



ESTUDO DE COMPENSAÇÃO DE GANHO (ULPC – UPLINK POWER CONTROL) EM BANDA KA DURANTE EVENTO DE CHUVA

Caio Cesar Goulart Bomfim*¹, Ugo Dias Silva²

¹FT – Universidade de Brasília

²FT – Universidade de Brasília

Resumo - O objetivo deste artigo é apresentar o mecanismo ULPC (“Uplink Power Control”) amplamente utilizado na transmissão de estações terrestres, no âmbito das comunicações via satélite, para compensação de efeitos de perdas devido à chuva e perdas atmosféricas. A abordagem deste artigo levará em conta dois cenários, o teórico e o real, utilizando, para o último caso, dados da antena Gateway de Florianópolis com 13m de diâmetro utilizada para prover acesso à internet em território brasileiro.

Palavras-Chave – Banda Ka, Ganho, SATCOM, ULPC.

STUDY OF THE GAIN COMPENSATION (ULPC – UPLINK POWER CONTROL) IN KA BAND DURING RAIN EVENT

Abstract - The objective of this document is to present the ULPC mechanism widely used in transmission of ground stations in the scope of satellite communications to compensate rain and atmospheric losses. The approach of this document will take into account two scenarios, the theoretical one and the real one, using, considering the last case, data from Florianópolis 13m diameter antenna used to provide internet access in Brazilian territory.

Keywords – Compensation, Gain, Ka Band, SATCOM, ULPC.

I. INTRODUÇÃO

As comunicações via satélite têm se tornado uma grande aliada na expansão dos serviços de telecomunicações não só no Brasil, como em todo o mundo. Em países de dimensões continentais e com uma deficiência notável no acesso à Internet, como é o caso do Brasil, as comunicações via satélite têm sido uma das principais tecnologias escolhidas para a disseminação de serviços de internet e implementação de políticas públicas de acesso à informação e inclusão digital em regiões remotas ou sub atendidas por meios cabeados.

Nos últimos dez anos, a quantidade de satélites que oferecem cobertura sobre o território brasileiro tem aumentado de forma expressiva, principalmente para atendimento de escolas rurais, Unidades Básicas de Saúde e propriedades

rurais. O país, com dimensões continentais e com um déficit de acesso à internet em 17,3% dos domicílios [1], sendo que a maioria desses domicílios se localizam na região Norte, Nordeste e Centro-Oeste do país e são localidades onde, geralmente, não há viabilidade econômico financeira para que as operadoras de serviços de telecomunicações cabeados invistam na construção e expansão das redes. Dessa forma, o acesso proporcionado através das comunicações via satélite, se destaca como sendo um dos mais promissores, de maior capilaridade e instalação rápida, podendo levar acesso à serviços de comunicação de forma bastante eficaz à essas localidades mais isoladas.

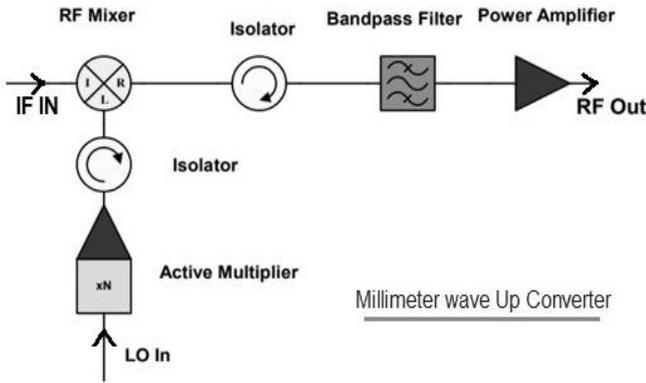
No Brasil, para tráfego de internet, os satélites que operam em banda Ka (27 a 30GHz) são os principais fornecedores de acesso à internet em localidades onde as redes cabeadas não chegam ou são de má qualidade. O grande desafio para satélites que operam nessa faixa de frequência é garantir a comunicação mesmo em condições de chuva, uma vez que os sistemas de radiofrequência que operam em banda Ka, embora de grande capacidade, costumam apresentar baixa resiliência em cenários climáticos adversos. Como o Brasil é um país tropical, que tem índices pluviométricos consideráveis, em algumas regiões como a Amazônia, a utilização da Banda-Ka pode causar problemas de baixas velocidades, aumento de latência e indisponibilidade em períodos chuvosos.

