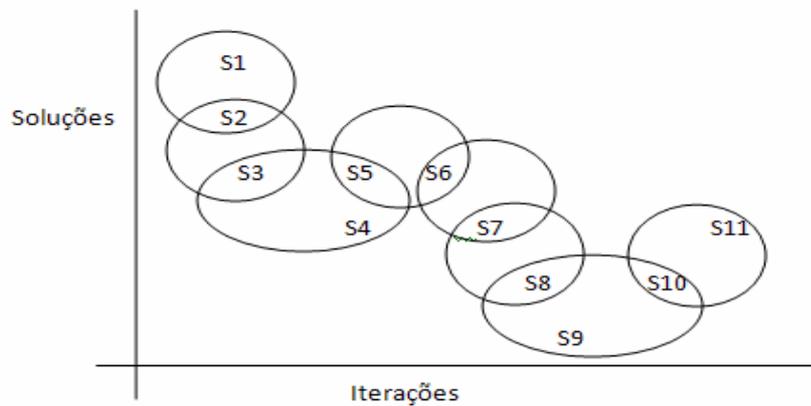
Segundo Osman e Laporte (1996), o emprego de estratégias para modificar a vizinhança de uma solução, durante o processo de busca, permite ultrapassar os limites de uma simples heurística de busca local, podendo assim melhorar o resultado da busca. Para Viana (1998), o pilar da BT é dividido em três partes: a)

estrutura de dados tipo fila (Lista Tabu) com o intuito de guardar os últimos movimentos reclusos (Movimentos Tabu), b) uso de mecanismos de controle para fazer um balanceamento entre a aceitação ou não de uma nova solução; e c) incorporação dos procedimentos que alteram as estratégias de diversificação e intensificação. Uma estratégia de intensificação tem o foco na busca de regiões historicamente consideradas boas, enquanto que o uso de estratégias de diversificação força a busca a examinar regiões pouco exploradas ou até mesmo desconhecidas (SIMAS, 2007).

A Busca Tabu tem como uma de suas características o uso de memórias adaptativas que guardam elementos importantes da BT. Essas memórias podem ser de curto prazo, guardando atributos que mudaram no passado recente, e de longo prazo (GLOVER; LAGUNA, 1997). Estruturas de memória de longo prazo geralmente são utilizadas para fornecer um tipo de informação que complementa as informações da memória de curto prazo. Segundo Glover e Laguna (1997) o conceito de frequência, como taxas, é expresso por duas medidas: medidas de transição (números de iterações em que um atributo muda de *status*) e medidas de residência (número de iterações em que um atributo mantém um *status*) (GLOVER, 1989).

Para as estruturas de memória de curto prazo é usada a Lista Tabu, que é definida por Glover e Laguna (1997) como uma estrutura que armazena movimentos definidos como proibidos, evitando que eles estejam presentes nas próximas T iterações, sendo T o tamanho definido para a Lista Tabu. O objetivo é proibir soluções recentemente utilizadas, e evitar ciclos em torno dos ótimos locais e forçar um avanço no espaço de busca (VIANA, 1998). Em geral, tamanhos pequenos das listas tabus permitem a exploração de soluções perto dos ótimos locais, enquanto uma lista de tamanho grande força a busca a se distanciar de ótimos locais (GLOVER, 1990). Na Figura 9 observa-se um processo de busca de minimização no qual a solução passa por mínimos locais em S4 e S9 (AARTS; LENSTRA, 1997).

Figura 9 – Busca local

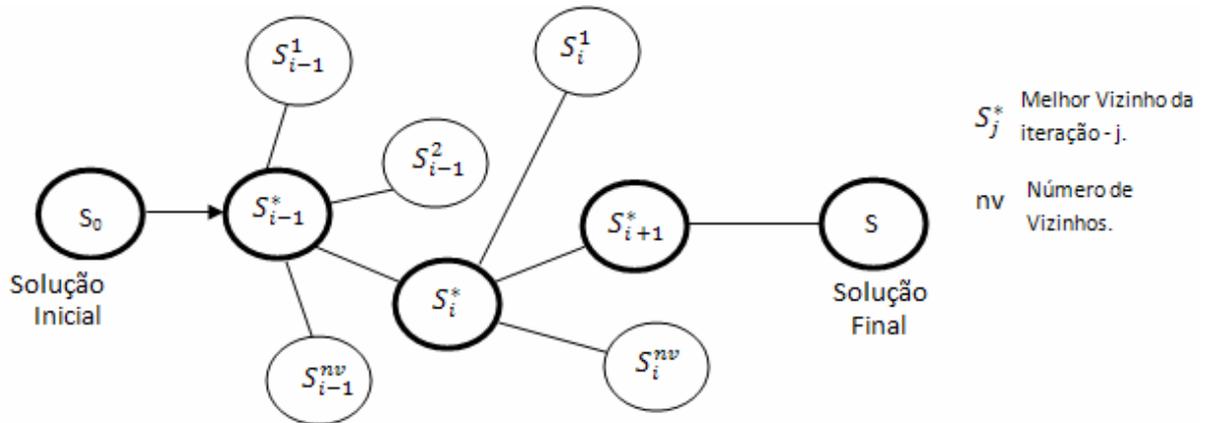


Fonte: (OSMAN e LAPORTE, 1996).

Para Glover (1990), o processo no qual o método da BT procura a melhor solução é, através de uma exploração agressiva que escolhe o melhor movimento a cada iteração, independente se este movimento melhora ou não a solução atual. Ele também a define como um método de busca por trajetória que se baseia na melhora da solução inicial, através da busca de novas soluções pela geração de vizinhanças (GLOVER, 1986).

As vizinhanças são geradas, através de uma solução inicial e a cada iteração se pode ter um ótimo local e a partir dele uma nova vizinhança é gerada. A Figura 10 ilustra a evolução do processo de geração do número de vizinhos gerados pela BT. A notação S_i^j , onde i representa a iteração e j a solução inicial correspondente. O j varia de 1 a N_v , onde $N_v \in \mathbb{Z}^+$ e representa a vizinhança gerada na iteração i , $1 \leq j \leq N_v$ (SIMAS, 2007). Supondo um problema de maximização, a melhor solução será aquela que apresentar o maior valor da função objetivo.

Figura 10 – Estrutura de vizinhança para BT



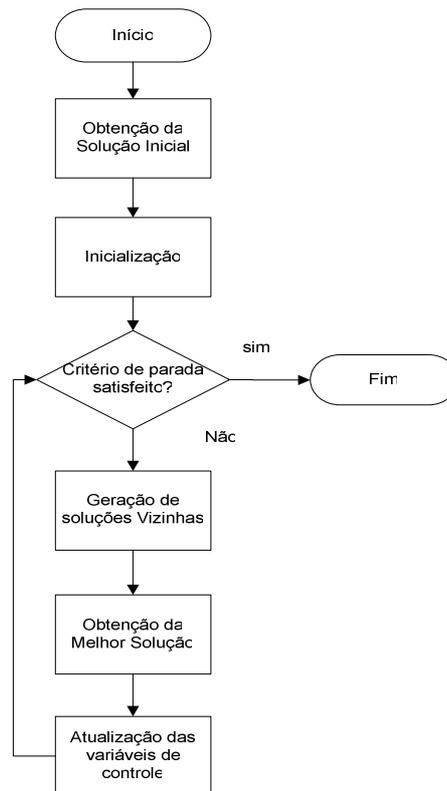
Fonte: (SIMAS, 2007).

No intuito de se realizarem melhores buscas, as estratégias de intensificação e diversificação são adotadas em conjunto. As estratégias de diversificação direcionam a busca para novas regiões. Quanto à estratégia de intensificação são baseadas na modificação das regras de escolha para incentivar combinações de movimentos e soluções historicamente consideradas boas, podendo ser exemplificada pela Figura 10 pela troca de uma aresta em uma solução considerada boa (SIMAS, 2007).

Uma solução definida como proibida poderá ser escolhida como boa, desde que o critério de aspiração a aceite. O critério de aspiração perdoa um movimento pertencente à Lista Tabu dado que em um mínimo de iterações definidas, não é obtido um valor melhor na FO que o correspondente deste movimento.

Segundo Glover (1990) o critério de aspiração mais clássico é quando dado um número definido de iterações, não se obtendo um valor melhor do que o movimento que está na Lista Tabu, o movimento é então perdoado. A Busca Tabu continuará em execução até que o critério de parada seja atingido. Normalmente define-se este critério como sendo um número máximo de iterações ($Nbmax$) sem melhora no valor da FO. Na Figura 11, são apresentados os processos da BT e apresentado o fluxograma da mesma.

Figura 11 – Fluxograma Busca Tabu



Fonte: (GALAFASSI, 2010)

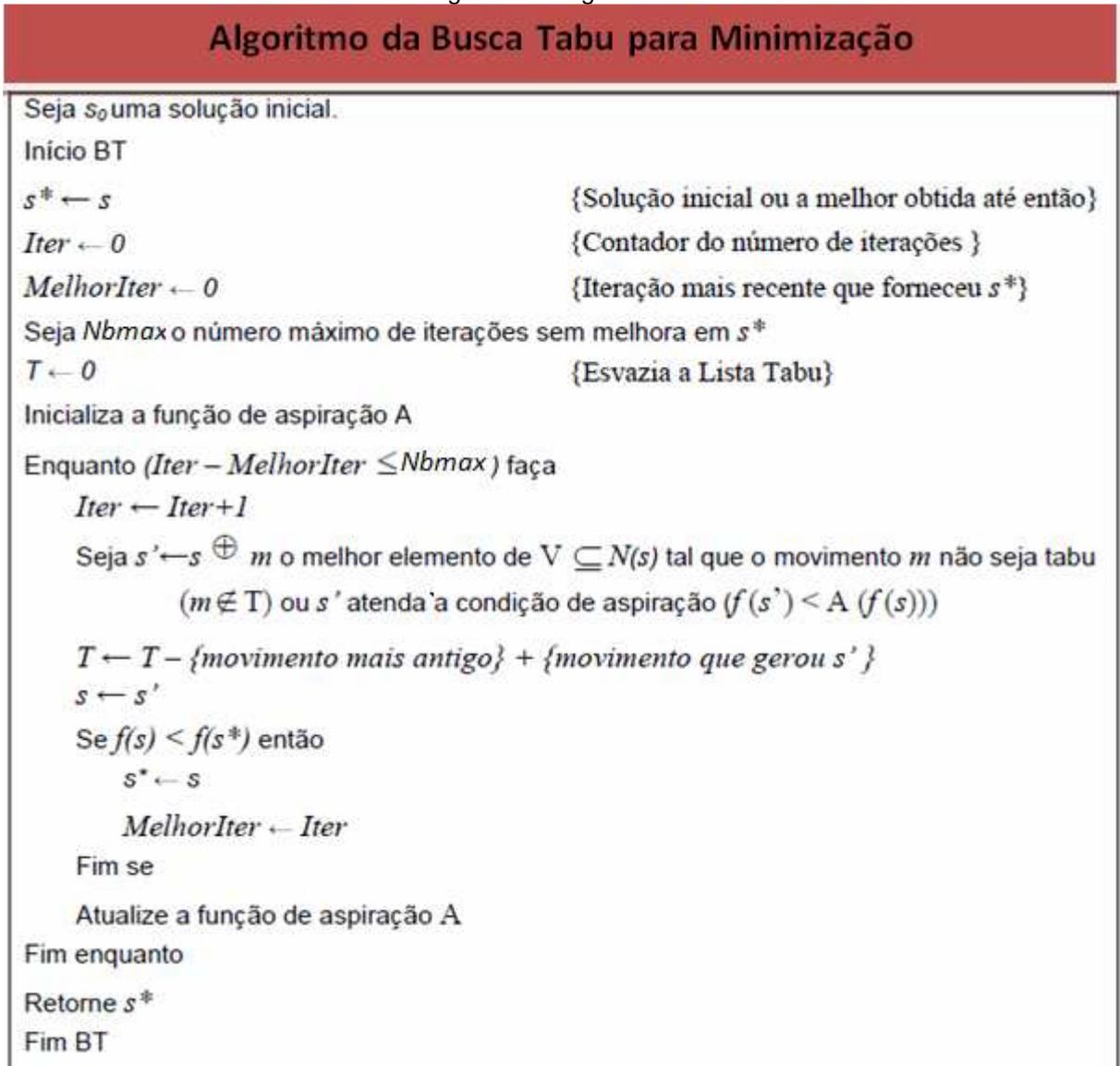
O processo de Busca Tabu Simples, ilustrado pelo Fluxograma Busca Tabu, inicia a partir da geração de uma solução inicial. O processo de inicialização trata da inicialização dos parâmetros e funções da Busca Tabu. Em seguida, é verificado o critério de parada. O critério de parada pode ser o número de iterações do algoritmo sem melhora no valor da função objetivo ou se a função objetivo atingir um valor determinado.

A geração de vizinhanças consiste na criação de novas soluções, através de movimentos, conforme apresentado na Figura 10. No processo de obtenção de uma melhor solução, deve se obter a melhor solução na vizinhança respeitando a Lista Tabu e o critério de aspiração para o movimento Tabu. Por fim, a atualização das variáveis de controle, que tem como objetivo definir qual a melhor solução encontrada.

Com intuito de se deixar a abordagem da BT mais clara, um algoritmo é apresentado pela Figura 12. A Figura apresenta os parâmetros principais do método e já descritos nesta seção, a saber, tamanho da Lista, vizinhança, função de

aspiração A e o número máximo de iteração sem melhora no valor da melhor solução ($NBmax$).

Figura 12 – Algoritmo BT



Fonte: (POLTOSI, 2007)

Além da inclusão de elementos na estratégia de busca para melhorar a eficiência do algoritmo, Gendreau e colaboradores descrevem em (GENDREAU, et al, 2003), que a BT simples pode resolver problemas difíceis. Porém a inclusão de outra metaheurística pode tornar o algoritmo mais robusto. Neste trabalho, a Busca Tabu será executada em conjunto com um Algoritmo Genético.

2.6.2 Algoritmos Genéticos (AG)

Algoritmos Genéticos constituem uma técnica de busca e otimização, altamente paralela, inspirada no princípio Darwiniano de seleção natural e reprodução genética (GOLDBERG, 1989). Para Holland (HOLLAND, 1992) os AG's baseiam-se nos processos observados na evolução natural das espécies. Como na biologia, esse algoritmo utiliza termos como cromossomos, genes, alelos, genótipo e fenótipo, mutação, entre outros, que definem o modelo computacional.

A partir de uma visão mais ampla, os AG's têm as características abaixo descritas (GLOVER, et al, 1994):

- Operam num conjunto de soluções, e não a partir de um ponto isolado;
- Podem operar num espaço de soluções codificadas, e não no espaço de busca diretamente;
- Necessitam somente de informação sobre o valor de uma F.O. para cada membro da população;
- Usam transições probabilísticas e não regras determinísticas.

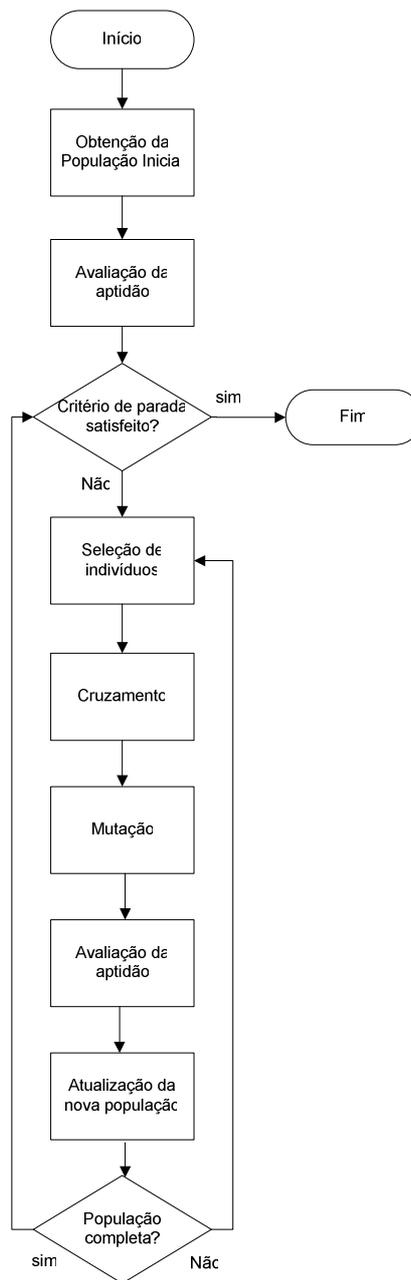
De forma geral, consiste na teoria biológica dos sistemas naturais, onde os melhores indivíduos sobrevivem e geram descendentes com suas características hereditárias, e a partir disso, melhores soluções podem ser encontradas para os mais diferenciados problemas (GLOVER, et al., 1994). Seu procedimento envolve a criação, com uma representação que combina dados, de uma população de indivíduos, representando as soluções viáveis, e descritas pela literatura como cromossomos (GLOVER; KOCHENBERGER, 2003). Assim, os indivíduos menos aptos são removidos e conseqüentemente novos membros são adicionados à população, atualizando-a.

