

4. Multiplexação Óptica no Domínio do Tempo

De modo a atender a grande capacidade de redes totalmente ópticas na era multimídia, multiplexação óptica no domínio do tempo tornou-se essencial para comunicações em altas taxas. A velocidade dos sistemas atuais é basicamente limitada pelos circuitos eletrônicos de comunicação utilizados.

O crescimento previsto na demanda de serviços para banda larga impulsionou pesquisas em redes totalmente ópticas de alta velocidade. Conforme previsto as redes atuais transportam aproximadamente 100 vezes o valor da taxa inicial. Sistemas tais como; SDH, SONET e ATM devido ao elevado volume de tráfego encontram-se escalonados para operarem em 10 Gbps, contudo novos *up-grades* são necessários. A operação em taxas superiores a OC-792[18] são complicadas por fatores físicos e econômicos no projeto de circuitos eletrônicos de comunicação.

Uma tecnologia totalmente óptica é fundamental para o funcionamento do sistema de dois modos. Primeiramente a capacidade das fibras instaladas está longe de ser totalmente utilizada. O potencial pode ser explorado de duas formas: utilizando plataforma WDM onde λ 's são multiplexados em uma fibra, o segundo método utilizado é a transmissão ultra-rápida, com pulsos curtos os quais respondem a bandas largas. O método utilizado para gerar a taxa elevada é multiplexar os tributários diretamente no domínio óptico, tendo-se então a multiplexação óptica no domínio do tempo.

A segunda área de aplicação de tecnologia óptica avançada é o chaveamento e roteamento de pacotes. Atualmente quase todo o processamento de sinais é feito eletronicamente, sendo assim a medida que a taxa de transmissão aumenta a complexidade e o custo de implementação dos sistemas eletrônicos seguem da mesma forma.

O uso da tecnologia OTDM tem demonstrado uma alternativa diferente[19] da plataforma WDM, visto que este utiliza dispositivos os quais podem ser adquiridos comercialmente. Ao passo que a multiplexação óptica ainda

encontram-se no laboratório devido a necessidade de fontes solitônicas, sincronismo para multiplexação e demultiplexação.

As redes ultra rápidas necessitam de transmissões com efeitos não lineares(*sólitons*) como forma de superar a dispersão ocorrida na fibra.

4.1.1.Processamento e transmissão de dados no domínio óptico

De modo a alcançar taxas muito altas em sistemas ópticos TDM, fontes capazes de gerar pulsos curtos da ordem de picosegundos tornaram-se necessárias para taxas de repetição entre 2.5 e 20 GHz[20] métodos mais propícios para geração dos pulsos são: mode locking de lasers , mode locking de EDFA e chaveamento de ganho como explica-se a seguir:

- Chaveamento de Ganho utilizado em laser DFB capaz de gerar pulsos de 5-7 ps com transformada limitada aplicando técnicas de chirp com uso de dispersão normal de fibras com a dispersão deslocada. Pela razão dos pulsos serem facilmente sintonizados, esta tecnologia tem sido aplicada na demultiplexação óptica, extração de *clock* e transmissão de pulsos solitônicos.
- Mode locking de Laser diode é uma outra técnica capaz de produzir pulsos curtos com alta taxa de repetição. Fontes capazes de resfriar os pulsos têm sido desenvolvidas em modelo integrado. A largura esta compreendida em 1 ps com taxas de repetição entre 10 a 350 GHz.
- Mode locking Harmônico de EDFA diferente das outras técnicas esta tem aparecido mais promissora pelo fato de gerar pulsos de transformada limitada na região de 10 GHz sem compensação de chirp ou método de compressão. Como o tamanho da cavidade é pequeno, harmônicos da ordem 1000° são facilmente travados.
- Chaveamento de luz CW com modulador de eletroabsorção utiliza sinal óptico CW modulado pelo tom senoidal baseado na

transmissão não linear do InGaAsP. Pulsos gerados aproximadamente com transformada limitada.

4.1.2. Multiplexação Óptica no Domínio do Tempo

A operação de multiplexação de canais em taxas de 2.5 G para valores elevados[21] é dividida em 3 seções distintas: amostragem, temporização e combinação.

A função amostragem coleta os dados na banda base identificando bit a bit o valor na entrada. A função temporização garante que os dados sejam amostrados nos *bit slots* corretos para o tributário multiplexado. A função combinação garante que todos os dados amostrados na banda base serão multiplexados para uma taxa maior.

Torna-se conveniente utilizar uma fonte capaz de gerar pulsos curtos onde a duração dos mesmos seja menor que o bit slot conforme foi descrito no capítulo 2. Veja a figura 49 abaixo indicando um sistema OTDM.