Para mitigar ou minimizar esse problema, sistemas com ULPC (Uplink Power Control) são muitas vezes introduzidos nos sistemas de transmissão das antenas de solo (Gateways), mais precisamente no estágio dos BUCs (Block Up Converters) [2], que têm a função de converter frequência em banda L (900MHz a 2000MHz) para banda Ka e adicionar ganho ao sinal de entrada do estágio, visando regular de forma dinâmica o ganho dos BUCs, baseado na atenuação instantânea que a antena está medindo em sua recepção em determinado instante.

Para compreender melhor como se dão as comunicações via satélite e em qual estágio a técnica de controle do ULPC se encaixa nesse contexto, inicialmente, a Figura 1 foi inserida demonstrando como seria a arquitetura de um oscilador local, que é o principal elemento de um BUC.

Na sequência, a Figura 2 é inserida com o objetivo de contextualizar, dentro do panorama e arquitetura típicos de um sistema de comunicações via satélite, como a implementação da tecnologia discutida no escopo desse artigo influencia no desempenho global das comunicações de rádio frequência.

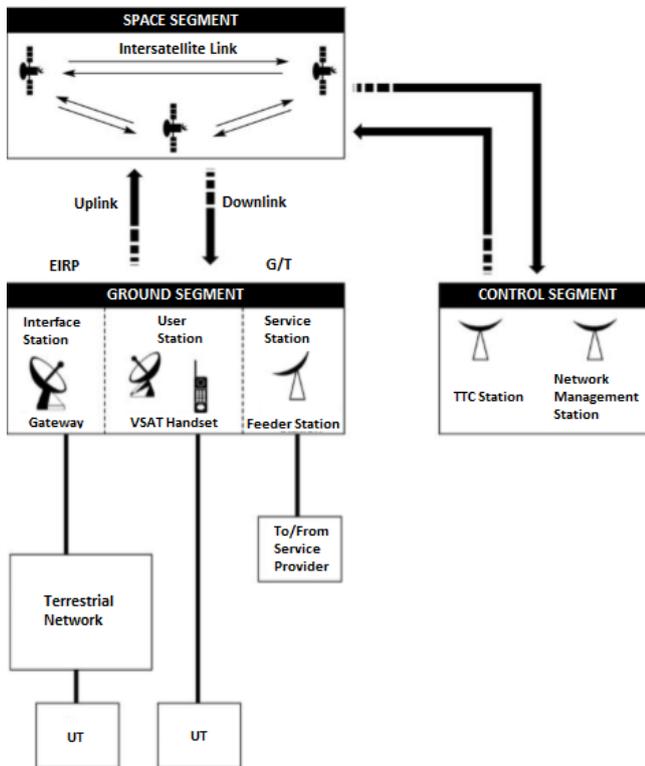
Figura 1: Arquitetura básica de um *Up-converter*



Fonte: *RF Wireless World*, “Millimeter wave up converter design”, Acedido em Agosto de 2021, em: <https://www.rfwireless-world.com/Articles/Millimeter-wave-up-converter-and-down-converter-design.html>

A Figura 1 demonstra o princípio básico de funcionamento de um oscilador local que, como explicado é o elemento principal contido em um BUC. O sinal de entrada, exemplificado na Figura 1 por “*IF IN*” passa por um misturador que adiciona ao sinal de entrada, o sinal “*LO In*”. Esse processo é o princípio básico utilizado para elevar a frequência de um sinal em banda L (“*IF IN*”), para a Banda Ka (“*RF Out*”). Após a translação de frequência, é adicionado um filtro passa faixa a fim de garantir que frequências indesejadas serão removidas antes do estágio de amplificação (“*Power Amplifier*”). Por fim, tem-se o sinal “*RF Out*” transladado em frequência e amplificado.