Segundo Geiger (GEIGER, 2008), é importante que seja mantida a diversidade da população o maior tempo possível e que uma forma muito utilizada para isso é a política de não duplicidades. Política essa, que não permite que clones sejam inseridos na nova população (DRIDI, et al., 2010).

Normalmente, um AG começa com uma população aleatória de cromossomos representados por uma cadeia de *bits*, 0 e 1, (MICHALEWICZ, 1994). Sua recombinação é realizada fazendo uso dos operadores de cruzamento e mutação, e a busca é guiada pela avaliação da função objetivo (FO) de cada indivíduo da

população. A FO, também chamada de *fitness*, permite o cálculo da aptidão bruta de cada indivíduo que fornecerá o valor a ser usado para o cálculo de sua probabilidade de ser selecionado para reprodução (BREMERMANN, et al., 1964). A dinâmica do Algoritmo Genético está representada na Figura 12.

Figura 13 – Algoritmo Genético



Fonte: (GALAFASSI, 2010)

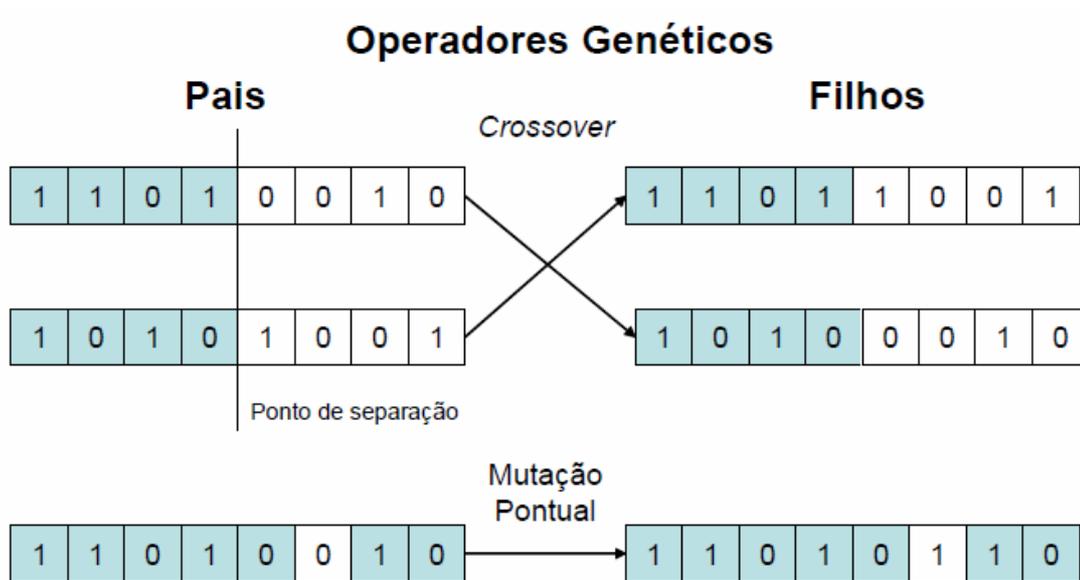
O Algoritmo Genético, apresentado na Figura 13, consiste na obtenção da população inicial e em seguida a avaliação da aptidão dos indivíduos. Em seguida, é realizada a seleção de indivíduos para o cruzamento, posteriormente esses indivíduos serão cruzados e mutados respectivamente, caso atendam ao critério

definido. No processo “avaliação da aptidão” o indivíduo gerado é avaliado e a nova população é atualizada. Logo após, analisa-se a nova população para garantir que ela esteja completa antes de voltar a ponderar o critério de parada (POLTOSI, 2007). A garantia que o algoritmo irá parar de executar é assegurada pelo critério de parada. Como critério de parada, normalmente é utilizado o critério de máximo de gerações, ou seja, limite no número de avaliações do *fitness* da população ou o número de iterações sem melhora (GOLDBERG, 1989). Outro critério de parada que pode ser utilizado é o de perda de diversidade, onde o critério de parada é baseado em soluções quase ótimas. Quando uma solução se mantém como a melhor durante dez gerações o algoritmo é encerrado, por exemplo.

Algoritmos Genéticos são algoritmos iterativos, e a cada iteração a população é modificada. Cada iteração de um AG é denominada geração, embora nem todos os indivíduos de uma população sejam necessariamente “filhos” de indivíduos da população na iteração anterior (GLOVER, et al., 1994) e (HOLLAND, 1992).

Segundo Poltosi (2007), os operadores genéticos são as regras que permitem a manipulação dos indivíduos da população (cromossomos). A operação de *crossover* ou cruzamento é um processo que envolve mais de um indivíduo permitindo a obtenção de filhos a partir da troca de fragmentos de cromossomos dos pais (GLOVER; KOCHENBERGER, 2003). A operação de mutação cria um novo indivíduo por alteração nos cromossomos de um pai ou filho. Ela seleciona uma posição num cromossomo e o valor do gene é alterado. A Figura 14 ilustra o funcionamento das operações de cruzamento e mutação. Na operação de cruzamento ilustrada na Figura 14 são divididos pela metade dois cromossomos pais, onde os filhos recebem cada um uma parte da divisão de cada pai. Já na mutação é escolhido um ponto e alterado o seu valor conforme apresentado pela Figura 14.

Figura 14 – Operadores Genéticos



Fonte: (POLTOSI, 2007)

A utilização do algoritmo genético varia bastante, pois são inúmeros os problemas que podem ser adaptados para sua utilização. Na próxima seção serão apresentados alguns trabalhos que de alguma forma estão relacionados com o problema abordado.

2.7 Trabalhos relacionados

Com base no ineditismo em se aplicar uma metaheurística híbrida na solução do problema abordado por esse trabalho, dois temas foram levados em conta para a seleção dos trabalhos relacionados. O primeiro refere-se à otimização da transmissão IPTV e o segundo ao escalonamento.

Trabalhos como o de Caja (2006) e o de Neto (2009) conseguiram representar, de alguma forma, uma melhora na transmissão IPTV, seja ela feita na otimização do algoritmo utilizado pelo protocolo de transmissão ou, através da substituição do mesmo por outro que obtenha um desempenho melhor.

Neto (2009), utilizou um simulador de rede para a realização dos testes de transmissão e tempo de resposta. Sendo possível, através de um ambiente de simulação desenvolvido com base nas características (topologia e ocupação) de

uma rede de distribuição real, o desempenho desses mecanismos pode ser avaliado em diferentes cenários.

Kukhmay, et al., (2006), descreveram que a partir de testes realizados em alguns protocolos obteve-se a informação que vários métodos de transmissão podem ser utilizados a fim de otimizar a distribuição IPTV, reduzindo a carga imposta na rede. Ainda, em todos os testes houve perdas de pacotes, porém em nenhum dos casos essa perda foi expressiva.

Uma pesquisa comparativa realizada por Shihab e Cai (2007), em tecnologias de distribuição IPTV destinadas às redes domésticas de banda larga, levantou os prós e os contras em termos de taxa de transmissão. Sendo assim, foi possível mencionar que uma das variáveis da formulação do modelo matemático deste trabalho, a taxa de transmissão impacta não só no custo do serviço oferecido, mas também na qualidade do mesmo.

Através da parceria entre as empresas Cisco e *Microsoft* foi possível melhorar a solução de IPTV. Os clientes não precisam mais se conectar baseados em um formato ou encontrar os servidores corretos para assegurar a melhor qualidade de entrega. O Cisco IPTV *Viewer* traz uma lista unificada de programas *Windows Media*, MPEG e IP *multicast*. Ao mesmo tempo, os visualizadores IPTV são direcionados ao servidor mais apropriado para otimizar a eficiência da rede. O servidor de controle IPTV 3411 da Cisco gerencia e simplifica instalações de vídeo em rede de serviços múltiplos, controlando o uso da largura de banda, a distribuição de conteúdo para servidores remotos, o planejamento de distribuição de informações baseada em IP e o monitoramento da atividade de servidores. Ele ainda seleciona o melhor servidor de vídeo em proximidade ao visualizador para maior controle da rede em instalações maiores (CISCO, 2011).

Estudos sobre as métricas de distância entre nós vêm sendo realizados para tentar melhorar a qualidade dos serviços oferecidos pelo IPTV. Esse fato retrata uma necessidade iminente na melhoria da transmissão IPTV para que ela se torne comercial. Trabalhos como (PADMANABHAN e SUBRAMANIAN, 2001), e (PADMANABHAN; et al., 2002) abordam técnicas para tentar estimar a localização de um nó baseado em seu endereço IP. A ideia é utilizar a localização entre nós da rede para seja possível realizar a escolha de um serviço que seja mais adequado para o usuário e assim consumindo menos largura de banda. Isto é especialmente

interessante para questões de otimização, pois possibilita a construção de árvores de distribuição *multicast* mais eficientes para redes.

Problemas de escalonamento como no processo de produção, são atividades que compõem o planejamento da produção, nele são levados em consideração uma série de elementos que disputam vários recursos por um período de tempo, no caso do artigo referenciado os recursos tratam-se das ferramentas. Eles possuem capacidade limitada, como a largura de banda do cliente para uma situação de transmissão IPTV (LEVI, 2007).

Com base nos conhecimentos adquiridos, o próximo capítulo pretende descrever o modelo do trabalho, evidenciando a função, não só do AG, mas também da BT dentro do problema.

3 MODELO

Este capítulo apresenta o modelo computacional proposto neste trabalho, através de sua arquitetura e formulação matemática. Ele descreve o modelo sugerido e apresenta sua formulação, explicando como ambos pretendem atuar sobre o problema abordado.

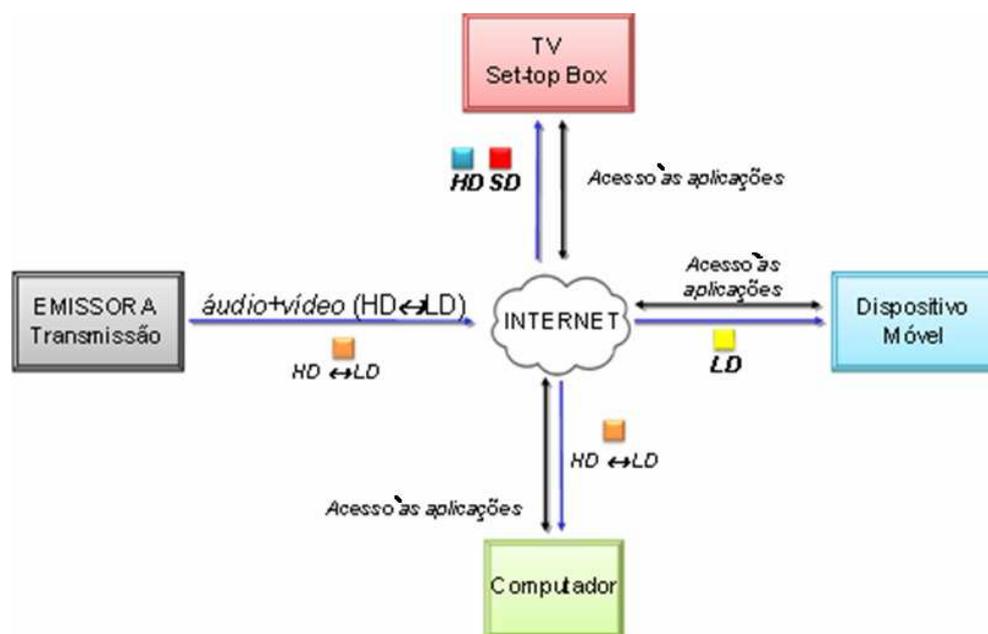
3.1 Arquitetura do Modelo

Um modelo de transmissão de IPTVD é utilizado, não só por grandes empresas como a Cisco, que utiliza suas próprias variações de modelo com intuito de melhorar o enquadramento dentro do seu objetivo, mas também por projetos como o DIGICONV.

Dentro do modelo, uma emissora deve codificar um sinal de YUV - 4.2.0 para H.264 em diferentes modos, *High Definition* (HD), *Standard Definition* (SD), *Low Definition* (LD), detalhados a seguir nesta seção, com objetivo de disponibilizar conteúdo multimídia interativo para um conjunto abrangente de dispositivos, tal como os domésticos (*Set-Top-Box*), com alto poder de processamento e apresentação, e dispositivos móveis com recursos limitados, como celulares, por exemplo, (GÓMEZ; et al., 2010).

Diferente dos padrões definidos para a transmissão TVD, o IPTV permite uma maior flexibilidade na qualidade de codificação dos sinais a serem distribuídos. O objetivo é permitir a disseminação de conteúdo de forma abrangente, garantindo a adaptação da qualidade às características físicas do dispositivo receptor. Na Figura 15 é apresentada a arquitetura do modelo de transmissão IPTV.

Figura 15 – Transmissão IPTV na arquitetura DIGICONV



Fonte: (GÓMEZ, et al., 2010)

No modelo que serviu de referência para transmissão IPTV para o projeto DIGICONV, mostrado na Figura 15, a transmissão de áudio e vídeo é realizada a partir de uma emissora nos formatos que variam entre HD, SD e LD para vídeo. Essa transmissão é feita através da *Internet*, dado o meio físico escolhido. O formato é definido conforme o tipo de equipamento, por exemplo, para dispositivos móveis o vídeo deve ser entregue no padrão LD.

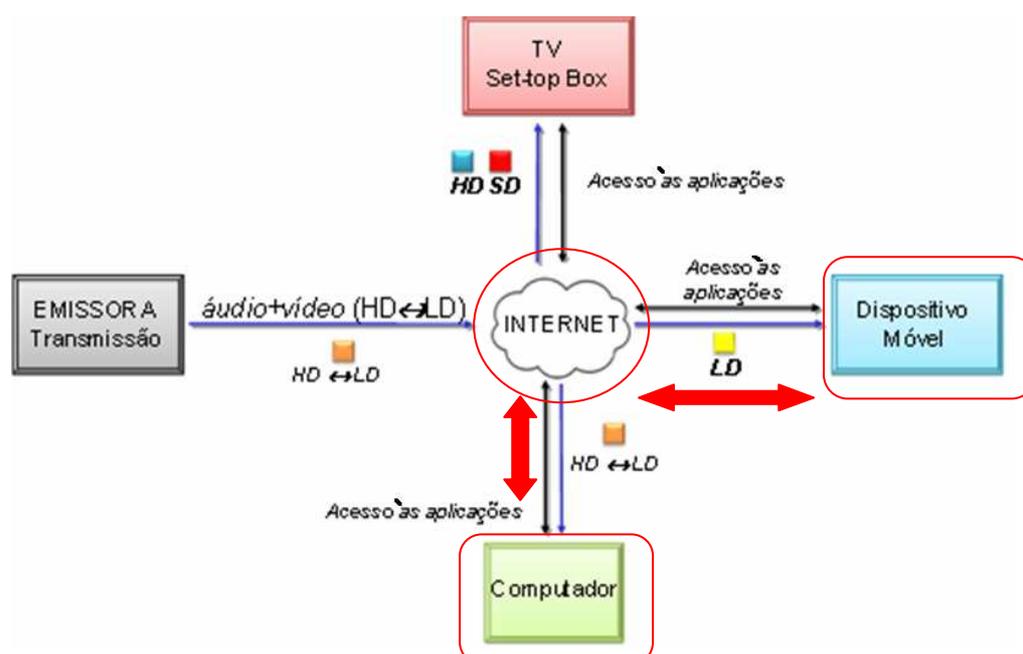
Os modelos atuais de IPTV implementados são, em sua maioria, em arquiteturas fechadas com alta definição de imagem e som, além da exploração de mecanismos de garantia de serviço (MARIE; KLYM; MIRLACHER, 2010). Em alguns outros casos, a qualidade de áudio e vídeo a serem transmitidos pode ser reduzida, atendendo tão somente à transmissão de conteúdo multimídia e à largura de banda do usuário.

A Figura 15 leva em conta o mercado atual, já considerando os dispositivos móveis. Assim, para os receptores domésticos *Set-Top-Box + IPTV*, as qualidades disponibilizadas são as mesmas de *TVD Set-Top-Box + broadcast*. Em ambos os casos as qualidades de vídeo disponibilizadas são a HD e a SD. Já para a recepção em PC's e dispositivos móveis, em uma transmissão baseada no protocolo IP, computador + IPTV ou celular + IPTV, pode-se entregar uma variedade de qualidades de vídeo, que vão desde a HD até a LD. Tal abordagem permite abranger uma gama de características para a melhor configuração em uma

transmissão IPTV. Neste trabalho serão levadas em consideração as variáveis mais impactantes para essa transmissão (GÓMEZ, et al., 2010).

Na Figura 16, é apresentada a arquitetura IPTV proposta no contexto da arquitetura DIGICONV (Figura 15). Observa-se que as informações de transmissão recebidas da emissora, antes do seu envio aos respectivos equipamentos, serão trabalhadas pelo modelo, que por sua vez será descrito posteriormente.