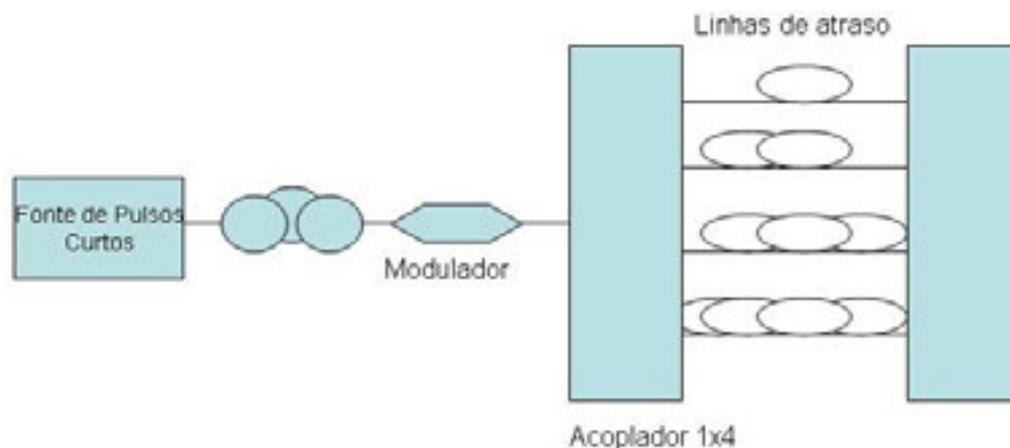


Figura 49 Sistema OTDM montado em bancada

A taxa de multiplexação para o setup[22] experimental desenvolvido está na razão 1:4, com um valor de banda base de 2.5 GHz. Inicialmente os pulsos são modulados por uma seqüência pseudoaleatória e posteriormente divididos por um acoplador. As linhas de atraso foram calculadas de maneira que o sinal multiplexado mantivesse um comportamento não determinístico, ou seja, o dado original seria dividido em 4 caminhos e em seguida recombinado nos valores de atraso com 500, 1000, 1500 e 2000 ps.

Os valores de *delay* são responsáveis pelo arranjo e combinação dos pulsos na saída do combinador. Tal qual mencionado anteriormente no capítulo 1 “a orquestra” além de um regente necessita de uma sincronização[23] para harmonia dos som, neste caso da combinação dos modos e formação dos pulsos.

4.1.3. Medidas de multiplexação óptica

Durante a confecção das linhas de atraso observou-se a precisão no comprimento da fibra é um dos fatores primordiais para que os pulsos não sejam superpostos analisados em um osciloscópio de amostragem como indica a figura 50 abaixo .

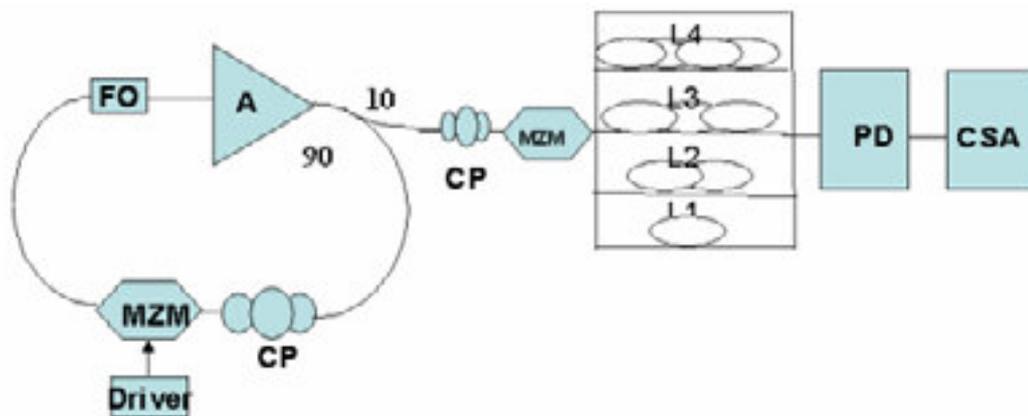


Figura 50 Setup de geração e multiplexação

Os valores das linhas de atraso foram calculados para que haja a independência estatística entre os pulsos pulsos multiplexados. Em uma primeira confecção de linhas de atraso[24] observou-se o fenômeno de *interleaving*, devido a presença de fibras *hi-bi* e modulador na entrada do mux, colocou-se um outro controlador de polarização para otimizar o sinal óptico da entrada. Para análise deste problemas tomou-se um canal 1 como referência de modo a compreender as diferenças tais como largura, duração e valor do atraso do pulso para cada tributário conforme é visto nas figuras a seguir.