Figura 2: Arquitetura de um sistema de comunicações via satélite.



Fonte: MARAL, Gerard e BOUSCHET, Michel, “Satellite Communications Systems: Systems, Techniques and Techonology”, Wiley, pp 03, Agosto de 2011.

Já a Figura 2 demonstra a arquitetura típica de um sistema de comunicações via satélite, sendo este composto por três sub-sistemas: *Segmento Espacial*, *Segmento de Controle* e *Segmento de Solo*.

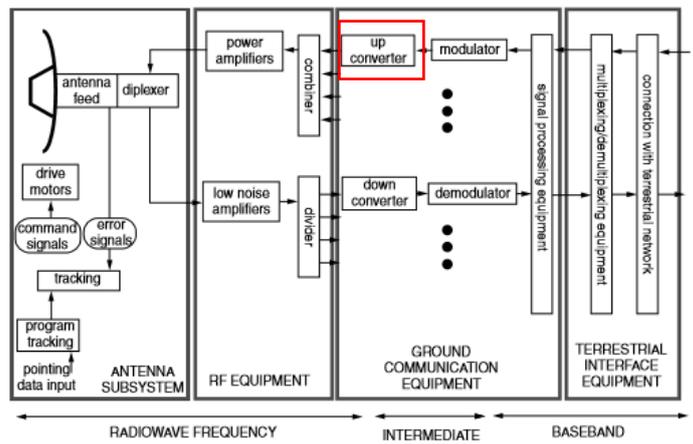
O *Segmento Espacial* contempla toda a estrutura relacionada ao satélite, que por sua vez é composto de dois módulos, sendo eles, *Serviço e Comunicação (Carga Útil)*.

O *Segmento de Controle* contempla todas as funções *TTC* (“*Tracking Telemetry and Command*”) que visam controlar e manter o satélite em órbita, juntamente com a função de *NMS* (“*Network Management System*”) que monitora e gerencia todos os recursos do satélite.

Por fim, o *Segmento de Solo*, que é o segmento onde este artigo ira se concentrar, contempla as antenas *Gateways* que fazem a interface entre a rede terrestre, rede satelital e terminais de usuários.

Toda a técnica e implementação do ULPC ocorre no Segmento de Solo (*Ground Segment*), mais precisamente dentro da antena *Gateway* no estágio dos *Up Converters*. Para exemplificar um sistema de transmissão e recepção de uma antena *Gateway*, a Figura 3 foi inserida.

Figura 3: Estágios e equipamentos típicos de uma antena de *Gateway*.



Fonte: MARAL, Gerard e BOUSCHET, Michel, “Satellite Communications Systems: Systems, Techniques and Techonology”, Wiley, pp 364, Agosto de 2011.

Como o ULPC e a análise aqui desenvolvida impacta apenas o caminho do enlace direto, embora apresentado na Figura 3, o caminho reverso do enlace das comunicações via satélite não será discutido no escopo deste artigo.

Definido o que é o ULPC, sua função, e descrita a arquitetura de uma estação de solo típica, objetiva-se mostrar, através de dados colhidos de uma antena *Gateway* do satélite SGDC-1 (Satélite Geoestacionário de Defesa e Comunicações Estratégicas) o quão, e até que ponto, o ULPC é eficaz em compensar, no enlace direto, perdas atmosféricas observadas no enlace reverso.