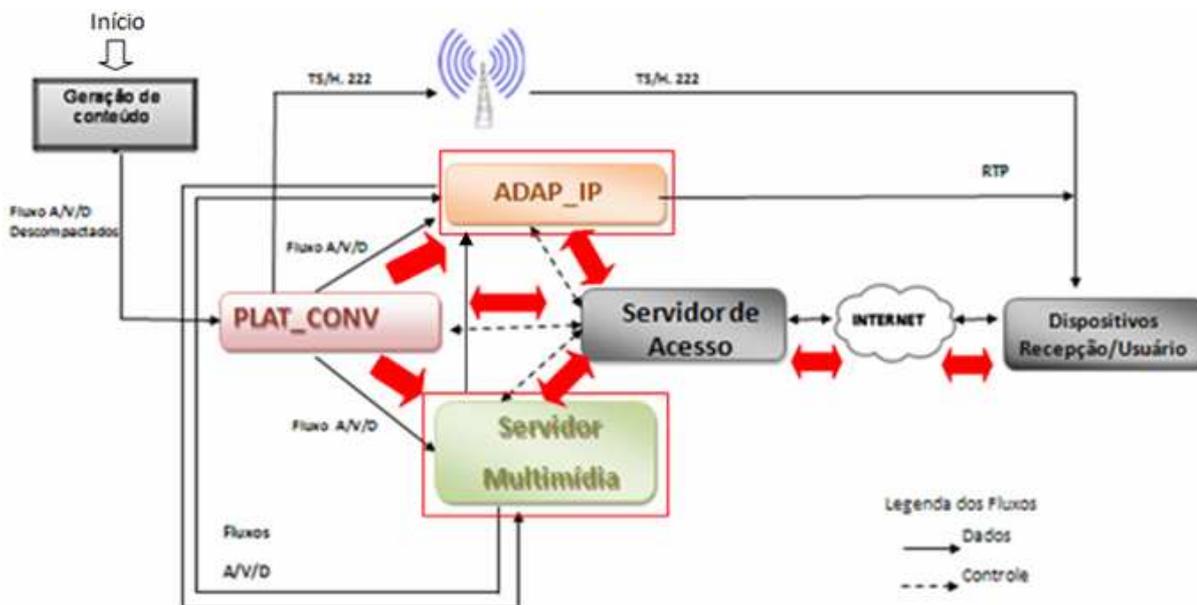
Figura 16 – Arquitetura IPTV proposta



Na Figura 17 observa-se que os arquivos de vídeo, dados e áudios entram na arquitetura, pelo processo de geração de conteúdo. A plataforma de convergência (PLAT_CONV) manda os arquivos de áudio, vídeo e dados para o servidor de acesso, que classifica o tipo de transmissão quanto à transmissão em tempo real e a transmissão sob demanda, solicitada pelo usuário. Após essa definição, os arquivos, caso seja uma transmissão em tempo real, são codificados pela PLAT_CONV, responsável pela codificação de sinais audiovisuais a serem empregados em distintos mecanismos de transmissão. Em seguida são enviados pela PLAT_CONV ao Adaptador de Interface de rede (ADAP_IP) e transmitidas para o usuário via protocolo RTP. Caso a transmissão não seja em tempo real, a PLAT_CONV envia as informações para o servidor multimídia, onde estão armazenados os arquivos de áudio, vídeo e dados, que podem ser solicitados pelo usuário a partir da sua autenticação no servidor de acesso, feita através da Internet e pelo dispositivo do usuário/cliente. Após a definição do arquivo escolhido no servidor multimídia, o

mesmo é enviado para o ADAP_IP e transmitido até o usuário/cliente através do RTP.

Figura 17 - Arquitetura da Plataforma de Convergência



Fonte: (GÓMEZ, et al., 2010)

A próxima seção irá abordar o modelo computacional empregado neste trabalho, detalhando-o de forma objetiva.

3.2 Modelo Computacional

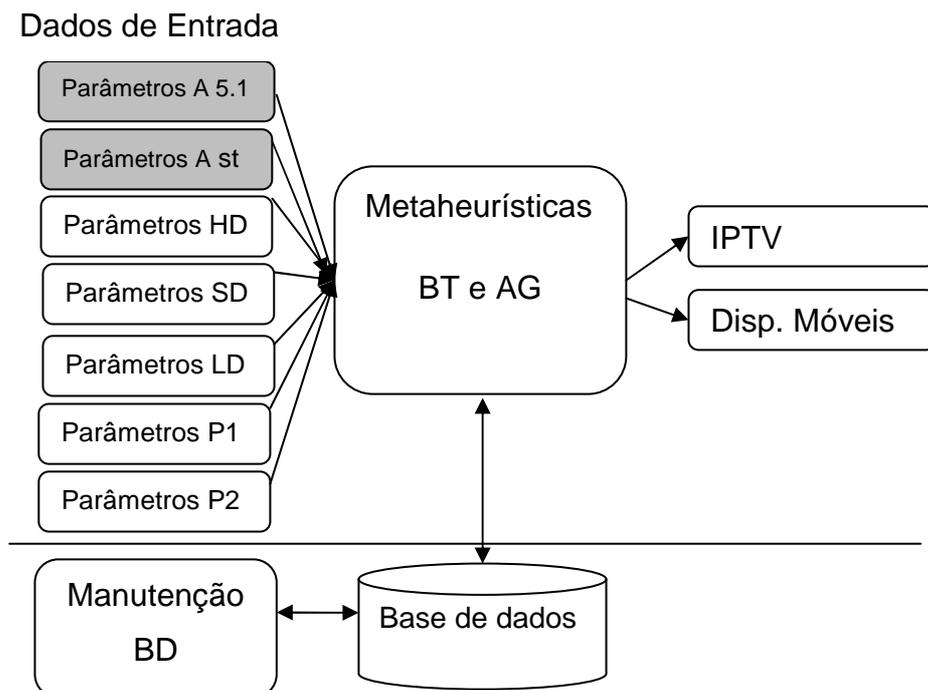
O modelo empregado tem sua complexidade computacional definida através do Problema de Escalonamento de pacotes que serão transmitidos para o usuário e do Problema de Seleção de Partes através do agrupamento das variáveis. O problema do escalonamento tem sido pesquisado desde 1950 e possui aplicação nas mais diversificadas áreas, tais como: hospitais, logística, tecnologia da informação, etc. (PORTILHO, 2007). O escalonamento consiste em alocar recursos de forma a ordená-los em tarefas a serem executadas. Estes recursos são limitados de várias maneiras. A complexidade para este problema é *NP-Hard* (GAREY; JOHNSON, 1979). A Seleção de Partes é resolvida, através do agrupamento das partes, baseado nas similaridades, tais como: forma geométrica, processo, similaridade por um mesmo conjunto de ferramentas entre outros, sendo um problema NP-completo (KUSIAK, A.; DORF, A.; RICHARD, 1994). Podendo ser utilizada em transmissões para um conjunto de clientes IPTV.

3.2.1 Parâmetros de Entrada.

Inicialmente são sete parâmetros de entrada definidos, sendo eles representados na Figura 18 por dois blocos cinza, que representam o formato *Audio Advanced Coding* (AAC), e cinco brancos que representam o formato H264. O modelo é composto dos parâmetros de entradas HD, SD, LD. Para tanto, considera-se HD (*High Definition*) o serviço de TV que oferece imagem de 1080 linhas na razão de aspecto 16:9 (*widescreen*), superior ao padrão tradicional de SD (*Standard Definition*) de 525 linhas. O formato LD (*Low Definition*) é muito utilizado na transmissão de vídeo para dispositivos móveis (YARALI, 2005).

No modelo também constam os parâmetros de áudio (áudio estéreo e áudio 5.1) e os parâmetros de customização de vídeo (P1 e P2) que terão valores intermediários aos de parâmetros como, segue: $LD \leq P1 \leq SD$ e $SD \leq P2 \leq HD$. Através da definição das variáveis de decisão, o algoritmo híbrido, observando as restrições impostas ao modelo, busca boas soluções para que a melhor configuração para transmissão seja encontrada. Na Figura 18, é apresentada uma visão macro de cada bloco do modelo proposto, tendo seu algoritmo detalhado na seção 3.2.2 e as restrições do modelo contempladas na 3.3.

Figura 18 – Estrutura do modelo.



As escolhas dos parâmetros, tanto de áudio quanto de vídeo, foram feitas conforme estabelecido nas normas de referência (CPqD, 2006). A partir de uma transmissão *Triple-Play* (Áudio, Vídeo e Dados), dois formatos de áudio são considerados, *Áudio Stereo* e *Áudio 5.1*. Da mesma forma três parâmetros de vídeo (HD, SD e LD) são definidos. Além disso, a escolha dos parâmetros de customização se justifica através da transmissão de intervalos entre os formatos de vídeo. Na seção 3.2.2 serão abordados conceitos que compõem o algoritmo híbrido aqui chamado de Modelo Computacional *Internet Protocol Television* (MCIPTV).

3.2.2 Formulação do Modelo Matemático

Nesta seção é apresentada a formulação do modelo matemático, representado pela definição das variáveis de decisão que irão compor a FO e suas restrições. A Função Objetivo segue ao critério de otimalidade de maximização e tem suas variáveis de decisão baseadas em características da transmissão IPTV. Deste modo, os requisitos identificados para a construção de uma dada rede, num determinado local, com serviços definidos, são otimizados com a escolha dos perfis e parâmetros (variáveis de decisão) mais adequados à situação particular. Essas variáveis podem ser, por exemplo, a taxa de transmissão e largura de banda (CPqD, 2006).

Neste trabalho as variáveis de decisão abordadas são: a taxa de transmissão (T_t), qualidade de vídeo (Q_v), qualidade de áudio (Q_a), número de clientes finais (N_c) e largura de banda disponível do cliente (L_b). Algumas têm seus valores associados a um intervalo entre o valor mínimo e o valor máximo a serem seguidos para obtenção de uma transmissão, os quais são estabelecidos pela norma (ITU-T, 2007). Para a taxa de transmissão (T_t) são definidos, para cada fluxo, os valores máximos e mínimos. Estes valores são mostrados na Tabela 2.

Tabela 2 – Parâmetros T_t

Formato/Range	MÍNIMO Mbs	MÁXIMO Mbs
HD	6	100
SD	2	100
LD	0,5	100
P1	2	6
P2	0,5	2

Em relação à variável de decisão qualidade de vídeo (Q_v) os parâmetros foram atribuídos conforme a Tabela 3, assim como os seus intervalos de variação. Essa variável (Q_v), representa a qualidade de serviços prestado (QoS), abordado na literatura, não levando em conta sua composição na formulação do modelo matemático. A Qualidade de Serviço é composta pela soma da latência, que representa a expressão do tempo necessário para um pacote de dados ir de um ponto para outro (atraso), pela perda de pacotes, e pelo *Jitter*, que é um desvio ou deslocamento de algum aspecto dos pulsos de um sinal digital (PINHEIRO, 2008). Contudo, o domínio a que está inserida a variável leva em consideração um único valor, resultante desta combinação de fatores.

Os parâmetros de máximo e mínimo para a variável qualidade de áudio (Q_A) foram estabelecidos dentro do intervalo de 0,096 até 1 Mb, conforme as recomendações da *International Telecommunication Union* (ITU-T, 2007), que define o fluxo de áudio entre o intervalo de 0,096 Mbs e 0,256 Mbs para transmissão estéreo e, entre o intervalo de 0,384 e 1Mbs para áudio multicanal 5.1 (CPqD, 2006). Sabendo que a transmissão de áudio é feita a partir destes dois modos, nesse trabalho foram adotados os menores e os maiores valores de cada um dos dois tipos de transmissão de áudio, apresentada a seguir nessa mesma seção (CPqD, 2006).

Tabela 3 – Parâmetros Q_v

Formato/Range	MÍNIMO (Mbs)	MÁXIMO (Mbs)
HD	2	100
SD	0,1	100
LD	0,01	100
P1	0,1	2
P2	0,01	0,1

Fonte: (CRUZ; NUNES, 2009).

O parâmetro qualidade de vídeo (Q_v) é uma das grandes dificuldades técnicas que podem impedir a transmissão de vídeo sobre IP com qualidade satisfatória. A rede IP não oferece qualquer garantia na qualidade de serviço (QoS). A QoS, entretanto, é essencial para a qualidade da transmissão de vídeo. Para obter uma boa qualidade, a rede tem de obedecer a determinados requisitos de largura de banda, atraso e *jitter*, e assim por diante. No entanto, IPTV também tem suas próprias limitações. Uma vez que a qualidade do vídeo é muito sensível à perda de pacotes e atraso, garantir a QoS para esse tipo de rede pode ser visto como um

desafio por alguns autores, porém nesse trabalho essa variável será composta por valores que constam na literatura como aceitáveis (DONGYU, 2010).

Como na *Internet* não há controle centralizado da transmissão de dados, o gerenciamento de QoS torna-se extremamente difícil. O tráfego de vídeo pode viajar através de alguns segmentos da *Internet*, onde o prestador de serviços pode não ter controle algum. Em tal cenário, é muito difícil garantir a qualidade de serviço. Felizmente, em sistemas de IPTV, a gestão de QoS pode ser mais simplificada. No IPTV o prestador de serviços pode não só controlar o sistema de IPTV, mas também controlar o acesso dos usuários à *Internet* (DONGYU, 2010).

Na *Internet* atual, os pontos de congestionamentos para a maioria das ligações são normalmente no link de acesso do usuário à *Internet*, que é, às vezes, chamado de “última milha”. No núcleo da *Internet*, as fibras ópticas têm sido designadas para prestar dezenas Gbps de largura de banda e, portanto, não são susceptíveis de ser o gargalo na transmissão. Em um sistema de IPTV, uma vez que o prestador de serviços também tem o controle dos *links* de acesso à *Internet*, pode ter mais controle na rede para garantir a QoS dos Serviços de IPTV e garantir assim um nível de QoS mínimo.

Além da aplicação IPTV, pode haver muitos outros aplicativos de *Internet* em execução na rede doméstica. Por exemplo, as pessoas podem assistir televisão e navegar na WEB ao mesmo tempo. O tráfego de outras aplicações, em seguida, irá competir com a IPTV pela largura de banda de acesso. Se a taxa de transmissão total exceder a largura de banda disponível, os pacotes serão descartados, e isso acarretará na perda da qualidade do vídeo de IPTV. Com isso, testes aplicando metaheurísticas podem ser realizados para a obtenção de uma melhor qualidade de serviço para um determinado cenário (DONGYU, 2010).

Dentro deste contexto, no modelo matemático proposto para o sistema IPTV, para garantir uma melhor qualidade dos serviços IPTV, não pode ter o seu tráfego IPTV excedido da capacidade do link. Por exemplo, o cliente final tem disponível 5Mb, a capacidade portanto disponível para ele será de até 5Mb. Portanto, o modelo adotado nesse trabalho segue a restrição na qual a capacidade é menor ou igual ao tráfego IPTV.

O valor de Q_v varia até um valor máximo estabelecido na Tabela 3. Neste trabalho também se levará em conta os tipos de bandas abordados pela Tabela 4, mostrada a seguir. Pontos importantes foram levados em consideração na escolha

do tipo de transmissão que é adotada pelo modelo. Segundo Nakahati (2006), o WiMAX poderia se tornar a principal tecnologia a concorrer com as outras quando o assunto é velocidade de transmissão. Esta tecnologia pode chegar a uma taxa de transmissão de até 15 Mbps real. Os valores que constam na Tabela 4 são baseados nos valores descritos por O'DRISCOLL (2008) e também pela norma ITU-T, (2011).

Tabela 4 – Tipos de bandas adotados (Lb)

Banda/Range	MÍNIMO	MÁXIMO
ADSL2+	0,128Mbps	25Mbps
ADSL2	0,064Mbps	12Mbps
VDSL2	0,128Mbps	52Mbps
WiMax 802.16	0,128Mbps	15Mbps
CDMA	0,01Mbps	2Mbps

Fonte: ITU-T (2011)

Quanto ao número de clientes, os testes foram fixados em alguns números considerados relevantes para a pesquisa, sabendo-se que, quanto menor o número de usuários, melhor será o desempenho do serviço. Por fim, a largura de banda do cliente é uma variável que teve seu valor alterado conforme alguns modelos padrões de equipamentos. O cliente não poderá nunca receber uma banda maior do que seu equipamento permite, conforme exemplificado anteriormente.