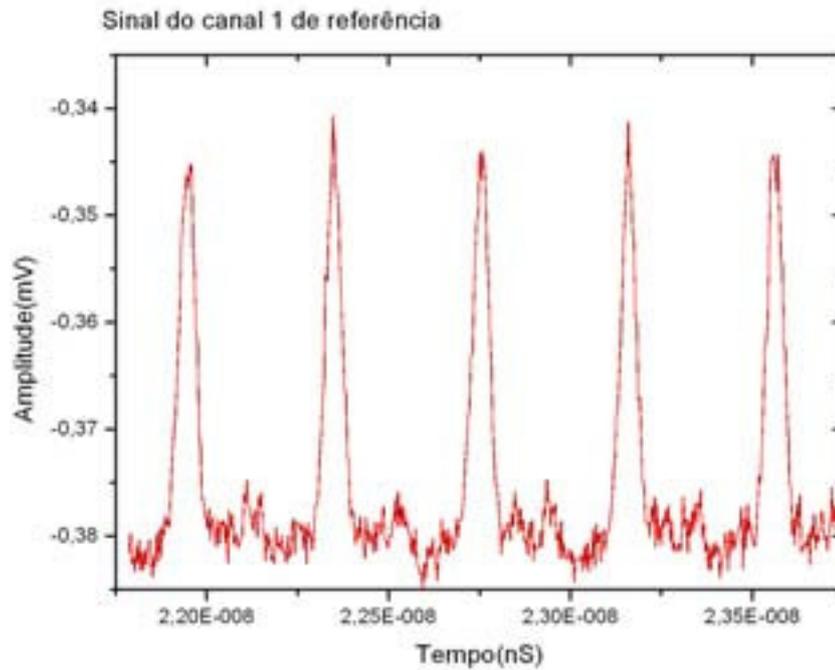


Figura 51 Canal de referência

O canal de referência da figura 51 possui um *delay*(atraso) de 500 ps correspondendo a linha 1 sob a qual todos os valores são comparados. A diferença entre os canais é de 16.2 ps de modo que os pulsos estão sobrepostos. Esta diferença ocorre devido ao erro na confecção de linhas de atraso.

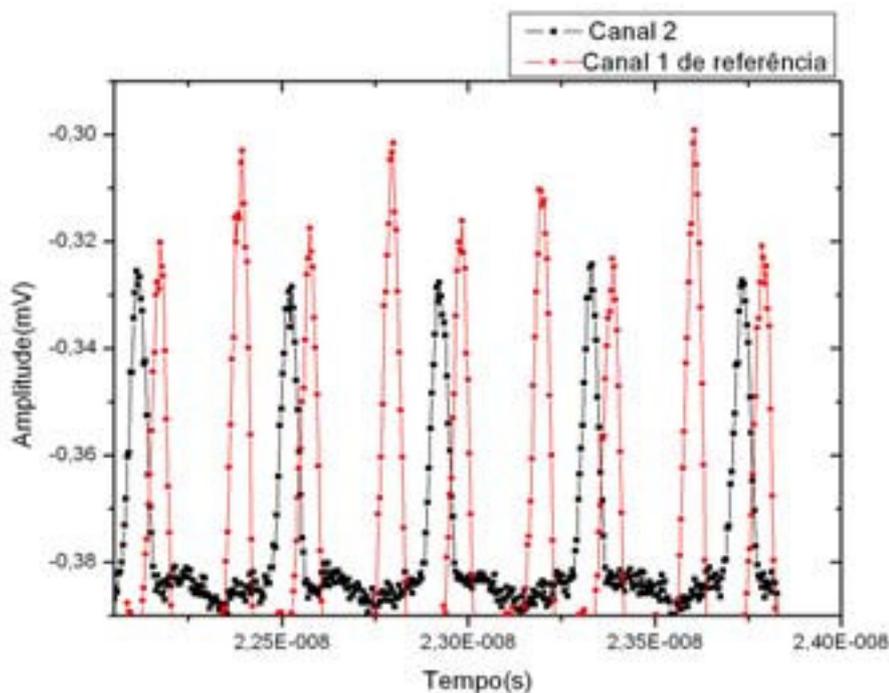


Figura 52 Canais 1 e 2

A diferença das amplitudes para os canais 1 e 2 da figura 52 ocorre devido a diferenças nos valores de atenuações da fibra para cada emenda, sendo que os pulsos encontram-se separados pela diferença de 48 ps. Nesta combinação não existem pulsos intermediários e ocorre uma pequena superposição dos pulsos com uma diferença de 1.5 dB.