II. METODOLOGIA

Os sistemas de ULPC utilizam da medida de atenuação do *beacon*, constantemente monitorado por um equipamento chamado de “*Tracking Receiver*”. Esse equipamento fornece a medida de potência do *beacon* para diversos equipamentos,

entre eles o controlador dos BUCs. Este, por sua vez, processa a informação recebida da potência do *beacon* e mensura o quanto de ganho, ou redução de atenuação, deve ser aplicado na cadeia de transmissão, mais precisamente no estágio dos BUCs, para compensar a atenuação adicional provocada por algum fenômeno atmosférico como a chuva.

O *beacon* é um sinal de referência e que tem suma importância para o desempenho de diversas funções que envolvem os seguimentos espaciais, de solo e de controle, como: apontamento dinâmico da antena, estimação da distância do satélite (*Ranging*), estimação da atenuação do sinal que é recebido pela antena (*Return Downlink*) e etc. Baseado nesta última função, após determinado período de operações da antena em cenário de céu claro (*Clear Sky*), onde não há chuva, nuvens, nem condições atmosféricas ou climáticas que impliquem na atenuação do sinal de *beacon* recebido pela antena, faz-se uma análise desses níveis e é configurado no estágio BUCs o valor referência de “*Clear Sky*”, ou seja, o valor do sinal de *beacon* que a antena espera receber do satélite em condições de céu claro.

A partir desse valor de referência configurado, o sistema de controle dos BUCs interpreta que, quando o nível do *beacon* recebido pela antena é reduzido, é necessário reduzir a atenuação interna dos BUCs de forma a aumentar o ganho de transmissão e compensar a perda adicional que pode ser causada por: desapontamento da antena, humidade, nuvens, chuva e etc.

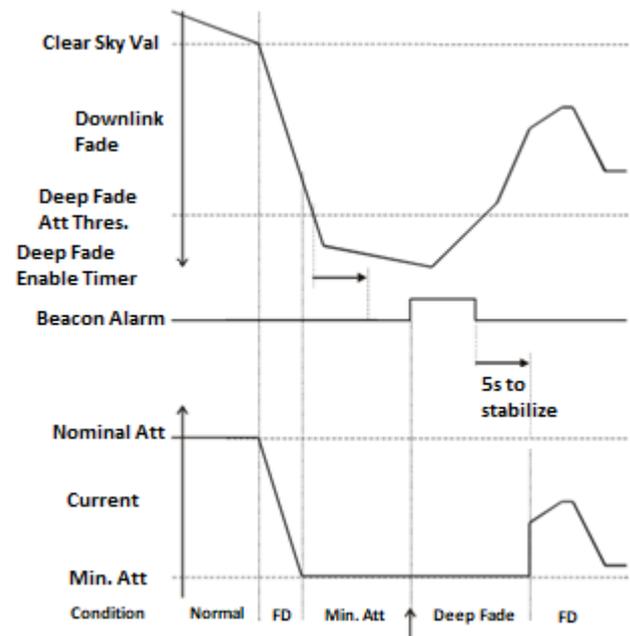
Visando analisar até que ponto o ULPC é capaz de compensar perdas e manter o IPFD (“*Input Power Flux Density*”) constante na entrada dos alimentadores do satélite, o estudo desenvolvido neste artigo propõe a análise de alguns eventos em que o mecanismo é utilizado, como ele é ativado e qual o impacto na potência transmissão dos amplificadores de alta potência (*HPA* – “*High Power Amplifiers*”) das antenas de solo.

O principal objetivo em se utilizar nas antenas de comunicação conversores de frequência que possuem a função ULPC, é garantir ao usuário final uma disponibilidade satisfatória e um nível de serviço mínimo, mesmo em dias nublados ou com chuva. Esse nível de serviço é mantido, até certo ponto, pela capacidade do ULPC em compensar as atenuações devido à chuva e atmosféricas e manter, na recepção do satélite, um nível constante de energia.