O modelo proposto pode ser formalmente descrito com base nas equações desenvolvidas a seguir. Elas levam em conta as tabelas descritas nessa seção, que são baseadas em recomendações (ITU-T, 2007), para que a melhor configuração seja obtida. Segue a formulação matemática proposta:

$$\text{MAX FO} = Tt + Qv + Q_A + Nc + Lb; \quad (1)$$

onde:

$$Tt = \lambda_{hd} Tt_{HD} + \lambda_{sd} Tt_{SD} + \lambda_{ld} Tt_{LD} + \lambda_{p1} Tt_{P1} + \lambda_{p2} Tt_{P2}; \quad (2)$$

$$Qv = \beta_{hd} Q_{HD} + \beta_{sd} Q_{SD} + \beta_{ld} Q_{LD} + \beta_{p1} Q_{VP1} + \beta_{p2} Q_{VP2}; \quad (3)$$

$$Lb = \mu_{hd} Lb_{ADSL2+} + \mu_{sd} Lb_{ADSL2+} + \mu_{ld} Lb_{VDSL2} + \mu_{p1} Lb_{WINMAX} + \mu_{p2} Lb_{CDMA}; \quad (4)$$

$$Nc = \alpha_{hd} Nc_{HD} + \alpha_{sd} Nc_{SD} + \alpha_{ld} Nc_{LD} + \alpha_{p1} Nc_{P1} + \alpha_{p2} Nc_{P2}; \quad (5)$$

$$Q_A = \omega_{5.1} Q_{5.1} + \omega_{st} Q_{st}; \quad (6)$$

sujeito a:

$$6 \leq T_{tHD} \leq 100; \quad (7)$$

$$2 \leq T_{tSD} \leq 100; \quad (8)$$

$$0,5 \leq T_{tLD} \leq 100; \quad (9)$$

$$2 \leq Q_{HD} \leq 100; \quad (10)$$

$$0,1 \leq Q_{SD} \leq 100; \quad (11)$$

$$0,01 \leq Q_{LD} \leq 100; \quad (12)$$

$$0,128 \leq Lb_{ADSL2+} \leq 25; \quad (13)$$

$$0,064 \leq Lb_{ADSL2} \leq 12; \quad (14)$$

$$0,128 \leq Lb_{VDSL} \leq 52; \quad (15)$$

$$0,128 \leq Lb_{WINMAX} \leq 15; \quad (16)$$

$$0,01 \leq Lb_{CDMA} \leq 2; \quad (17)$$

$$0,096 \leq Q_{Ast} \leq 0,256; \quad (18)$$

$$0,384 \leq Q_{A5.1} \leq 1; \quad (19)$$

$$C \leq TIPTV; \quad (20)$$

$$\lambda_{sd}, \lambda_{hd}, \lambda_{ld}, \lambda_{p1}, \lambda_{p2}, \beta_{sd}, \beta_{hd}, \beta_{ld}, \beta_{p1}, \beta_{p2}, \mu_{sd}, \mu_{hd}, \mu_{ld}, \mu_{p1}, \mu_{p2}, \alpha_{sd}, \alpha_{hd}, \alpha_{ld}, \alpha_{p1},$$

$$\alpha_{p2}, \omega_{5.1}, \omega_{st} \in Z^+; \quad (21)$$

$$T_t, Q_v, Q_A, N_c, L_b > 0; \quad (22)$$

$$0,1 \leq Q_{vP1} \leq 2; \quad (23)$$

$$0,01 \leq Q_{vP1} \leq 0,1; \quad (24)$$

$$2 \leq T_{tP1} \leq 6; \quad (25)$$

$$0,5 \leq T_{tP2} \leq 2. \quad (26)$$

A função objetivo desta formulação, a equação (1), depende das variáveis de decisão consideradas no modelo. A equação (2) é dada pelo soma dos valores atribuídos para os diferentes formatos de video (SD, HD e LD) em relação à taxa de

transmissão, somado-se a eles os valores de customização P1 e P2. A mesma lógica é seguida para as equações (3), (4) e (5), porém elas levam em consideração a qualidade de vídeo, banda número e de clientes respectivamente. Já na equação (6), apenas os dois valores de áudio são levados em consideração. As letras gregas que aparecem nas equações (2), (3), (4), (5) e (6) representam os pesos de cada variável na FO. Estes pesos representam a contribuição de cada variável na função objetivo. Através de uma análise da influência dos pesos, conforme os tipos de clientes, o modelo poderá ser calibrado de modo a ser customizado.

Quanto às restrições impostas pelo modelo, podem ser feitas as seguintes observações: as equações (7), (8) e (9), referentes às restrições destinadas a taxas de fluxo de *bits* que, impoem para cada fluxo um valor mínimo de taxa de transmissão e um máximo para T_t , isso para cada um dos parâmetros conforme a Tabela 2.

Além disso, a formulação do modelo matemático tem restrições para a qualidade. Elas são expressa pelas equações (10),(11) e (12). Essa variável está sujeita a restrições que definem os seus limites de aceitação, conforme a Tabela 3, porém seu valor máximo foi definido igual para todos, adotando o limite de banda brasileiro.

Por fim, as restrições para banda, são representadas pela Tabela 4 e descritas pelas equações (13), (14), (15), (16) e (17). As equações (18) e (19) descrevem as restrições de áudio em seus dois formatos.

Observa-se que a equação (20) não faz referência à nenhuma tabela mencionada, porém se faz necessária devido ao possível desperdício de recursos operadora/cliente. Isso pode ocorrer quando a disponibilidade de banda por parte da operadora for muito maior que a necessidade do cliente, sendo C a capacidade de recebimento do cliente e $TIPTV$ a disponibilidade de transmissão IPTV.

A equação (21) apresenta uma restrição, onde todos os pesos atribuídos às variáveis da FO pertencem ao conjunto dos números inteiros não negativos. Por fim, a equação (22) representa as restrições de não negatividade para as variáveis de decisão, pois na ausência de alguma destas variáveis de decisão a transmissão IPTV é comprometida.

As equações (23) e (24) representam as restrições impostas a P1 e P2, parametrizáveis que tem o seu valor definido dentro do intervalo estabelecido por

essa equação. Assim estas equações, a (25) e (26) também representam valores parametrizáveis P1 e P2, porém respeita a intervalos da variável Tt.

3.2.3 Algoritmo MCIPTV

O fluxograma do algoritmo MCIPTV é apresentado na Figura 19. Uma solução inicial aleatória viável é gerada para a aplicação da BT do MCIPTV, através da JIGA de testes do projeto DIGICONV. A geração da vizinhança explora todos os intervalos possíveis das variáveis de decisão consideradas no modelo. A vizinhança da BT é gerada através da substituição aleatória de uma posição da solução, sendo que na posição sorteada é gerada uma nova solução aleatória viável. Na construção da vizinhança, cada iteração gera 10 vizinhos sendo que o melhor deles passa a ser a solução atual e a partir dessa nova solução, onde são gerados novos vizinhos. Este é um problema de seleção de partes que é NP-Completo (HWAN; SHOGUN, 1989).

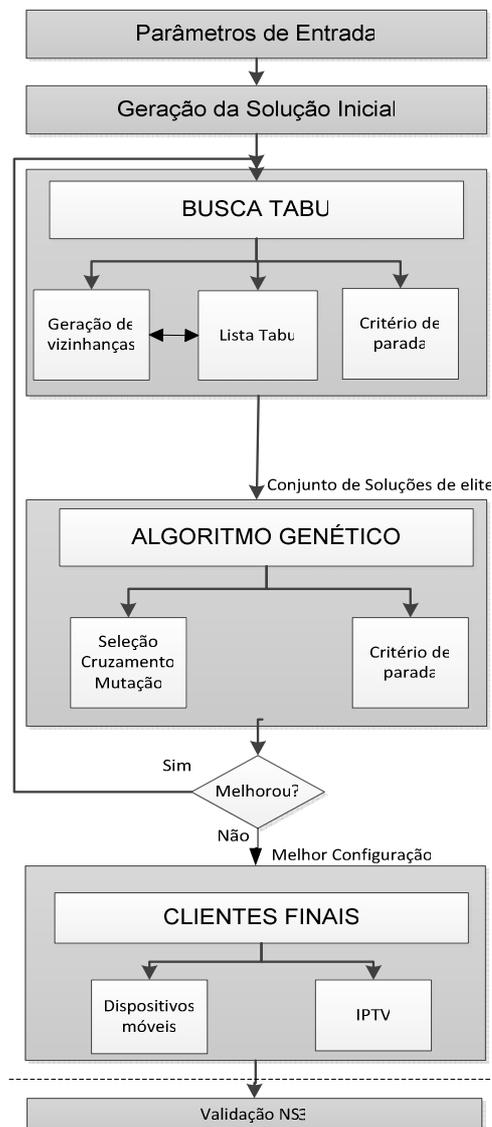
No conjunto de soluções de elite são guardadas até as 20 melhores soluções que serão a solução inicial do AG. Caso não sejam geradas as 20 soluções, o complemento será feito de forma aleatória, ou seja, na obtenção de apenas 16 soluções as outras 4 serão geradas aleatoriamente. Na dinâmica da Busca Tabu foi considerado como critério de parada Nbmax igual a 100. Neste ponto, o conjunto de soluções de elite, formará a população inicial do Algoritmo Genético, sendo cada uma das soluções obtidas na BT um cromossomo no AG. A BT teve inicialmente uma Lista Tabu de 7 movimentos que posteriormente teve valor aumentado para 10. Ela conta com o tipo de armazenamento em memória, onde é levado em consideração o movimento realizado.

Dentro do bloco do Algoritmo Genético foram trabalhados os operadores genéticos de mutação, cruzamento e seleção. Depois da avaliação da aptidão dos indivíduos da população atual, é realizada a seleção de indivíduos para o cruzamento. Optou-se pela seleção por torneio. Primeiramente ordena-se a população do melhor para o pior indivíduo, após isso, divide-se a população ao meio e gera-se um número aleatório entre 0 e 100. Caso o número seja menor ou igual que 75 são escolhidos dois indivíduos, aleatoriamente, da parte superior da população, ou seja, a parte dos indivíduos mais aptos, pois a FO desse estudo é de maximização. No caso do número sorteado ser maior que 75, é sorteado um

indivíduo da parte superior da população (mais aptos) e um indivíduo da parte inferior da população (menos aptos) (WEISSHEIMER, JUNIOR; etal., 2011).

Esses indivíduos serão cruzados e mutados, caso atenderem aos critérios de cruzamento e mutação tendo os percentuais de uso distribuídos em 85% e 5%, respectivamente conforme já utilizado em (WEISSHEIMER, JUNIOR; etal., 2011) e orientado por (AURÉLIO, 1999). Para o processo de cruzamento se utiliza a codificação de valores (ponto de cruzamento único), onde um ponto de cruzamento é escolhido. Os valores do começo do cromossomo até o ponto de cruzamento são copiados do primeiro pai e os demais valores são copiados do outro pai, gerando assim um filho com características de ambos. A Figura 19, a seguir, ilustra a dinâmica do Algoritmo MCIPTV.

Figura 19 – Algoritmo MCIPTV.



No processo de mutação de valores pontual é sorteada aleatoriamente uma das variáveis da FO e posteriormente sorteado um valor pertencente ao intervalo em que a variável está inserida, e assim o valor é inserido em uma outra solução/cromossomo.

Hu e Di Paolo (2007) apresentam diferentes possibilidades de representação dos genes do cromossomo. Uma das possíveis representações pode ser binária, onde os cromossomos podem ser compostos de 0s e 1s. Em outros casos, podem ser empregados valores não binários, inteiros ou reais. Para este estudo foram levados em consideração genes de valores reais.

Além disso, o AG conta com o bloco critério de parada definido a partir de um número de iterações e a quantidade de gerações será definida em 100 (AURÉLIO, 1999). Em seguida uma decisão é tomada, para saber se houveram melhoras na solução inicial. Caso haja, o processo é retomado no ponto da Busca Tabu. Caso isso não seja atendido o Algoritmo Genético considera que a melhor configuração foi obtida.

No MCIPTV algumas restrições devem ser respeitadas, visando encontrar a melhor configuração dos parâmetros de entrada a serem trabalhadas pelo modelo proposto a partir de uma solução inicial aleatória, sempre respeitando aos limites impostos pelo mundo real como foi apresentado na seção 3.2.2.

No próximo capítulo serão abordados os experimentos realizados nesse trabalho, com base nessa formulação, com o uso da arquitetura adotada e do modelo computacional elaborado.

4 VALIDAÇÃO DO MODELO E EXPERIMENTOS

Nessa seção são descritos a validação e os experimentos realizados para o MCIPTV. Para a validação do modelo foram rodados cenários na JIGA de testes do projeto DIGICONV e no simulador de rede Network Simulator (NS). Quanto aos experimentos, foram trabalhados levando-se em consideração as variáveis da função objetivo.

Considerando a FO proposta na formulação do modelo matemático, testes com a ferramenta Lingo de Programação linear/Inteira foram realizados. Porém, todos parâmetros de customização e os valores impactantes das variáveis (letras gregas), receberam valor igual a 0. Isso para que a ferramenta suportasse a carga imposta a ela. Assim, surgiu a necessidade de se utilizar uma solução mais robusta para esse trabalho. A aplicação de metaheurísticas, em especial uma híbrida como a descrita na seção 3, na busca de uma melhor solução para transmissão IPTV. A utilização de tal método além de despertar o interesse de pesquisadores, mostrou ter aceitação perante a comunidade científica através de publicações como (WEISSHEIMER JUNIOR; GÓMEZ, 2011).

4.1 Solução Não Tendenciosa

Para MÜLLER (2006) e MOOD (1974) a solução denominada como não tendenciosa e é aquela em que o peso associado as variáveis não privilegie nenhuma das variáveis da FO (RODRIGUES, 2007).

A solução não tendenciosa é obtida por meio da normalização dos pesos da FO. Isso é feito através de 300 execuções do algoritmo com 300 soluções iniciais diferentes. Além disso, se calculou a média e desvio padrão de cada variável conforme a Tabela 6. Os experimentos comportam todas as partes do modelo. Na Tabela 5 são apresentadas as características de cada uma das transmissões realizadas.

Tabela 5 – Características das transmissões

Com as 300 soluções obtidas os pesos são obtidos
--

$$\lambda_{sd}, \lambda_{hd}, \lambda_{ld}, \lambda_{p1}, \lambda_{p2}, \beta_{sd}, \beta_{hd}, \beta_{ld}, \beta_{p1}, \beta_{p2}, \mu_{sd}, \mu_{hd}, \mu_{ld}, \mu_{p1}, \mu_{p2}, \alpha_{sd}, \alpha_{hd}, \alpha_{ld}, \alpha_{p1},$$

$$\alpha_{p2}, \omega_{5.1}, \omega_{st}$$

Os valores dos pesos acima são: 84,69, 43,75, 85, 94, 68, 45, 71, 89, 92, 65, 49, 78, 87, 43, 97, 63, 16,49, 43,97 respectivamente.

Para as 300 soluções obtidas em cada uma das três transmissões calcularam-se a média e o desvio padrão entre as mesmas com a intenção de melhor enquadrar as variáveis do modelo. A Tabela 6 apresenta os valores obtidos a partir destes cálculos, para cada uma das transmissões em conjunto dos seus pesos não tendenciosos.

Tabela 6 – Média e desvio padrão das variáveis.

	Tt		Qv		QA		Nc		Lb	
	Media	Desvio P	Media	Desvio P	Media	Desvio P	Media	Desvio P	Media	Desvio P
Trans 1	1987,97	205,6498	15460,1	2391,189	1436,9	185,7545	69678,28	1739,62	1530,49	339,0028

Após a definição dos pesos não tendenciosos para cada variável que formam o modelo, é necessário testá-las com base nesses valores encontrados, isso será realizado na seção 4.2.2.

4.2 Experimentos

O objetivo dos experimentos é examinar como as variáveis se comportam em relação ao modelo e qual a configuração que pode conduzir aos melhores resultados. Para isso, valores são atribuídos às variáveis que têm o seu comportamento analisado de forma individual, mas com relação às outras do modelo. Com isso é possível relatar o quanto uma variável está impactando na outra ou até mesmo se existe impacto entre as variáveis do modelo.

4.2.1 Planejamento dos experimentos.

Os experimentos foram realizados em um servidor Dell modelo 390, processador I5, 4 GB de memória e rodando Windows Server 2008. Os experimentos serão realizados em duas etapas:

- Validação do modelo através da análise do comportamento das variáveis de decisão frente ao comportamento esperado das mesmas, conforme experimentos na Jiga de testes do projeto Digiconv.
- Rodadas de problema em larga escala.

4.2.2 Análise das variáveis

Para análise das variáveis, a partir dos valores encontrados para os pesos não tendenciosos é multiplicado o valor da variável ao peso não tendencioso. Além disso, se acrescentam os valores representados na Tabela 7 as variáveis de decisão até chegar a um número que torna a análise adequada e assim fosse observado o quanto uma variável pode incidir sobre a outra, esse valor foi 150. A Tabela 7 mostra a evolução da FO em relação à variável que se mostrou mais impactante na distribuição dos pesos não tendenciosos conforme a seção 4.1. Assim, através dela se definiu o valor que serviria de análise.