Os canais 1 e 3 conforme indica a figura 53 apresentam uma diferença de amplitude em decorrência dos valores de atenuação com uma diferença de 1.3 dB, o espaçamento entre os pulsos apresenta uma pequena sobreposição dos bits com 89,12 ps de duração. Esta superposição é devido a imprecisão das linhas de atraso cortadas.

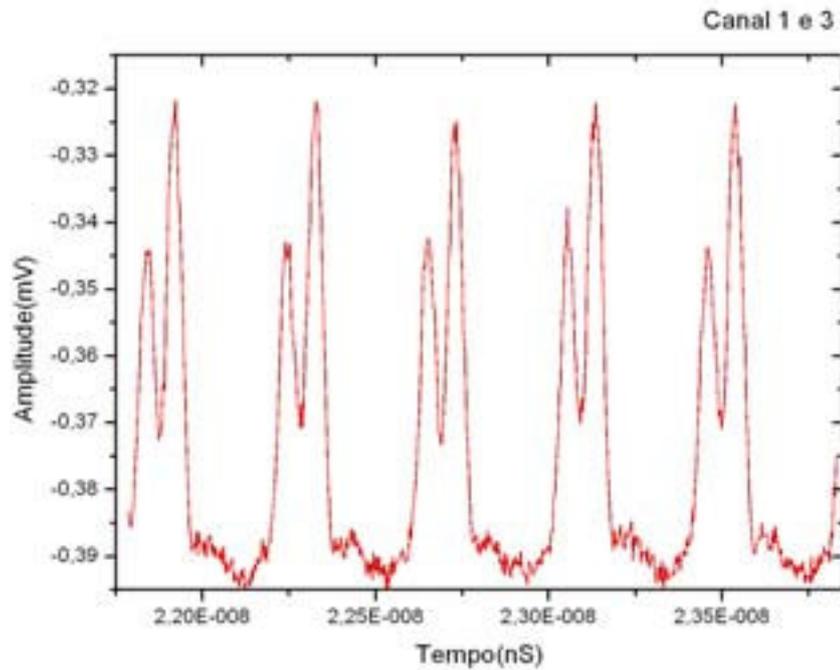


Figura 53 Canais superpostos

Os canais 1 e 4 encontram-se praticamente sobrepostos de modo que esta seria a pior condição sobre o superposição de bits. Apesar de não existirem pulsos intermediários seus valores não são expressivos conforme indica a figura 54.

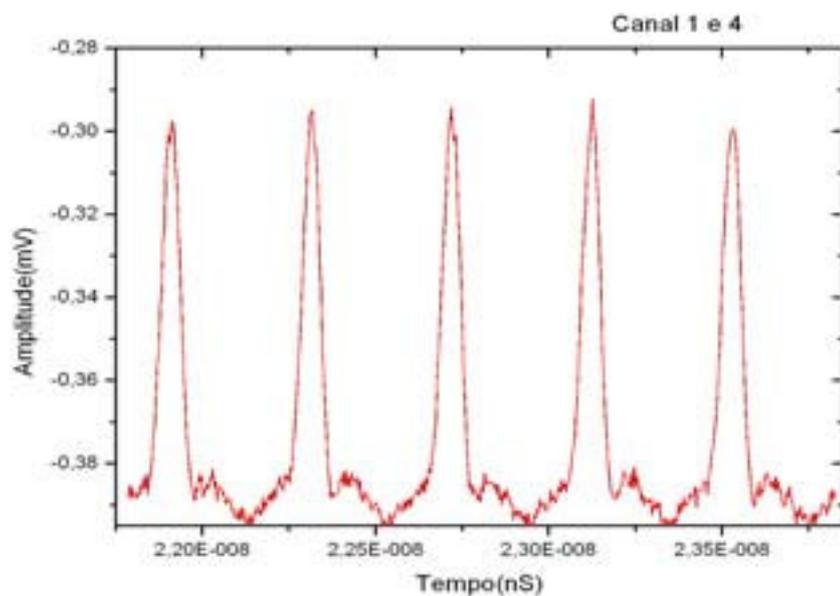


Figura 54 Canais 1 e 4

Após a análise do canal de referência em relação aos tributários observou-se o comportamento dos pulsos em relação aos canais adjacentes como esta indicado nas figuras abaixo.