Quando o evento climático é muito intenso, como ocorrem em países tropicais, o ULPC sozinho pode não ser capaz de compensar as atenuações, então outras técnicas adicionais também são utilizadas, como por exemplo a adoção de padrões que utilizem modulações adaptativas, como por exemplo o DVB-S2 (“*Digital Video Broadcasting – Satellite – Second Generation*”). No escopo deste artigo, será estudado e demonstrado apenas a atuação do ULPC nas cadeias de comunicação.

Explicado mais detalhadamente o mecanismo do ULPC e como ele atua durante cenários de adversidade, antes de apresentar os resultados, cabe uma última explicação acerca do mecanismo de compensação de potência através da redução da atenuação interna dos BUCs. A Figura 4 exemplifica como o BUC utilizado neste estudo, dinamicamente, controla sua atenuação interna mediante ao recebimento do sinal de *beacon*.

Figura 4: Funcionamento do ULPC.



Fonte: Work Microwave (2015), “*Redundancy Switch n:1, Types RSCM-n/RSCC-2,RSCC-8, with options UPC, VFD, OD – User Manual – Operation Installation and Maintenance*”, pp 58.

Interpretando a figura, pode-se observar que, a partir do momento que o sinal de *beacon* começa a reduzir devido a algum evento atmosférico e que é ultrapassado o limite superior de atenuação do *beacon*, o ULPC começa a atuar reduzindo a atenuação interna dos BUCs até o limite mínimo possível (“*Min. Att*”). Este valor é configurado na implantação e na fase de testes da antena a fim de não saturar nenhum outro equipamento da antena nem o “*Transponder*” de recepção do satélite. Vale observar que, quando atingida a mínima atenuação configurada, mesmo que o sinal do *beacon* continue a cair devido a um evento climático de maior intensidade, o BUC não reduz mais a sua atenuação interna.

Quando o sinal do *beacon* volta a subir com a passagem gradual de algum efeito atmosférico, após o tempo de estabilização, a atenuação do BUC retorna gradativamente e, dentro da zona entre o limite superior de atenuação do *beacon* e o limite mínimo de atenuação configurado e calibrado (“*Min. Att*”), a curva que demonstra a atenuação interna possui o mesmo comportamento da curva que representa a oscilação no valor do *beacon*.

Um último ponto que vale ser destacado é que, como o sinal do *beacon* é um sinal que é transmitido pelo satélite e recebido pelas estações de solo, do ponto de vista das “*Gateways*”, trata-se de um sinal de recepção localizado na faixa baixa da banda Ka (18 a 20 GHz). Como a compensação da potência de transmissão é feita no caminho de “*uplink*” da antena, e dado que a frequência de transmissão da banda Ka se situa na faixa de 27 a 30 GHz, a relação entre a potência degradada recebida e a potência compensada transmitida, não é de 1 para 1 pois, em frequências mais altas, o efeito da atenuação atmosférica é bem mais intenso que em regiões de frequências mais baixas[3]. Portanto, configura-se nos BUCs a relação

“uplink/downlink”, que é a relação entre o sinal recebido do *beacon* e o ganho adicional (ou redução da atenuação) necessário a ser aplicado nos BUCs.

A recomendação ITU-R P.618-8, capítulo 2.2.1.2 propõe calcular a atenuação devido à chuva em f_2 dependendo da atenuação verificada em f_1 [4]. Para realizar essa análise na faixa de frequência em banda Ka, a equação abaixo pode ser utilizada.

$$\frac{A_2}{A_1} = \left(\frac{f_2}{f_1}\right)^{1,78} \quad (1)$$

Onde:

- A_1 - Atenuação do sinal medida na frequência do *beacon*
- A_2 - Atenuação do sinal medida na frequência média da faixa de *uplink*
- f_1 - Frequência do *beacon*
- f_2 - Frequência média da faixa de *uplink*

A Equação (1), pode ser utilizada como alternativa ao modelo ITU-R P.618-8 assegurando um desvio máximo na razão ganhos de mais ou menos 0,6[5], portanto, para implementação na antena que foi utilizada para demonstrar o comportamento do ULPC, este método simplificado foi utilizado para calcular a relação “uplink/downlink” a ser configurada nos BUCs.