Tabela 7 – Valores atribuídos

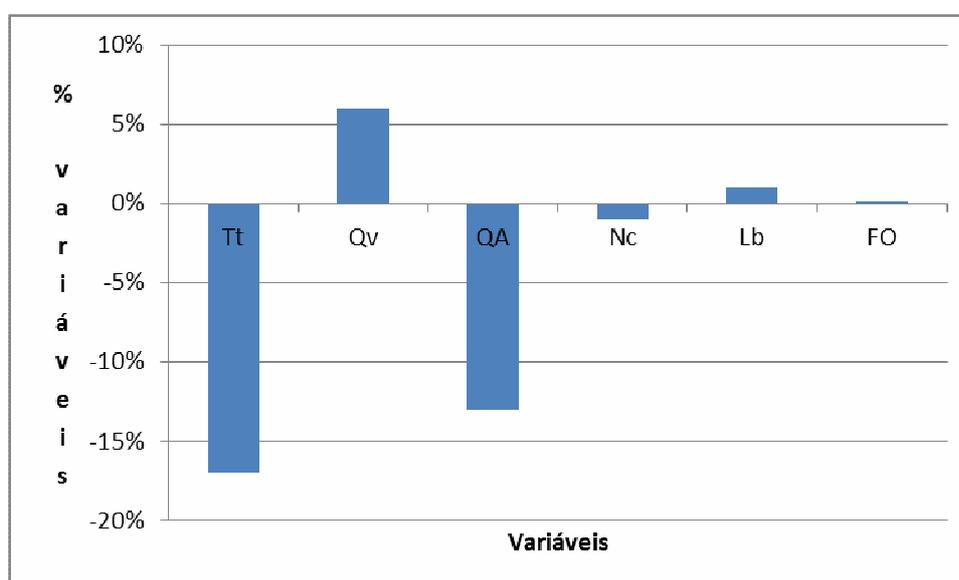
Valor somado	Variáveis					FO
	Tt	Qv	QA	Nc	Lb	
0	2097	16095	1478	70780	1835	92285
10	2095	16092	1483	70779	1833	92282
50	2090	16087	1430	70750	1844	92201
100	2089	16088	1415	70690	1876	92158
150	3015	16123	1480	71340	1820	93778
160	3002	16101	1469	70990	1700	93262
170	2700	16090	1309	70200	1799	92105

A escolha do valor de análise foi feita a partir da melhora da Função Objetivo, ou seja, para a formulação adotada quando o valor da FO aumentasse em relação à solução inicial. A Tabela 7 apresenta um decréscimo no valor da FO para os três primeiros valores. Também foi possível constatar que não houve melhora significativa no valor da FO para o acréscimo de 160, e no caso do acréscimo de 170 não houve melhora na FO. E a única variável que teve seu valor alterado positivamente foi Tt conforme apresentado na Tabela 7. Assim, o aumento é registrado ideal é o de 150, passando a ser adotado. Porém uma observação

importante a ser feita, é que o acréscimo é feito apenas para a solução inicial, pois quando fixado, apresentou soluções ruins.

A variável cujo seu valor for acrescido será analisada em relação às outras. Na Figura 21 à variável Tt recebeu um acréscimo 150 e pontos importantes apareceram de forma a relatar o bom funcionamento do modelo. Porém para que, não só o gráfico da Figura 21 seja melhor compreendido, mas também todos os outros desta seção, uma observação deve ser descrita: a solução inicial é representada pelo percentual 0%, ou seja, caso o gráfico permanecesse com todas variáveis em 0% não haveria alteração alguma em relação a solução inicial.

Figura 20 – Acréscimo de 150 em Tt

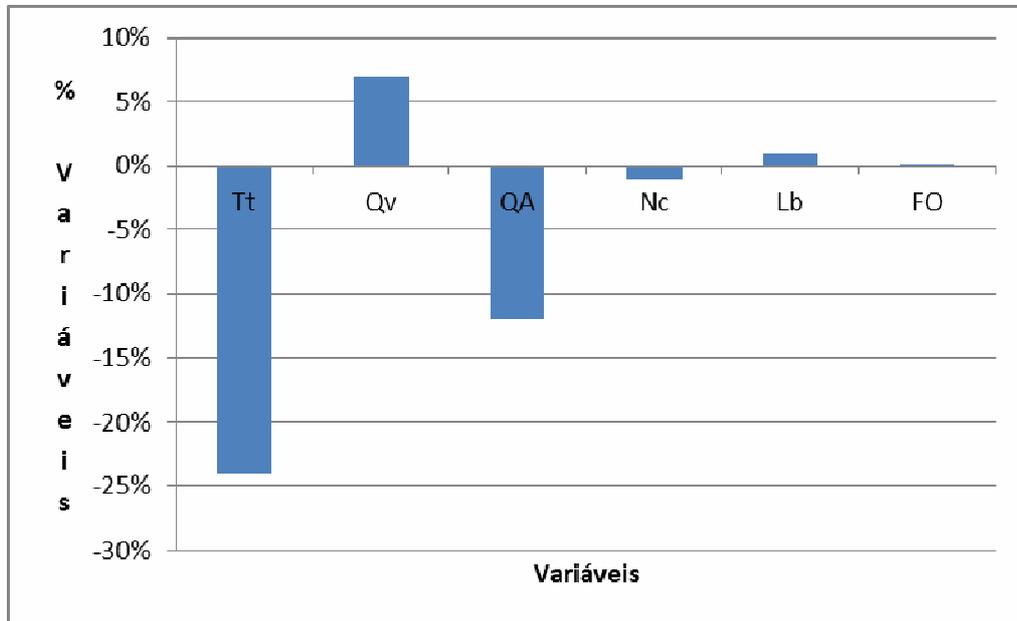


É possível observar que quando a qualidade de vídeo aumenta, tanto a Taxa de transmissão quanto o número de clientes reduzem. Segundo Cruz e Nunes, (2009) esse comportamento é normal, pois uma das principais características da transmissão IPTV é a qualidade do serviço prestado pela operadora. Quanto mais qualidade dispor em seu serviço, menos taxa de transmissão terá e menos clientes poderão dispor da transmissão IPTV.

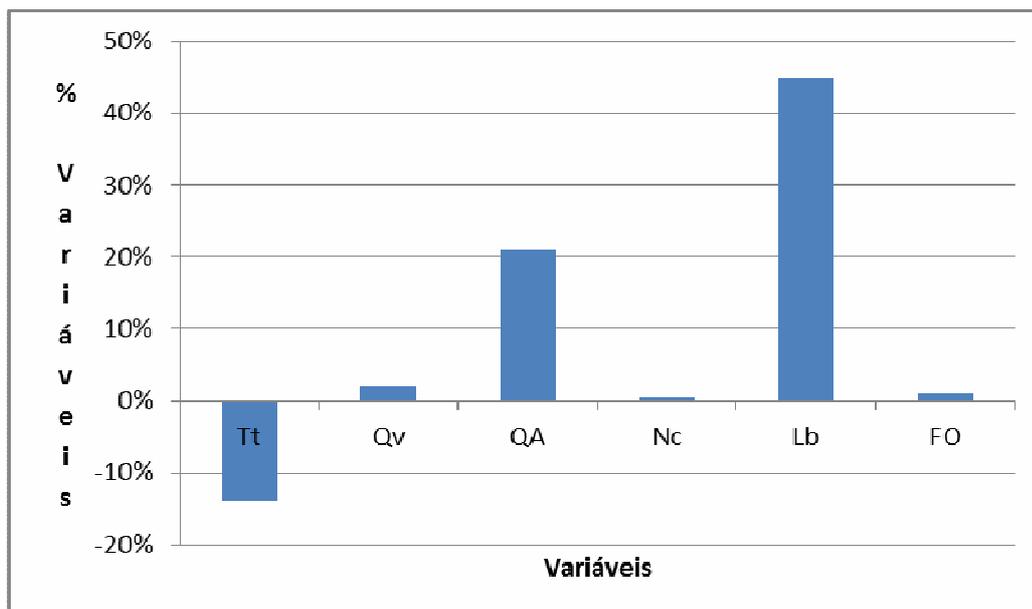
Esses fatores levantados pela análise da Figura 21 podem impactar no preço da solução e também na sua viabilidade perante o mercado, por isso quanto mais harmônica for a solução ofertada ao cliente melhor. Na Figura 22 pode se observar o acréscimo de 150 à variável qualidade de vídeo. Mesmo tendo o valor aumentado, Qv continuou incidindo sobre as mesmas variáveis e de forma muito parecida, o que para o modelo é considerado bom, pois dentro da sua construção essa variável não

incidiria de maneira expressiva. Isso acontece devido ao controle nas alterações feitas nas outras variáveis para que o modelo consiga se ajustar.

Figura 21 - Acréscimo de 150 em Qv



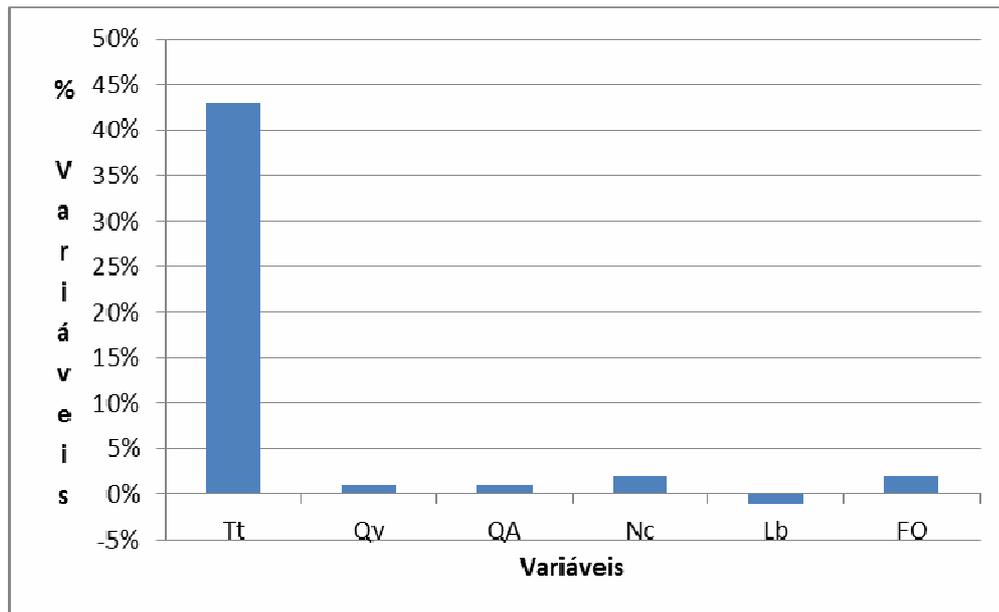
A partir da adição de 150 ao valor da variável qualidade de áudio, ilustrado na Figura 23, é possível analisar que o número de clientes também tem o seu valor alterado para cima, podendo assim ser realizado um maior número de transmissões de arquivos de áudio dentro da qualidade aceitável. Porém é possível observar que a largura de banda é reduzida, o que poderá impactar na não transmissão destes arquivos para um determinado tipo de cliente, sendo mais afetados os que devem receber o formato HD.

Figura 22 – Alteração da variável Q_A 

Na Figura 24 é apresentado o histograma de alteração na variável Número de Clientes. É possível analisar que uma variável sofreu um impacto maior com a soma de 150 ao valor da variável N_c , a saber, Taxa de transmissão. Isso se justifica, pois em uma transmissão IPTV quanto maior o Número de clientes maior será a Taxa de transmissão para garantir que a variável Qualidade de vídeo não seja alterada e assim garantindo um maior nível de QoS ao cliente.

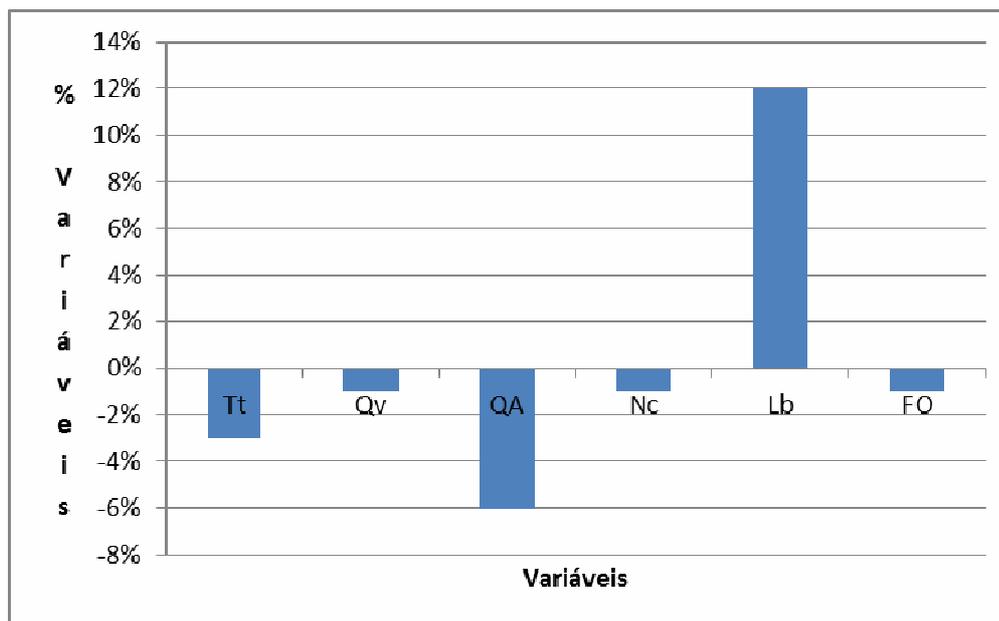
Mantendo a qualidade do serviço, para isso quanto mais clientes solicitam uma transmissão, menos qualidade é ofertada. Porém a variável afetada é a Q_v e observa-se que a qualidade de áudio não sofre impacto. Isso se justifica, pois a mesma tem um valor menor dentro da transmissão em relação à qualidade de vídeo. Quanto à redução em L_b , é possível descrevê-la como uma margem de segurança da qualidade de serviço, pois caso tenha que reduzir mais Q_v , é possível limitar os tipos de clientes que receberão a transmissão.

Figura 23 - Alteração da variável Nc



A Figura 25 ilustra a soma de 150 ao valor tido como melhor solução na variável Lb. Não são apresentadas mudanças consideradas impactantes em nenhuma das outras variáveis da Função Objetivo, a partir desta soma todas as outras variáveis ficaram dentro do seu desvio padrão e assim foi possível identificar a variável Lb entre as menos impactantes nesse tipo de análise. Porém Lb assume outra postura perante a alteração de valores em Tt, Qv, QA e Nc. Cada soma ao valor dos pesos destas variáveis representou uma alteração em Lb, sendo assim é possível defini-la como a variável chave da FO. Ela irá definir se haverá ou não transmissão.

Figura 24 - Alteração da variável Lb



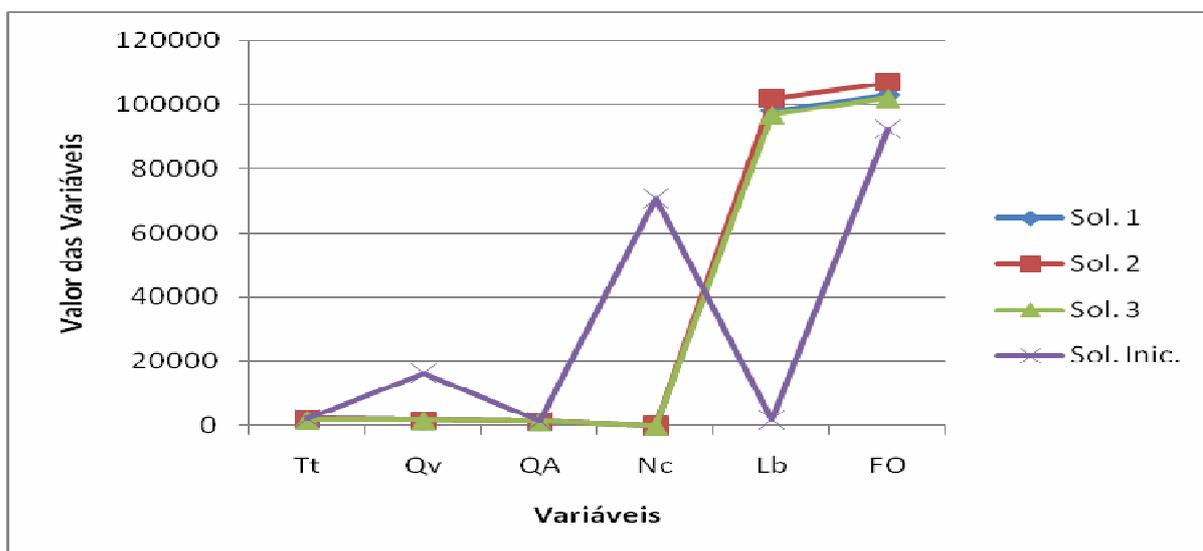
Além das análises abordadas, outro tipo de estudo foi realizado objetivando analisar o comportamento do modelo. Essa análise é descrita na seção 4.2.3.

4.2.3 Análise das variáveis a partir de uma atribuição não real.

O modelo adotado define que a ausência de uma das variáveis da função objetivo implica em valores não reais para a transmissão IPTV. Considera-se que na ausência de uma destas variáveis a transmissão não aconteceria. Para essa análise o valor das variáveis testadas receberam 0 e os pesos adotados foram os mesmos definidos na seção 4.1. Para esse experimento foram executadas três vezes o algoritmo (Sol 1, Sol 2 e Sol, 3), sendo que para cada execução uma solução inicial diferente foi adotada. Com isso procurava-se ter a certeza que uma das variáveis receberia uma carga demasiada e que a mesma serviria de estouro. Assim mais duas execuções do algoritmo foram realizadas e a mesma variável apresentou uma alteração que não real para os padrões IPTV.

Na Figura 26 é possível de se observar que ao zerar a variável Nc o modelo atribui uma carga demasiada sobre a variável Lb, o que ocasionaria em uma não transmissão IPTV. Porém as variáveis restantes (Tt, Qv e QA) não sofrem com essa alteração.