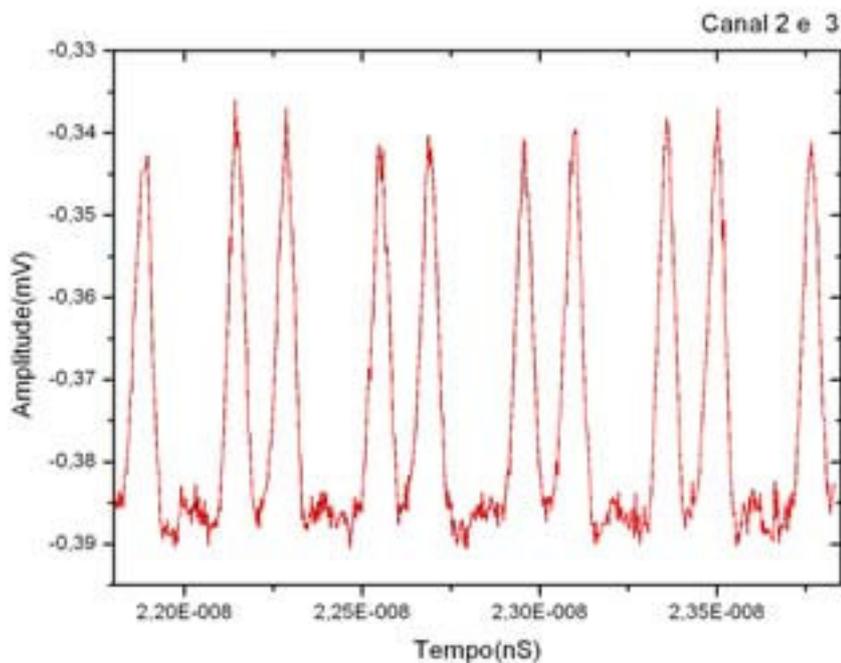


Figura 55 Canais 2 e 3

Em relação aos gráficos apresentados na figura 55 é importante destacar que não há a interferência entre bits. O espaçamento entre os pulsos é de 146,7 ps e 1,3 dB de diferença para os canais 2 e 3, os comprimentos das linhas encontram-se corretos de modo que não há entrelaçamento.

Os canais 2 e 4 estão em harmonia com o tamanho das linhas de atraso apresentando uma diferença de 1,2 dB e espaçamento entre os pulsos de 168 ps e o entrelaçamento de bits conforme indica-se a figura 56 .

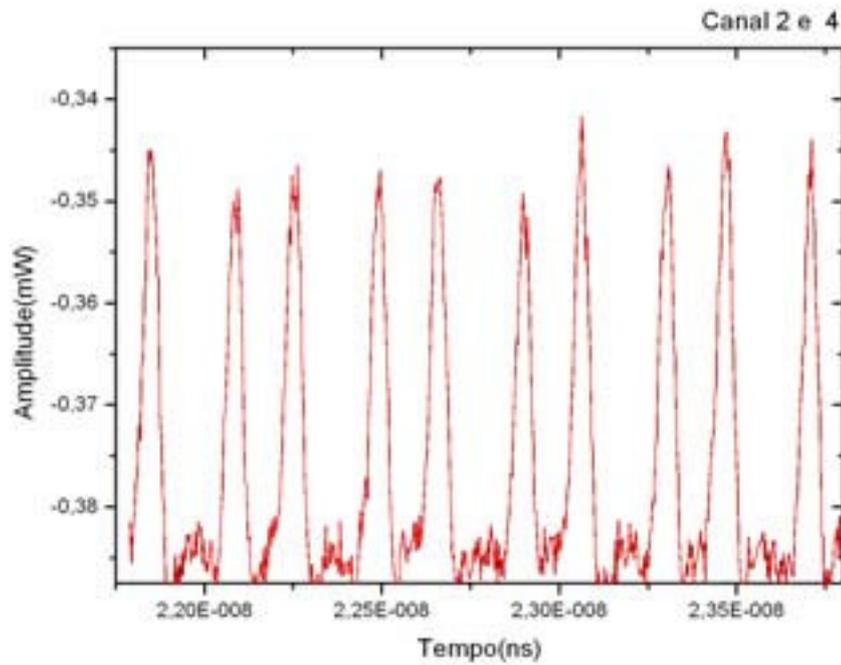


Figura 56 Canais 2 e 4

Em relação ao gráfico anterior, os canais adjacentes 3 e 4 apresentam uma pequena superposição de bits sem a presença de pulsos intermediários. O espaçamento medido foi de 104 ps com uma diferença de 1,2 dB.