De acordo com o manual do fabricante do BUC utilizado para obter os resultados apresentados neste artigo, a Equação (1) pode ser utilizada quando a frequência de *Uplink* é utilizada para f_2 , e a frequência do *beacon* é utilizada para f_1 [6].

Como a frequência do *beacon* no SGDC é de 19,6GHz e a faixa de frequências de subida é de 27 a 29,250GHz, para critério de dimensionamento da razão a ser utilizada, escolheu-se o valor médio das frequências de subida, ou seja, 28,125GHz (f_2). Em posse deste valor e do valor de frequência do *beacon* (f_1), pode-se calcular a relação “uplink/downlink” através da equação (1), resultando em 1,9. Aplicando-se uma margem de 5%, adotou-se, na configuração do equipamento, uma relação de 2 para a razão explanada pela equação (1).

A antena utilizada para demonstrar o comportamento do ULPC durante eventos de chuva e atenuação atmosférica é uma antena “Gateway” de 13m de diâmetro localizada na cidade de Florianópolis.

Durante o comissionamento dessa antena, a relação “uplink/downlink” calculada e programada, conforme citado anteriormente, foi de 2, ou seja, para cada 1dB de atenuação verificado no “downlink – beacon”, a atenuação dos BUCs é reduzida em 2dB, implicando em 2dB de ganho adicionais introduzidos na cadeia de transmissão a fim de manter, na entrada do satélite, o mesmo nível de potência considerado em cenário de “Clear Sky” até o limite de atenuação mínima também configurado na fase de comissionamento.

III. RESULTADOS

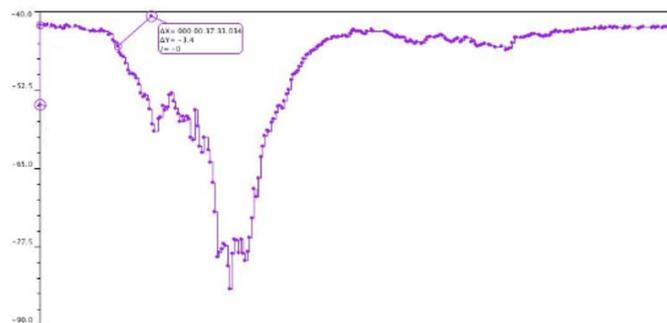
Visando demonstrar o comportamento do funcionamento do ULPC em cenário de *clear sky* e em condições de chuva, foram extraídos dados de telemetria da ferramenta de gerência

(“Magnet”) das estações durante um evento de chuva, ocorrido em 27/09/2020, na estação “Gateway” de Florianópolis.

O “Magnet” é um software fornecido pela empresa espanhola “GMV” e é amplamente utilizado em operadoras de satélite para controlar, monitorar e obter dados de telemetria de todos os equipamentos presentes nas estações de solo[7].

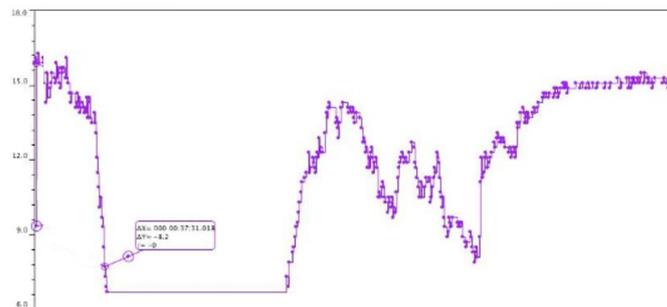
Nas figuras abaixo estão retratados os comportamentos de variação de potência recebida do *beacon*, redução automática da atenuação interna dos BUCs e o respectivo aumento na potência de transmissão (devido à redução da atenuação) durante evento de chuva ocorrido em 27/09.