Figura 25 – Alteração em Nc (Zero)



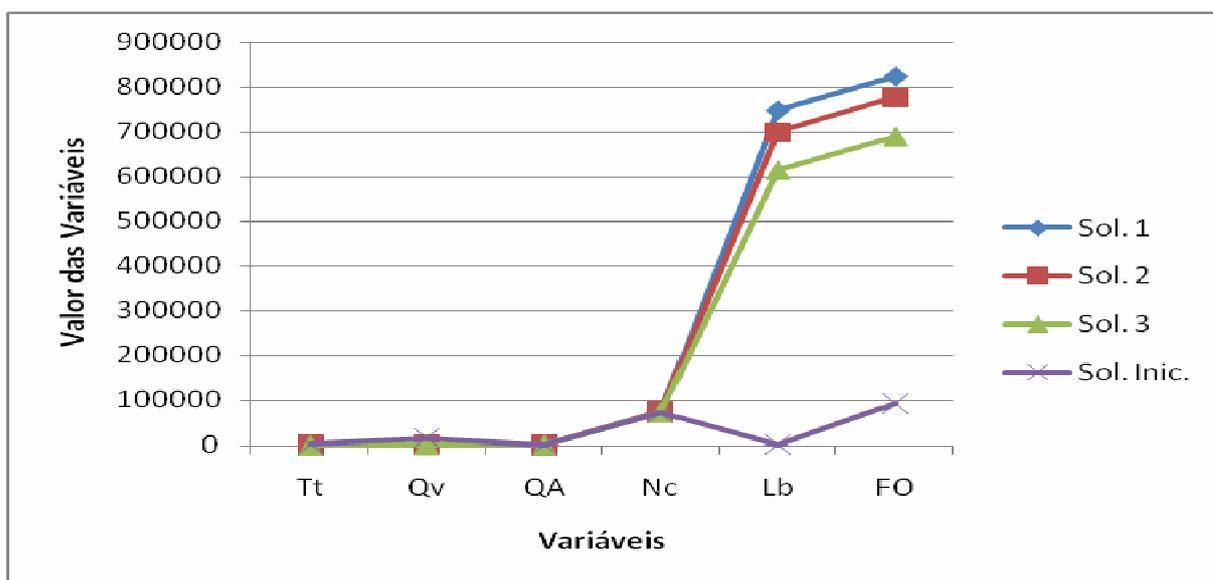
É passível de análise o fato de que nas três soluções apresentadas a única variável que recebe um valor no qual impactaria na não transmissão é Lb, pois esse aumento desordenado acarreta em uma perda excessiva de pacotes IP, e assim não realizando a transmissão. (TELECO, 2012). A tabela 8 ilustra os valores obtidos.

Tabela 8 - Alteração em Nc (Zero)

	Tt	Qv	QA	Nc	Lb	FO
Sol. 1	2001	1600	1396	0	98000	102997
Sol. 2	2030	1643	1295	0	102000	106968
Sol. 3	1943	1702	1376	0	97089	102110
Sol. Inic.	2097	16095	1478	70780	1835	92285

Na análise feita na Figura 27 a variável zerada corresponde a Taxa de transmissão. Da mesma forma que a na Figura 26 mais duas execuções foram realizadas no intuito de se constatar que a mesma variável seria alterada de forma não real aos padrões IPTV. A alteração desta variável impactou de forma significativa, porém de forma aceitável, sobre Nc. Já em relação à Lb acabou incidindo de uma forma catastrófica e assim também não realizando a transmissão.

Figura 26 – Alteração em Tt (Zero)



Na Tabela 9 a alteração em Tt é detalhada apresentando os valores obtidos para cada uma das três soluções obtidas.

Tabela 9 - Alteração em Tt (Zero)

	Tt	Qv	QA	Nc	Lb	FO
Sol. 1	0	1710	1285	73003	748433	824431
Sol. 2	0	1734	1239	74344	699023	776340
Sol. 3	0	1722	1223	72498	614780	690223
Sol. Inic.	2097	16095	1478	70780	1835	92285

Com intuito de observar se o modelo proposto atingiu o seu objetivo em um âmbito mais próximo da realidade, foram criados ambientes de transmissão IPTV para testar a melhor solução obtida pelo modelo. A próxima seção irá abordar como foram montados e executados os testes para a realização da transmissão baseados em uma solução já alcançada.

4.3 Transmissão

Os primeiros testes a serem realizados de transmissão de vídeo foram feitos através do protótipo do DIGICONV, com intuito de se analisar as anomalias causadas pelos três tipos de formatos de vídeo em relação à rede ilustrada pela Figura 28. Os testes foram realizados do servidor para um cliente nos formatos HD,

SD e LD. O *streaming* de vídeo é realizado através de um *player* chamado *Video Lan Client Media Player* (VLC). O VLC é um reprodutor de arquivos multimídia amplamente conhecido.

Ele foi lançado em 2001 e durante alguns anos passou por correções de erros e aprimoramentos. Recentemente o *player* recebeu diversas melhorias, corrigindo vários *bugs* (VLC, 2010). Além disso, algumas alterações fizeram com que o *player* conseguisse consumir menos espaço na memória RAM, tornando-o mais usual. Diferente de outros *players* mais conhecidos, o VLC possui a vantagem de ter seu código aberto. Isto é, o programa pode ser aprimorado por diversos voluntários do mundo que saibam e queiram desenvolver alguma ferramenta que utilize o programa, como foi feito no projeto DIGICONV. A escolha por esse *software* foi feita a partir do seu bom desempenho na transmissão de vídeos HD e por realizar *streaming* e assim permitindo que o usuário assista ao vídeo enquanto termina o seu *download*, por exemplo.

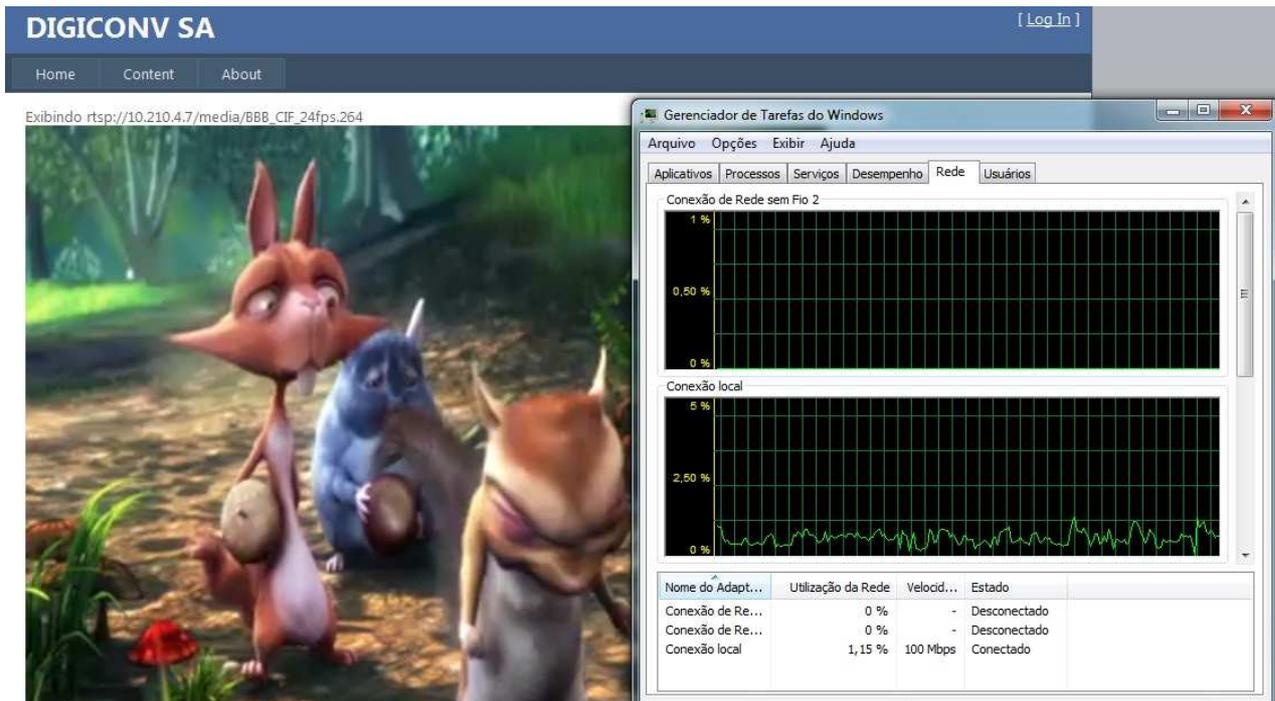
Para os três formatos de vídeo, a topologia de rede adotada foi à mesma. Ela é composta por servidor multimídia onde os vídeos dos formatos utilizados neste trabalho são armazenados. Posteriormente passa pelo roteador de acesso e em seguida para *Internet*. Por fim o roteador de destino recebe o *streaming* de vídeo e repassa para o IP do cliente. Para tanto, a instituição de ensino na qual o projeto DIGICONV está inserido forneceu um IP externo para que fosse possível a utilização da topologia ilustra pela Figura 28.

Figura 27 - Topologia de rede para os teste iniciais.



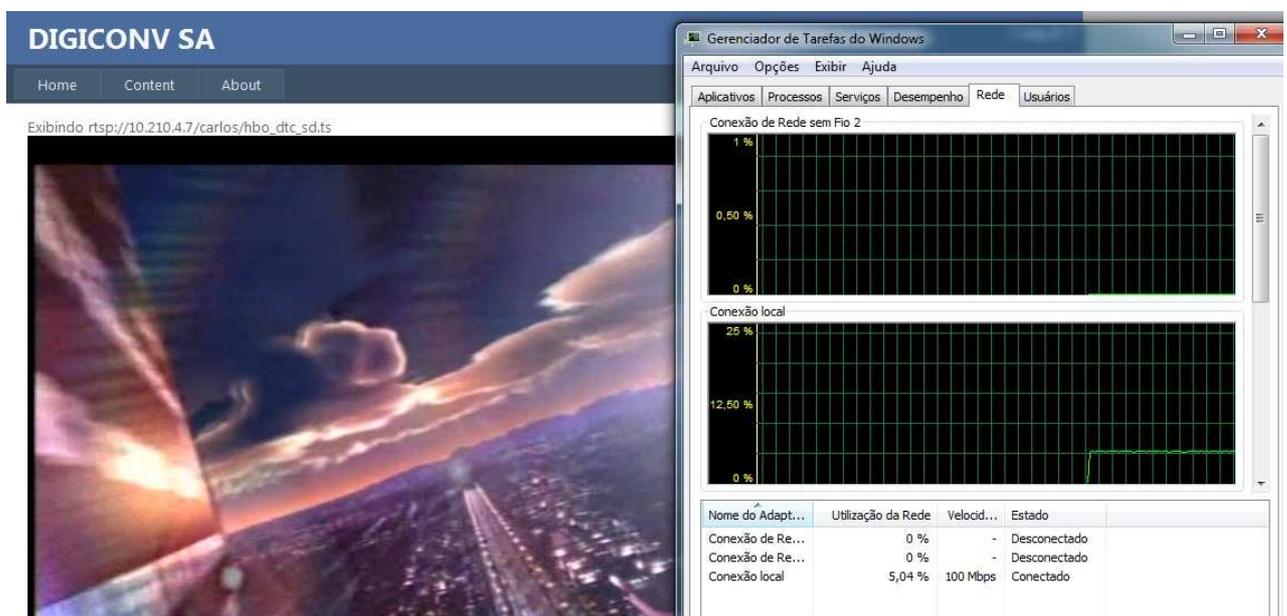
Na Figura 29 é apresentado o primeiro teste com relação aos *streamings* de vídeo. O formato utilizado nessa transmissão é o LD, formato esse de menor qualidade e geralmente utilizado em dispositivos móveis e computadores. É possível observar que o consumo da rede na realização desta transmissão é muito baixo, na média fica abaixo de 1% da utilização da mesma conforme pode ser constatado pelo gráfico da Figura 29.

Figura 28 – Streaming de vídeo formato LD



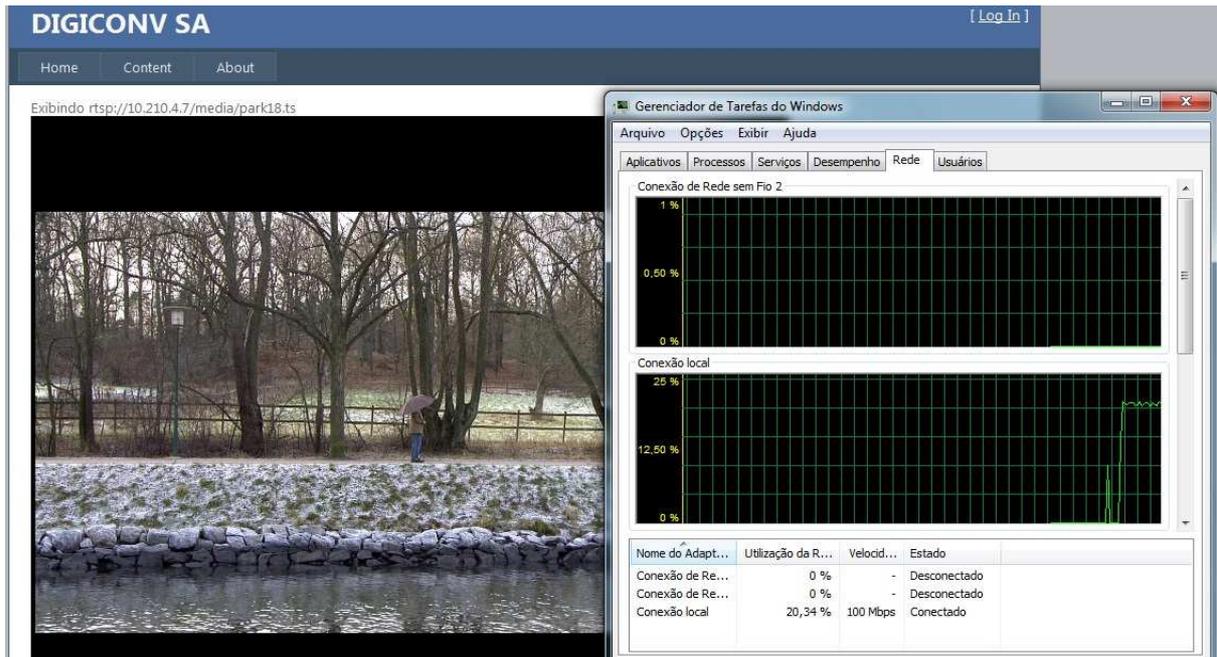
No teste ilustrado pela Figura 30 é utilizado um filme no formato SD para *streaming* de vídeo. Pode se observar que o consumo na utilização da rede aumentou para uma média de 5%, aproximadamente 5 vezes maior que o formato LD. Assim podemos evidenciar que a transmissão de arquivos SD para dispositivos móveis é mais limitada, pois além do formato exigir mais da operadora não são todos os equipamentos que o suportam. O mesmo acontece em relação ao formato HD.

Figura 29 - Streaming de vídeo formato SD



A Figura 31 apresenta a transmissão de um vídeo no formato HD seguindo a topologia descrita na Figura 28. Observa-se que entre os formatos testados (LD, SD e HD) o HD foi o que mais exigiu da rede, tendo uma utilização aproximada de 20%, representando aproximadamente 20 vezes mais que o padrão LD e 4 vezes maior que o SD.

Figura 30 - *Streaming* de vídeo formato HD



A partir destes testes realizados, observa-se uma grande diferença nos três formatos de vídeo em relação à transmissão IP. Contudo, o modelo a que os testes foram submetidos foi ajustado com intuito de serem realizados experimentos mais próximos da realidade. Na próxima seção (4.4), a melhor solução encontrada pelo modelo é definida como parâmetro de entrada para as simulações realizadas através do simulador de rede NS3.

4.4 Análise da Transmissão no NS3

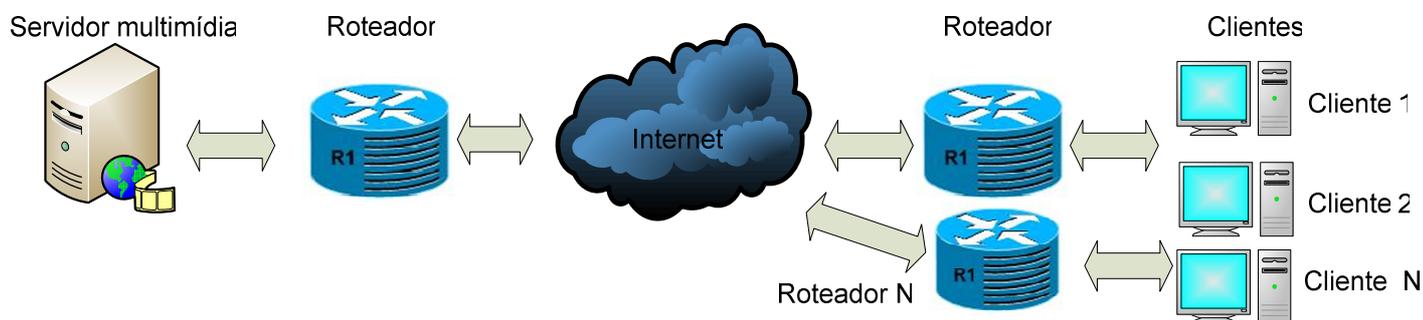
Nessa seção é validado o resultado obtido a partir do modelo, para isso foi utilizado o simulador de redes de computadores NS na sua terceira versão (NS3). O NS é um simulador de eventos discretos orientados para a pesquisa em rede. Ele fornece um apoio substancial para a simulação de TCP, roteamento e protocolos multicast e *unicast* sobre uma rede (local ou por satélite) (THE NETWORK

SIMULATOR, 2003). O NS3 desperta um especial interesse por pesquisadores, pois ele permite o desenvolvimento de novos protocolos e alteração de protocolos existentes para fins de pesquisa e desenvolvimento. Ele é um projeto livre e aberto, organizado por uma comunidade de pesquisadores que o desenvolvem e o mantêm. O NS3 é a evolução do NS2, *software* até hoje largamente utilizado pela comunidade de pesquisa de redes de computadores (NS-3 PROJECT-2, 2011).