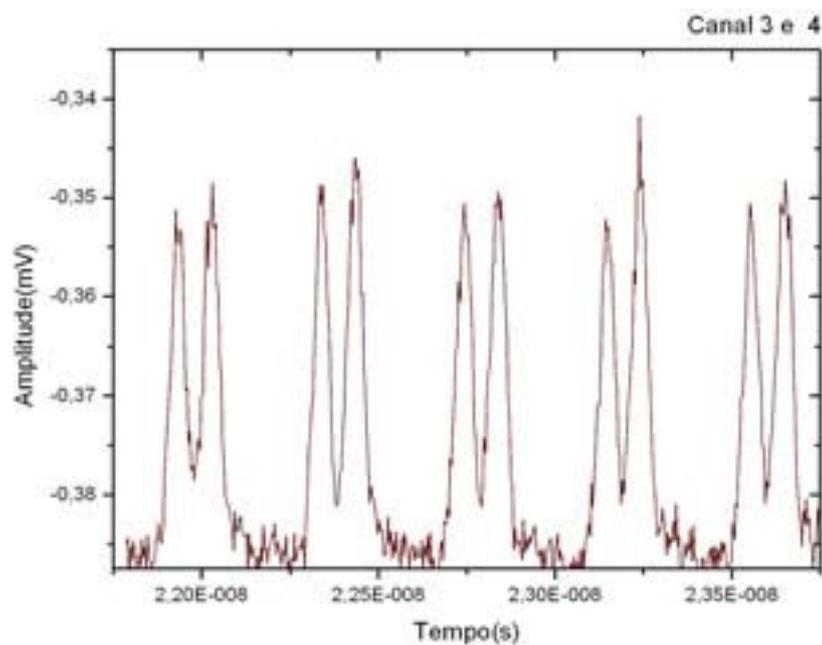


Figura 57 Canal 3 e 4

Finalmente para primeira bateria de medidas observou-se os 4 tributários multiplexados no tempo. A interferência entre os canais conforme citado nos canais anteriores é observado claramente na figura 58, a presença deste problema na multiplexação de dados degenera a relação sinal- ruído que é resultado do ajuste das linhas de atraso. Os canais 1 e 4 tem 100% de superposição ao passo que para o canais,2,3 e 4 este fenômeno é menor conforme já foi evidenciado nos gráficos anteriores.

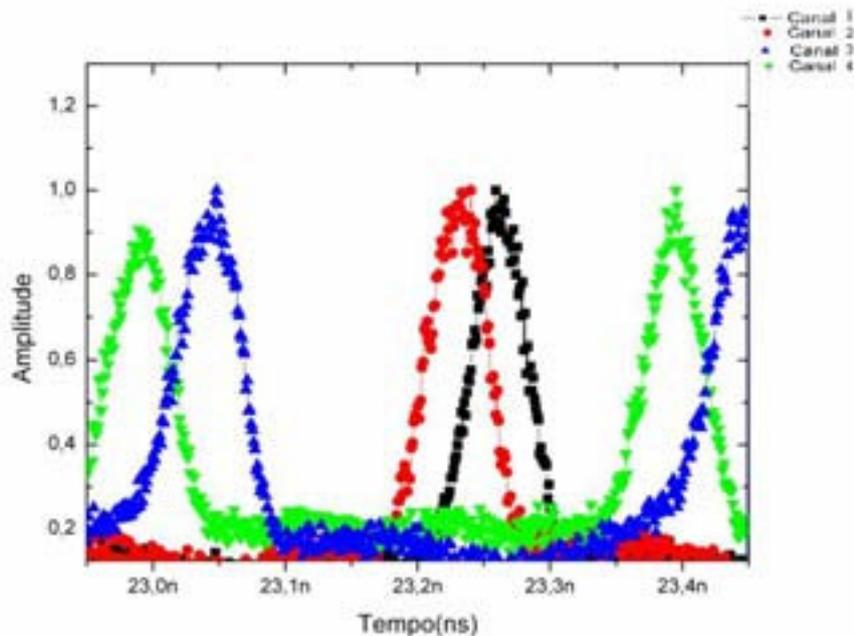


Figura 58 Tributários Multiplexados

Em seguida após ter sido observado este problema quanto ao tamanho das linhas de atraso foram recalculadas e soldadas novamente é importante destacar que a imprecisão de 1 mm é capaz de provocar o deslocamento de 5 ps do pulso. Isto é um valor extremamente crítico pois representa 10 % da largura do pulso a meia altura. A imprecisão na fabricação das linhas de atraso para esta taxa de operação não permite que seja possível alcançar a razão 1:4. . Na condição da figura 58 a superposição dos canais parcialmente com erros de 16 ps para os canais 1 e 2, 3 e 4 com 28 ps no ajuste das linhas. O entrelaçamentos dos bits e o espaçamento entre os pulsos são 2 parâmetros fundamentais na multiplexação óptica e no diagrama de olho.