Figura 5: Atenuação do *beacon* em chuva de 27/09.



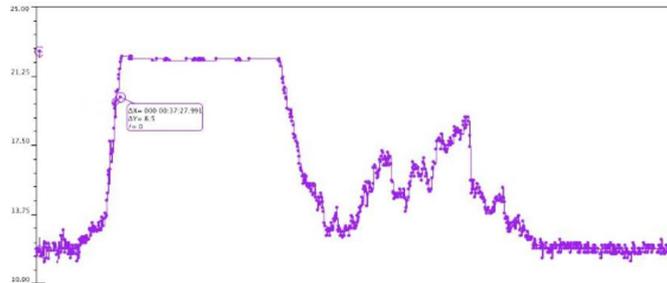
Fonte: Magnet – HiFly Views – Signal Strength

Figura 6: Redução da atenuação interna dos BUCs em chuva de 27/09.



Fonte: Magnet – HiFly Views – BUC Att

Figura 7: Reflexo da diminuição da atenuação na potência de transmissão.



Fonte: Magnet – HiFly Views – HPA Output Power

De acordo com as figuras acima, pode-se observar o comportamento gráfico de três parâmetros fundamentais para análise do ULPC. A Figura 5 demonstra a variação da potência

de recepção do *beacon* na antena de Florianópolis, a Figura 6 mostra a variação da atenuação interna do BUC e a Figura 7 demonstra a variação da potência de transmissão na saída do amplificador de alta potência (HPA), sendo este o último elemento ativo da cadeia de transmissão de uma *Gateway*. Todos os gráficos estão em fase e com o período de análise de 2 horas, sendo o horário inicial da análise 23h10 UTC (“*Universal Time Coordinated*”), e o horário final 01h10 UTC.

Em relação aos gráficos contidos nas figuras, nota-se que, com a redução do valor do *beacon* devido à presença de chuva, a atenuação do BUC é reduzida até o limite inferior configurado (Min. Att) no comissionamento da antena, cujo valor é de 6,7dB. Vale observar que, após o BUC atingir essa atenuação mínima, mesmo com o aumento da intensidade da chuva, tanto a atenuação quanto a potência de transmissão, esta última representada pela Figura 7, chegam ao ponto de saturação. Ou seja, após esse ponto, o sistema não é mais capaz de compensar a atenuação devido à chuva e o sistema começa a apresentar reduções de velocidade, ordens de modulação e relação sinal ruído durante esse período de saturação e queda não compensada dos níveis nominais.

Em relação à validação da relação “*uplink/downlink*”, que foi explicada anteriormente e que, para o caso da antena analisada, foi configurada em projeto para o valor de 2, pode-se analisar a seguinte tabela para comparar os valores antes e durante o evento de chuva e validarmos a precisão do valor da relação “*uplink/downlink*” em um cenário operacional real.

Tabela 1: Medições em cenário normal e adverso

	<i>Beacon</i>	BUC Att.
Normal	-42dBm	15,9dB
Adverso	-45,4dBm	7,7dB
Delta	3,4dB	8,2dB

Para os dados extraídos e expostos na Tabela 1, todas as medidas em cenário “Normal” foram extraídas da gerência às 23h10m UTC. Já para as medidas em cenário “Adverso”, que foram extraídas durante o evento de chuva, às 00h37m UTC.

Como objetiva-se calcular a relação entre ganho introduzido no caminho da *uplink*, mediante a uma atenuação verificada no caminho de *downlink*, realiza-se o seguinte cálculo para obter o valor prático sendo, de fato, utilizado pelo sistema.

$$\frac{Uplink}{Downlink} = \frac{\Delta_{BUC\ Att}}{\Delta_{Beacon}} \quad (2)$$

Com os dados obtidos na Tabela 1, através da coleta de dados dos gráficos extraídos do sistema de monitoramento e controle “*Magnet*”, obtém-se uma relação “*uplink/downlink*” de 2,41.