O NS3 foi projetado para ser visto como um “gabinete de computador” onde uma série de aplicações, protocolos e interfaces de rede podem interagir em conjunto (NS-3 PROJECT-4, 2011). Dentro do ambiente deste simulador é possível integrar uma rede de computadores virtual, projetada nele, a uma rede real de uma empresa (NS-3 PROJECT-4, 2011). O NS3 introduziu uma característica interessante em relação ao seu predecessor. O NS3 nativamente gera um *dump* das mensagens transmitidas/recebidas por todas as NICs (*Network Interface Cards*) existentes numa rede no formato PCAP, (NS-3 PROJECT-1, 2011). Este formato é o padrão utilizado pelo *software* Ethereal (ETHERREAL, 2011), *software* largamente utilizado por Engenheiros de Rede para análise de redes de comunicação de pacotes.

A partir da implementação no simulador de rede NS-3, foram criadas topologias realísticas, utilizando o protocolo RTP, para a simulação e avaliação dos resultados (THE NETWORK SIMULATOR, 2009). Na Figura 32 é ilustrada a topologia de rede utilizada no simulador de rede.

Figura 31 – Topologia utilizada no NS3



Essa topologia apresenta um servidor multimídia onde os arquivos de vídeo, áudio e dados são armazenados, posteriormente os encaminha para o roteador da rede a que ele pertence, assim é disponibilizado na *Internet* e posteriormente encaminhado para o cliente que solicitar determinado arquivo, passando pelo

roteador em que o usuário está inserido e por fim atendendo-o de maneira satisfatória. Os arquivos podem ser enviados para inúmeros clientes pertencentes a diferentes redes de computadores. Na Figura 33 é mostrada uma parte do NS3 em execução, tamanho do pacote e IP de destino dentro de uma rede apenas.

Figura 32 – NS3 rodando

```

~/.ns-allinone-3.12.1/ns-3.12.1
Sent 135 bytes to 10.0.0.236
Sent 113 bytes to 10.0.0.236
Sent 290 bytes to 10.0.0.237
Sent 135 bytes to 10.0.0.237
Sent 113 bytes to 10.0.0.237
Sent 290 bytes to 10.0.0.238
Sent 135 bytes to 10.0.0.238
Sent 113 bytes to 10.0.0.238
Sent 290 bytes to 10.0.0.239
Sent 135 bytes to 10.0.0.239
Sent 113 bytes to 10.0.0.239
Sent 290 bytes to 10.0.0.240
Sent 135 bytes to 10.0.0.240
Sent 113 bytes to 10.0.0.240
Sent 290 bytes to 10.0.0.241
Sent 135 bytes to 10.0.0.241
Sent 113 bytes to 10.0.0.241
Sent 290 bytes to 10.0.0.242
Sent 135 bytes to 10.0.0.242
Sent 113 bytes to 10.0.0.242
Sent 290 bytes to 10.0.0.243
Sent 135 bytes to 10.0.0.243
Sent 113 bytes to 10.0.0.243
Sent 290 bytes to 10.0.0.244
Sent 135 bytes to 10.0.0.244
Sent 113 bytes to 10.0.0.244
Sent 290 bytes to 10.0.0.245
Sent 135 bytes to 10.0.0.245
Sent 113 bytes to 10.0.0.245
Sent 290 bytes to 10.0.0.246
Sent 135 bytes to 10.0.0.246
Sent 113 bytes to 10.0.0.246
Sent 290 bytes to 10.0.0.247
Sent 135 bytes to 10.0.0.247
Sent 113 bytes to 10.0.0.247
Sent 290 bytes to 10.0.0.248
Sent 135 bytes to 10.0.0.248
Sent 113 bytes to 10.0.0.248
Sent 290 bytes to 10.0.0.249
Sent 135 bytes to 10.0.0.249
Sent 113 bytes to 10.0.0.249
Sent 290 bytes to 10.0.0.250
Sent 135 bytes to 10.0.0.250
Sent 113 bytes to 10.0.0.250
TraceDelay: RX 135 bytes from 10.0.0.1 Sequence Number: 41 Uid: 10993 TXtime: +3680000000.0ns RXtime
: +3801807785.0ns Delay: +121807785.0ns
TraceDelay: RX 240 bytes from 10.0.0.1 Sequence Number: 42 Uid: 10994 TXtime: +3680000000.0ns RXtime
: +3803932023.0ns Delay: +123932023.0ns
TraceDelay: RX 133 bytes from 10.0.0.1 Sequence Number: 40 Uid: 10995 TXtime: +3680000000.0ns RXtime
: +3805945833.0ns Delay: +125945833.0ns
TraceDelay: RX 135 bytes from 10.0.0.1 Sequence Number: 41 Uid: 10996 TXtime: +3680000000.0ns RXtime
: +3808055651.0ns Delay: +128055651.0ns
TraceDelay: RX 240 bytes from 10.0.0.1 Sequence Number: 42 Uid: 10997 TXtime: +3680000000.0ns RXtime
: +3810361889.0ns Delay: +130361889.0ns
TraceDelay: RX 133 bytes from 10.0.0.1 Sequence Number: 40 Uid: 10998 TXtime: +3680000000.0ns RXtime
: +3812760699.0ns Delay: +132760699.0ns
TraceDelay: RX 135 bytes from 10.0.0.1 Sequence Number: 41 Uid: 10999 TXtime: +3680000000.0ns RXtime

```

Como o NS é um simulador de rede baseado na transmissão de pacotes de bytes variados, nessa figura pode-se observar a perda de alguns (COMPUTER SIENCE, 211). Porém o NS3 retransmite esses arquivos de bytes, até certo limite, para que a transmissão seja 100% realizada com qualidade. A perda destes pacotes pode impactar diretamente na qualidade do arquivo recebido pelo cliente (NS-3 PROJECT-1, 2011).

Partindo da solução encontrada pelo modelo construído, execuções foram realizadas no simulador com intuito de validá-lo e ainda obter informações que podem ser de extrema importância para a comunidade científica. A partir da

realização dos primeiros testes observou-se que o tempo de transmissão na rede era diferente para os três formatos de vídeos como mostra a Tabela 10 onde se tem para cada formato de vídeo o mesmo número de conexões. A coluna tempo representa o tempo obtido a partir desta configuração na transmissão. Assim, para que uma sobrecarga não fosse interpretada como a não adequação do modelo a parâmetros reais do simulador, o limite do mesmo foi encontrado. O estresse do sistema para a configuração atribuída a ele foi em 1000 conexões, porém a melhor solução encontrada não chegou a esse valor.

Tabela 10 – Tempo de Transmissão

Formato de Vídeo	Conexões	Tempo
HD	100	31,77s
SD	100	29,16s
LD	100	27,83s
HD	250	40,87s
SD	250	39,02s
LD	250	35,56s
HD	500	45,15s
SD	500	44,62s
LD	500	43,37s

A partir da análise das variáveis optou-se pelo estudo de algumas delas no simulador com intuito da obtenção dos melhores resultados. Os parâmetros testados no NS foram: a) taxa de transmissão, b) número de clientes, c) largura de banda. Porém, a melhor solução encontrada esbarrou em uma limitação técnica, ou seja, foram encontrados 12Mbs. Porém, como o estudo leva em consideração dispositivos móveis, os testes tiveram que serem realizados sobre os valores que compõem as três variáveis da melhor solução obtida, e retirados os valores dos pesos não tendenciosos após a definição da melhor solução encontrada pelo modelo.

Para tanto, a solução encontrada pelo modelo mostrou-se eficaz, pois 87% dos valores contidos na melhor solução realizam suas transmissões e ainda a perda de pacotes teve um nível baixo na maioria dos experimentos, necessitando assim poucas retransmissões de *bytes* evitando um gargalo na rede. Para os testes foi utilizado um filme completo, *Jurassic Park*, em cada um dos três formatos de vídeo

(HD, SD e LD) somando-se a quantia de três filmes testados (TRACE FILE, 2011). Na Tabela 11 são apresentados os resultados dos testes a partir da análise de algumas variáveis do modelo, inserida por meio de *script* dentro da configuração utilizada no simulador. Os valores utilizados nesse experimento foram $Tt_{HD} = 7$, $Tt_{SD} = 4$ e $Tt_{LD} = 1$ para a taxa de transmissão. Para números de clientes foram utilizados os seguintes valores $Nc_{HD} = 100$, $Nc_{SD} = 250$ e $Nc_{LD} = 500$. Quanto aos valores utilizados para a variável Lb foram: $Lb_{ADSL_{2+}} = 8$, $Lb_{ADSL_2} = 5$, $Lb_{VDSL_2} = 9$, $Lb_{WINMAX} = 6$ e $Lb_{CDMA} = 1$. Os testes levam em consideração, além dos itens já descritos, o percentual de perda de pacotes e a realização ou não da transmissão.

Tabela 11 – Testes realizados

Formato	TT	NC	LB	Retransmissão	Transmissão
HD	7Mbs	100	ADSL ₂₊	Aproximadamente 25%	Realizada
HD	7Mbs	100	ADSL	Aproximadamente 29%	Realizada
HD	7Mbs	100	VDSL	Aproximadamente 22%	Realizada
HD	7Mbs	100	WiMax	Aproximadamente 49%	Não Realizada
HD	7Mbs	100	CDMA	Aproximadamente 31%	Não Realizada
SD	4Mbs	250	ADSL ₂₊	Aproximadamente 11%	Realizada
SD	4Mbs	250	ADSL	Aproximadamente 14%	Realizada
SD	4Mbs	250	VDSL	Aproximadamente 7%	Realizada
SD	4Mbs	250	WiMax	Aproximadamente 19%	Realizada
SD	4Mbs	250	CDMA	Aproximadamente 17%	Realizada
LD	1Mbs	500	ADSL ₂₊	Aproximadamente 9%	Realizada
LD	1Mbs	500	ADSL	Aproximadamente 10%	Realizada
LD	1Mbs	500	VDSL	Aproximadamente 5%	Realizada
LD	1Mbs	500	WiMax	Aproximadamente 13%	Realizada
LD	1Mbs	500	CDMA	Aproximadamente 12%	Realizada

Na Tabela 11 observa-se tanto uma perda de pacotes maior em LB (WiMax e CDMA), quando uma não transmissão em dois momentos. Esse fato teve origem devido ao tipo de conexão realizada e a carga imposta a ela. Porém quando realizada para um cliente apenas a transmissão o processo é bem sucedido.

Como o NS3 é capaz de simular ambientes reais, foi possível constatar que uma solução provida da utilização de metaheurísticas consegue não apenas realizar uma transmissão IPTV, e sim, realizá-la com qualidade satisfatória aos seus clientes.

A seção 5 é dividida em duas partes. A primeira, conclusão, pretende relatar ao leitor a importância que o trabalho teve e o quanto ele atingiu o seu objetivo. Já a segunda, trabalhos futuros descreve que pontos ainda podem ser explorados deste trabalho com o desígnio de promover novas pesquisas dentro e fora da comunidade científica.

5 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

Atualmente, os operadores de telecomunicações possuem uma grande variedade de meios de transmissão na implementação de serviços IPTV. Isso torna a construção de um modelo computacional que parametrize uma determinada arquitetura importante, pois cada cliente tem sua característica própria. Como forma de parametrização, vários tipos de técnicas podem ser adotadas, entre elas destacam-se técnicas de otimização do algoritmo de transmissão em tempo real e a diversidade na escolha do protocolo a ser utilizado para determinada arquitetura na transmissão IPTV (NETO, 2009).

Segundo Berry e O'Shea (1982), a modelagem matemática é o processo de escolher características que descrevem adequadamente um problema de origem não matemática. Para tanto, a formulação do modelo matemático foi realizada com base nas variáveis de decisão consideradas importantes para a transmissão IPTV, isso torna o modelo mais próximo de um ambiente real, possibilitando que a solução obtida por ele seja testada em um simulador de rede como o NS3, utilizado nesse trabalho.

Neste trabalho se desenvolveu, a partir da parametrização da arquitetura IPTV do projeto DIGICONV, um modelo computacional para viabilizar a parametrização de usuários/dispositivos que possam receber com qualidade a transmissão IPTV. Além disso, com a utilização de Metaheurísticas, as variáveis de decisão puderam ser melhor analisadas conforme apresentado nas seções 4.2.1 e 4.2.2.

A análise onde foi associado ao peso de Tt o valor de 150, apresentou resultados plausíveis de documentação. A partir desta análise foi possível observar que o comportamento do modelo age de forma harmônica em relação ao ambiente real, pois quando a qualidade de vídeo aumentou, tanto a Taxa de transmissão quanto o número de clientes reduziram. Segundo autores como Cruz e Nunes, (2009), esse comportamento é normal, tendo em vista que a transmissão IPTV prima pela qualidade do serviço prestado.

Para que a qualidade de serviço seja mantida é importante que haja o balanceamento entre as variáveis do modelo. Segundo os autores O'DRISCOLL, (2008) e KIM (2008), a qualidade de áudio pode ser afetada por vários fatores, como o tipo de codec de áudio (compressão de áudio), o sistema de transmissão e o limite

de banda. Com relação ao sistema de transmissão, isto pode ser notado pela distorção do áudio, que é provocado pela perda de pacotes ou este pacote estar corrompido. Esta falha pode ocorrer devido a um congestionamento na rede ou falha de equipamento. Assim, através da análise de Q_A , o modelo mostrou um comportamento adequado conforme a literatura, pois, mesmo sendo pequena, houve redução em L_b . Caso essa redução da variável L_b atinja valores muito pequenos, não serão feitas transmissões para todos os tipos de clientes, pois um percentual alto de perda de pacotes será registrado e o modelo não comporta essa alteração.

Além disso, o modelo não obteve sucesso na transmissão onde uma das variáveis de decisão recebeu o valor zero, devido à atribuição deste valor em seu peso, e assim tomando a solução encontrada mais real, pois sem uma destas variáveis não haveria transmissão IPTV. Contribuições importantes em relação a transmissão IPTV foram obtidas, sendo descritas na seção 5.1.

5.1 Contribuições

Os experimentos citados no capítulo anterior viabilizaram o estudo do comportamento das variáveis de decisão (parâmetros) de modo a ter-se uma customização para diferentes tipos de cliente. Além disso, o estudo do comportamento das variáveis da função objetivo apresentou informações importantes sobre a transmissão IPTV. Uma delas foi descrita no capítulo 4, a variável L_b quando submetida a alteração, soma de um valor, não impactou nas outras variáveis e por isso sua utilização talvez não fosse necessária, porém essa mesma variação em todas as outras variáveis da função objetivo acabou impactando na L_b . A partir desta análise foi possível concluir que essa variável assume duas posturas diferentes dentro do modelo, tornando-se uma variável de suma importância, não só na obtenção da melhor solução do modelo, mas também para a transmissão IPTV.

Foi possível concluir também que Metaheurísticas podem achar soluções boas em áreas distintas como a transmissão IPTV, agregando um valor imensurável para a comunidade científica. Além disso, pode-se definir como contribuição deste trabalho a definição de políticas, para se estudar e analisar o comportamento dos

resultados gerados através de um simulador, que verifique a validade da solução gerada pela solução do modelo de transmissão do usuário.

Os testes realizados no simulador de rede NS3 mostraram a capacidade de achar uma boa solução para transmissões IPTV. Os resultados apresentados foram satisfatórios, ao ponto de simular transmissões IPTV com diferentes formatos de vídeo, abordados pelo trabalho, com sucesso. A seção 5.2 aborda possíveis direções para a continuação do trabalho realizado.

5.2 Trabalhos Futuros

A continuação deste trabalho pode seguir as seguintes direções:

- Aplicar o modelo desenvolvido em uma arquitetura onde a distribuição para as redes de telecomunicações remotas seja feita, através de uma tecnologia de transmissão via satélite.
- Utilizar outras Metaheurísticas compondo o MCIPTV, para uma análise diversificada das variáveis de decisão do modelo e para um possível diagnóstico de qual Metaheurística acha a melhor solução para a transmissão IPTV.

REFERÊNCIAS

AARTS, E. H. L.; LENSTRA, J. K. **Local Search in Combinatorial Optimization**. Wiley Chichester, 1997.

AGRAWAL, D. B.; BISDIKIAN, M.; LEE, K. C. **Planning and managing the IPTV Service Deployment**. Integrated Network Management, 2007.

ALLY, M. **Integration of TV and the Internet: design implications and issues**. IEEE International Conference, p. 469-470, 2001.

ALIANÇA DE SOLUÇÕES PARA A INDÚSTRIA DE TELECOMUNICAÇÕES - ATIS. **Next generation network (NGN) framework part I: NGN definitions, requirements, and architecture**. Technical report, ATIS, 2004.