Os canais alterados foram os 2,3 e 4 para melhor equalização dos pulsos. As linhas de atraso foram cortadas em valores de até 9.4 mm para ajuste conforme indica-se as figuras a seguir:

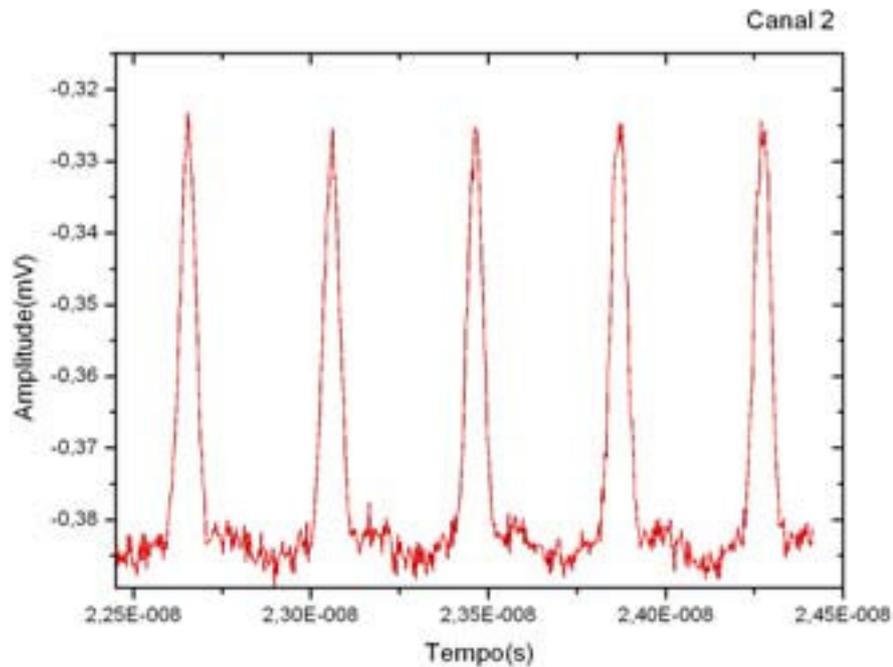


Figura 59 Canal 2

O comportamento dos pulsos na figura 59 segue de forma análoga ao da anterior. Isto constitui um fator importante pois permite que os pulsos sejam combinados sem entrelaçamento de bits com espaçamento de 40,1 ps.

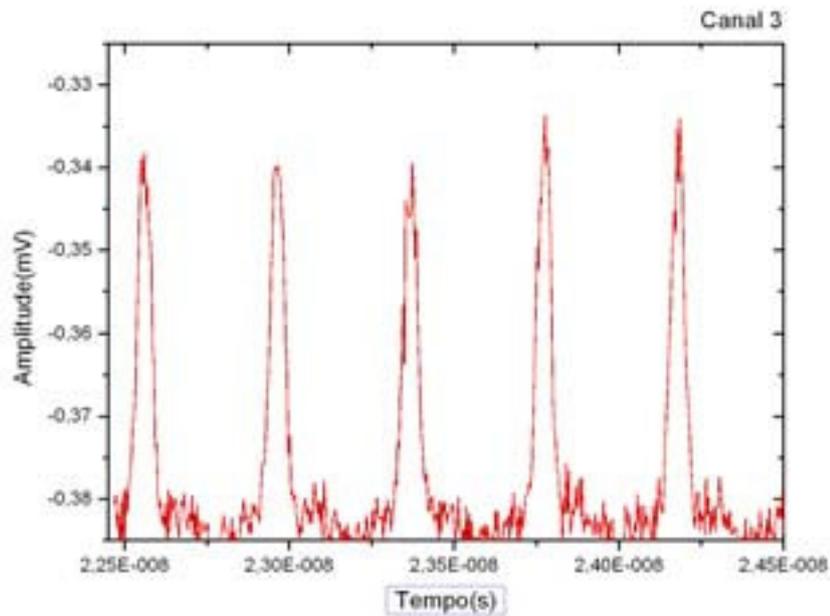


Figura 60 Canal 3

O canal 4 após o ajuste também não possui pulsos intermediários com espaçamento de 41,2 ps.

A combinação dos 4 tributários multiplexados ainda encontra problemas de entrelaçamento de bis conforme a figura abaixo. O ajuste das linhas de atraso é um fator muito sensível para equalização dos pulsos conforme a figura 61 abaixo.