IV. CONCLUSÕES

Analisando os resultados e comparando a relação “*uplink/downlink*” calculada no momento de implantação da antena, utilizando a simplificação recomendada pelo ITU, com a taxa verificada empiricamente com os dados obtidos através do “*Magnet*” durante evento de chuva, observa-se que

esta última apresenta uma relação de 2,41, ou seja, 17% maior que a taxa previamente calculada.

Como citado anteriormente, o cálculo simplificado proposto pelo ITU, pode apresentar uma margem de erro de +/-0,6. Esse valor encontra-se dentro da margem de erro previsto no cálculo simplificado da relação “*uplink/downlink*” explicada anteriormente, onde o valor calculado em comissionamento foi de 1,9, ou seja 0,5 abaixo do que o sistema está, efetivamente utilizando.

Sendo assim, comprova-se o correto dimensionamento e a eficácia do uso do ULPC para mitigar atenuações percebidas de até 5dB no sinal de *beacon*, gerando uma compensação, neste caso particular, de aproximadamente 12dB no sinal de transmissão, aproximando o amplificador de alta potência do seu ponto de saturação, o que pode ser comprovado multiplicando-se a relação “*uplink/downlink*” verificada e calculada através de medições do “*Magnet*” (2,41) com o valor de atenuação do *beacon* (5dB) para o qual os BUCs atingem o patamar de “*Min Att.*”.

No caso do Brasil, onde os índices pluviométricos anuais são consideráveis, o sistema de ULPC demonstra, empiricamente, conforme mostrado neste artigo, adicionar robustez aos sistemas de comunicação via satélite em Banda-Ka, reduzindo consideravelmente indisponibilidades, degradações e lentidão nos serviços ofertados.

Este artigo abordou a eficiência e a capacidade de compensação de efeitos climáticos em Banda Ka, utilizando a técnica de ULPC. Para futuros estudos, pode-se por exemplo incluir dados pluviométricos de diversas regiões no Brasil e analisar para até qual índice pluviométrico o ULPC é eficiente em cada região.

REFERENCIAS

- [1] Instituto Brasileiro de Geografia Estatística (2021). *82,7% dos domicílios têm acesso à internet*. Acedido em 18 de Agosto de 2021, em: <https://www.gov.br/mcom/pt-br/noticias/2021/abril/pesquisa-mostra-que-82-7-dos-domicilios-brasileiros-tem-acesso-a-internet>
- [2] MARAL, Gerard e BOUSCHET, Michel, “*Satellite Communications Systems: Systems, Techniques and Technology*”, Wiley, pp 145-147 Agosto de 2011.
- [3] IPPOLITO, Louis e HERNDON, Jr, “*Satellite Communications Systems Engineering: Atmospheric Effects, Satellite Link Design and System Performance*”, Wiley, pp 345, Agosto 2008.
- [4] ITU, *International Telecommunications Union, Recommendation ITU-R P.618-8, “Propagation data and prediction methods required for the design of Earth-space telecommunication systems”*, pp 06, 2003.
- [5] Work Microwave (2015), “*Redundancy Switch n:1, Types RSCM-n/RSCC-2,RSCC-8, with options UPC, VFD, OD – User Manual – Operation Installation and Maintenance*”, pp 72.
- [6] Work Microwave (2015), “*Outdoor Housing Frequency Converters*”, Acedido em 17 de novembro de 2021, em: https://work-microwave.com/wpcontent/uploads/2019/06/V1_Outdoor_Housings.pdf.
- [7] *GMV Innovation Solutions, (2021), “Magnet – Your Ground Resources Under Control”*, Acedido em 17 de novembro de 2021, em: <https://www.gmv.com/en-es/products/space/magnet>