AURÉLIO Marco; PACHECO C., (1999). **Algoritmos Genéticos: princípios e aplicações. ICA: Laboratório de Inteligência Computacional Aplicada**. Disponível em: <ica.ele.puc-rio.br/Downloads/38/CE-Apostila-Comp-Evol.pdf>. Acesso em 04 Jan. de 2011.

BERRY, John; O'SHEA, Tim. **Assessing Mathematical Modelling**. In: International Journal of Mathematical Education Science and Tecnology. V13, n6, 1982.

BREMERMANN, H. J.; ROGSON, J.; SALAFF, S. **Global properties of evolution process**. In: Pattee H., Natural Automata and Useful Simulations, p. 3-42, 1964.

CAJA, J. **Optimization of IPTV multicast traffic transport over next generation metro networks**. Telecommunications Network Strategy and Planning Symposium, 2006. NETWORKS 2006. 12th International, pages 1-6.

CHENGJUN, X. e SANPING, L. **Digital rights management solutions based on IPTV DRM**. Networking and Digital Society (ICNDS), 2010.

CHUNG-HUA, H.; CHIA J. H.; SHUN-HSING H.; LIN, Y; HSU, C e FANG, T. **Home Network Management for IPTV Service Operations - A Service Provider Perspective**. IEEE, 2010.

CISCO. **Cisco solutions for IPTV**. Disponível em: < www.cisco.com/go/iptv/ >. Acesso em: 17 agosto, 2011.

COMUNIDADE GINGA. **Sobre o ginga**, 2006. Disponível em: <<http://www.ginga.org.br/sobre.html>>. Acesso em: 14 mar. 2011.

COMPUTER SCIENCE. **Tutorial: Install ns-3 in Windows 7 using cygwin**. Disponível em: <<http://www.jasonernst.com/2010/04/15/ns-3-7-1-windows-7-cygwin/>>. Acesso em: 29 set. 2011.

CPqD. **Arquitetura de referência. PD.30.12.34A.0001A/RT13/AA**. CPqD, Campinas, p. 46, 2006.

CRUZ, R. S. e NUNES, M.S. **SIP based IPTV architecture for heterogeneous networks. ConTEL 2009**. 10th International Conference, p. 421-428, 2009.

DONGYU, Q. **On the QoS of IPTV and Its Effects on Home Networks**. International Journal of Digital Multimedia Broadcasting, p. 5, 2010.

DRIDI, I. H.; KAMMARTI, R.; KSOURI, M e BORNE, P. **A Genetic Algorithm for the Multi- Pickup and Delivery Problem with time windows**. Information Control Problems in Manufacturing, v. 13, p. 1-17, 2010.

ETHEREAL, **Powerful Multi-Platform Analysis**. Disponível em <<http://www.ethereal.com>>, acesso em 7 ago. de 2011.

GALAFASSI, C. **Aplicação de Metaheurísticas na Abordagem do Problema de Roteamento de Veículos**. Programa Interdisciplinar de Pós-graduação em Computação Aplicada – PIPCA mestrado acadêmico proposta de dissertação. São Leopoldo, p. 113. 2010.

GAREY, M. R.; JONHSON, D. S. **Computer and intractability: a guide to the theory of NP-completeness**. W.H Freeman and Company, p. 338, 1979.

GEIGER, M. **Genetic Algorithms for multiple objective vehicle routing**. Proceedings of the Metaheuristics International Conference, p. 349-353, 2008.

GENDREAU, M.; POTVIN, J. **Metaheuristics in Combinatorial optimization**. Annals of Operations Research, v. 140, p. 189-213, 2005.

GLOVER, F. **Future paths for integer programming and links to artificial intelligence**. Computers and Operations Research, v. 1, p. 533-549, 1986.

GLOVER, F. **Tabu Search - Parte 1**. ORSA - Journal on Computing, v. 1, n. 3, 1989.

GLOVER, F. **Tabu Search - Parte 2**. ORSA Journal on Computing, v. 2, n. 1, 1990.

GLOVER, F.; JAMES, P.; LAGUNA, M. **Genetic Algorithms and Tabu Search: Hybrids for Optimization**. Elsevier Science Ltd, IEEE Transactions on Evolutionary Computation, v. 22, n. 1, p. 111-134, 1994.

GLOVER, F.; KOCHENBERGER, G. A. **Handbook of Metaheuristics**. [S.l.]: Kluwer Academic Publishers, 2003.

GLOVER, F.; LAGUNA, M. **Tabu Search**. Kluwer Academic Publishers, 1997.

GOLDBERG, D. **Genetic Algorithms in Search Optimization and Machine Learning**. Addison-Wesley, 1989.

GÓMEZ, A. T.; GLUZ, J. C.; BARBOSA J. L. V.; CHIWIACOWSKY, L.; ÁVILA R. B.; CRESPO, S. C. S. P.; MORENO, E. I. e MARTINS, M. G. **Especificação técnica e sistêmica - plataforma de convergência digital iptv/tv digital**. São Leopoldo, 2010. ISSN 2332/09.

GRAZIANO, D. C. **Tecnologia e mercado da IPTV**. Sociedade Brasileira de Estudos Interdisciplinares da Comunicação (INTERCOM), 2009.

HALLAM, M.; RARICK, T. **Video Transport and Distribution for IPTV Networks**. National Fiber Optic Engineers Conference, 2007.

HAN, S.; NEHIB, G. **IPTV transport architecture alternatives and economic considerations**. Communications Magazine IEEE , v. 46, n. 2, p. 70-77, 2008.

HEZMI, A.; RIEDE, C.; FRIEDRICH, O.; ARBANOWSKI, S.; MAGEDANZ, T. **Cross fertilization of IMS and IPTV services over NGN.** First ITU-T Kaleidoscope Academic Conference, p. 153–160, 2008.

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. **Introduction to Operations Research.** McGraw-Hill: Boston MA. , n. 7, 2001.

HOLLAND, J. H. **Adaptation in Natural and Artificial Systems.** [S.l.]: MIT Press Cambridge, 1992.

HU, X. B., DI PAOLO, E. **An Efficient Genetic Algorithm with Uniform Crossover for the Multi-Objective Airport Gate Assignment Problem.** Evolutionary Computation, p.55-62, 2007.

HWAN, S.S., e SHOGUN, A.W. **Modelling and solving an FMS part selection problem.** International Journal of Production Research, 27, 1349-1366, 1989.

ITU-T. **H.264 - SERIES H: Audiovisual and multimedia systems.** 2007.

ITU-T STUDY GROUP,. **Very high speed digital subscriber line transceivers 2 (VDSL2).** International Telecommunication Union, fev. 2006. Disponível em:<http://www.itu.int/rec/T-REC-G.993.2-200602-l/en>. Acesso em: 23 agost. 2011.

KIM, H. J.; CHOI, S. G. **A study on a QoS/QoE correlation model for QoE evaluation on IPTV service.** Advanced Communication Technology (ICACT), p. 1377-1382, 2010.

KIM, H. J., LEE, D. H., LEE, J. M., LEE, K. H., LYU, W., CHOI, S. G., **The QoE Evaluation Method through the QoS-QoE Correlation Model,** Gyeongju, 2008.

KUKHMAY, Y., GLASMAN, K., PEREGUDOV, A., e LOGUNOV, A. **Video over IP networks: Subjective assessment of packet loss.** Consumer Electronics, 2006. ISCE '06. IEEE Tenth International Symposium on, pages 1–6, 2006.

KUSIAK, A., DORF, A., e RICHARD, C. **Handbook of Design, Manufacturing and Automation.** John Wiley and Sons, Inc., page 1042, 1994.

LAGENDIJK, E E. J. DELP. **Advances in digital video content protection**. Proceedings of the IEEE, v. 93, n. 1, p. 171–183, 2005.

LEE, C. S. **IPTV over Next Generation Networks in ITU-T**. Broadband Convergence Networks, p. 1–18, 2007.

LEVI ELISA DAS GRAÇAS SILVA. **Estudo da aplicação do algoritmo job shop em uma linha de laminação, de uma empresa siderúrgica**. Monografia Administração Empreendedora do Centro Universitário do Leste de Minas Gerais – UNILESTE_MG, Bacharel em Administração, 2007.

LIU, K.; LITTLE, M. **The Many Faces of IPTV and Internet TV Services: A Taxonomy**. 2010.

MARIE, J.; KLYM, N.; MIRLACHER, T. **The future of IPTV**. Springer Science, 2010.

MICHALEWICZ, Z. **Genetic Algorithms+Data Structures=Evolution Programs**. Springer-Verlag, 1994.

MOOD, A. M.; Graybill, F.A.; Boes, D.C. **Introduction to the theory of statistic**. McGraw-Hill, 1974, 564p.

MINOLI, D. **IP multicast with application to IPTV and mobile DVB-H**. [S.l.]: John Wiley & Sons, inc., 2008.

MÜLLER, G. I. **Utilização da Busca Tabu para a geração de um modelo aplicado ao Job-shop Scheduling Problem Considerado um problema de manufatura flexível**. Dissertação (Mestrado em Computação Aplicada) – Programa interdisciplinar de Pós-Graduação em Computação Aplicada. Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, RS, 2006.

NETO, A. F. **Uma Avaliação dos Mecanismos de Transmissão de Tráfego para IPTV**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2009.

NAKAHATI, Y. W., OLIVEIRA, F. A. R., LIMA S., **Padrões para redes sem fio (IEEE 802.11x WLAN)**. Brasília, 2006.

NS-3 Project-1. **Background.** Disponível em: <
<http://www.nsnam.org/docs/release/3.10/tutorial/html/tracing.html>>. Acesso em: 16
out. 2011.

NS-3 Project-2. **NS-3 Documentation.** Disponível em: <
<http://www.nsnam.org/docs/release/3.12/doxygen/index.html>>. Acesso em: 10 out.
2011.

NS-3 Project-3. **NS-3 Model Library.** Disponível em: <
<http://www.nsnam.org/docs/release/3.11/models/html/index.html>>. Acesso em: 26
out. 2011.

NS-3 Project-4. **Welcome to ns-3's tutorial.** Disponível em: <
<http://www.nsnam.org/docs/release/3.10/tutorial/html/index.html>>. Acesso em: 5 out.
2011.

O'DRISCOLL, G. **Next generation IPTV Services and Technologies.** New
Jersey: Wiley-Interscience, 2008.

OBARIDOA O. B. **On building a successful IPTV business model based
on personalized IPTV content & services.** Communications and Information
Technology, p. 809-813, 2009.

OPEN IPTV FORUM. **OIPF-T1-R2-Functional Architecture.** Disponível em:
<www.oipf.tv>. Acesso em: 11 maio. 2011.

OSMAN, I. H.; LAPORTE, G. **Metaheuristics: A bibliography.** Annals of
Operations Research, v. 63, p. 513-628, 1996.

PADMANABHAN V.N e SUBRAMANIAN L. **An investigation of geographic
mapping techniques for *Internet* hosts.** In SIGCOMM '01: Proceedings of the 2001
conference on Applications, technologies, architectures, and protocols for computer
communications, pp. 173–185, New York, NY, USA, 2001.

PADMANABHAN V.N., WANG H.J., CHOU P.A., E SRIPANIDKULCHAI K.
Distributing streaming media content using cooperative networking. In
NOSSDAV '02: Proceedings of the 12th international workshop on Network and

operating systems support for digital audio and video, pp. 177–186, New York, NY, USA, 2002.

PALMER, S. **Television disrupted: the transition from network to networked TV**. Focal Boston, 2008.

PINHEIRO, J. M. S. **Infra-estrutura elétrica para rede de computadores**. Editora: Ciência Moderna Ed. 1, 304p, 2008.

PINTO, A.; RICARDO, M. **Secure multicast in IPTV services**. Computer Networks, p. 1531-1542, 2010.

POLTOSI, M. R. **Elaboração de escalas de trabalho de técnicos de enfermagem com Busca Tabu e Algoritmos Genéticos**. Dissertação apresentada à Universidade do Vale dos Sinos, p. 150, Março 2007.

PORTILHO, L. M. P. **Aplicação do problema de job-shop scheduling em aciarias**. Monografia (Graduação de engenharia de produção). Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora, MG, 2007.

RAMÍREZ-ACOSTA, A. A.; VÁZQUEZ M.S. **IPTV Technology and Its Distribution in Home Networks**. Electronics, Robotics and Automotive Mechanics Conference (CERMA), p. 287-291, 2010.

RODRIGUES, Antônio G. **Análise do comportamento dos tempos de produção em um sistema de manufatura flexível em um problema de escalonamento em Job-shop: Abordagem utilizando conceito de caminho crítico**. Dissertação (Mestrado em Computação Aplicada) – Programa interdisciplinar de Pós-Graduação em Computação Aplicada. Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, RS, 2007.

RODRIGUES, M. E. DA COSTA. **Redes WiMAX – Aspectos de Arquitetura e Planejamento**. Disponível em: < www.wirelessbrasil.org/wirelessbr >. Acesso em: 11 maio. 2011.

SCHULZRINNE, H. **Real Time Streaming Protocol: RFC 2326**. [S.l.]: Internet Engineering Task Force, Network Working Group, 1998.

SHIHAB, E. e CAI, L. **IPTV Distribution Technologies in Broadband Home Networks**. Electrical and Computer Engineering, CCECE Canadian Conference on , vol., no., pp.765-768, 22-26, 2007.

SILVERSTON, T. **Traffic analysis of peer-to-peer IPTV communities**. Journal Computer Networks, v. 53, n. 4, 2009.

SIMAS, E. P. L. **Utilizando Busca Tabu na Resolução do Problema de Roteamento de Veículos**. Dissertação (Mestrado em Computação Aplicada) – Programa interdisciplinar de Pós-Graduação em Computação Aplicada. Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, RS, 2007.

SIMAS, E. P. L.; GOMEZ, A. T. **Comparying a tabu search process - using and not using an intensification strategy to solve the vehicle routing problem**. ICINCO-ICSO, p. 77-84, 2007.

TAESEOK, K.; HYOKYUNG, B. **Implementation of the storage manager for an IPTV Set-Top-Box**. Consumer Electronics, IEEE Transactions , v. 54, n. 4, p. 1770-1775, 2008.

TANENBAUM, A. **Computer Networks**. [S.I.]: 4th. ed. Upper Saddle River: Prentice-Hall, 2003.

TELECO – Inteligência em Telecomunicações , **IPTV: Qualidade do Serviço**. Disponível em: < http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialqosqoe/pagina_2.asp>. Acesso em: 5 Ago. 2012.

THE NETWORK SIMULATOR, **The Network Simulator ns-2**. 2003. Disponível em: <<http://www.isi.edu/nsnam/ns/>>. Acesso em: 15 jun. 2011.

THE NETWORK SIMULATOR, **The Network Simulator ns-3**. 2009. Disponível em: < <http://www.nsnam.org>>. Acesso em: 5 Ago. 2011.

TOMARI, Y.; ISHII, N.; YAMAGUCHI, K. e KAJIMURA, M. **Design and implementation of Internet-TV**. Consumer Electronics, IEEE, v. 43, n. 3, p. 953-960, 1997.

TRACE FILE. **MPEG-4 and H.263 Video Traces for Network Performance Evaluation.** Disponível em: <<http://trace.eas.asu.edu/TRACE/trace.html>>. Acesso em: 11 out. 2011.

UGALDE, J. B.; HUICI., I. A. **Convergence in Digital Home Communications to Redistribute IPTV and High Definition Contents.** Consumer Communications and Networking Conference , 2007.

VIANA, V. **Metaheurísticas e Programação Paralela em Otimização Combinatória.** Fortaleza: EUFC, 1998.

VLC, **VLC media player.** Disponível em: <<http://www.videolan.org/vlc>>. Acesso em: 10 Set. 2010.

VOLK, M.; Guna J, Kos, A e Bester, J. **IPTV Systems, Standards and Architectures: Part II - Quality-Assured Provisioning of IPTV Services within the NGN Environment.** Communications Magazine IEEE, v. 46, n. 5, p. 118–126, 2008.

WALKO, J. **I Love My IPTV.** IEE Communications Engineer, 2005. 16- 19.

WEISSHEIMER JÚNIOR, C. A. ; GÓMEZ, A. T . **Um modelo computacional híbrido para análise da transmissão sobre o *Internet Protocol television* (IPTV).** In: X Simpósio de Informática da Região Centro/RS, 2011, Santa Maria. X Simpósio de Informática da Região Centro/RS 2011, 2011. v. 1. p. 38-43.

WEISSHEIMER JÚNIOR, C. A. ; GÓMEZ, A. T ; Wickert, T I . **Aplicação de um algoritmo genético para o modelo Internet Protocol Television (IPTV).** In: 9 ERRC Escola Regional de Redes de Computadores, 2011, São Leopoldo. 9 ERRC Escola Regional de Redes de Computadores. Sociedade Brasileira de Computação (SBC), 2011. v. 1. p. 95-99.

XIANZHANG, F.; WEITAO, N.; CHENG, J. **Design of module software for IPTV Set-Top-Box.** International Conference Test and Measurement, v. 2, p. 272-275, 2009.

YARALI, A.; CHERRY, A. *Internet Protocol Television (IPTV)*. Proceedings of the TENCON 2005 - IEEE International Region 10 Conference., pages pp.1–6, 2005.