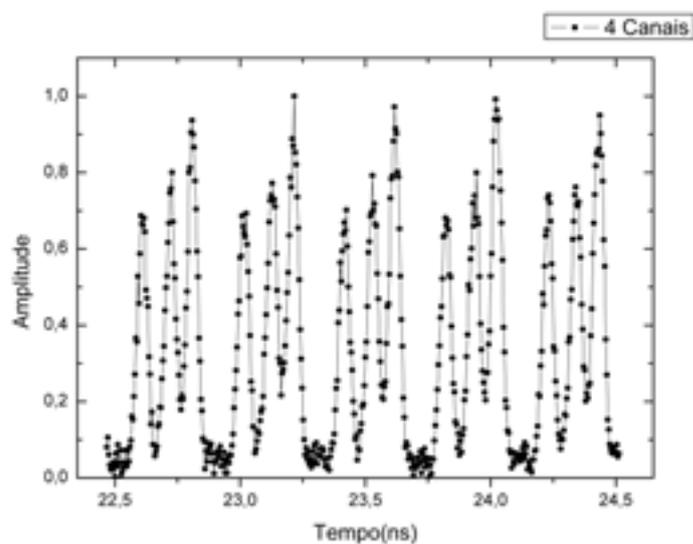


Figura 61 Canais após ajuste de linhas

O canal 1 e 4 ainda encontram problemas de alocação temporal, sendo assim foram refeitos as linhas de atraso para solucionar o problema. Alguns sistemas são capazes de operar em taxas superiores[25] a razão 1:4 proposta neste trabalho.

Na condição da figura 61 o reajuste das linhas de atraso ainda impõem uma sobreposição de canais sendo neste caso, referente somente aos canais 1 e 2. Na figura 62 abaixo o novo multiplex apresentou a melhor combinação de pulsos estáveis com amplitude homogênea sem a presença de pulsos intermediários.

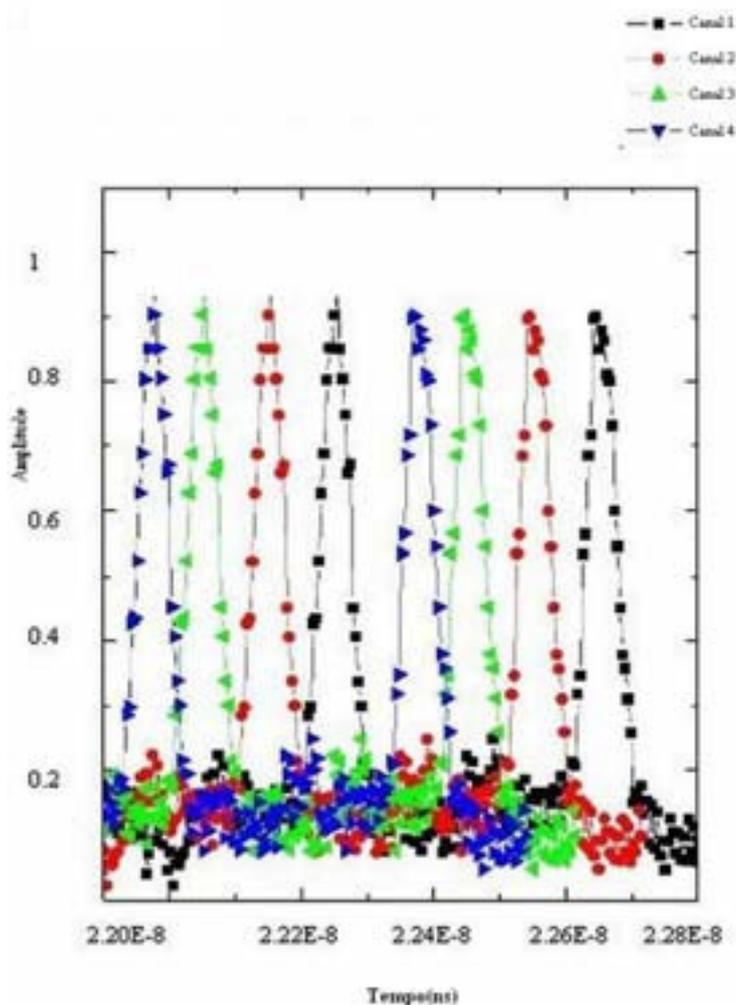


Figura 62 Pulsos multiplexados

Desse modo ocorreu uma superposição de 8 ps entre os canais 3 e 4 do mux, a estabilidade dos pulsos deve-se aos ajustes nos controladores de polarização utilizados no setup. A combinação dos tributários permitiu que a taxa de 9.9511 GHz fosse alcançada para transmissão dos pulsos multiplexados.

O estado da arte para uso de dispositivos multiplexadores passivos é recomendado utilizar um afinador(braço de violão) no ajuste do tamanho das linhas através das tensões aplicadas nas linhas. A equalização dos pulsos ópticos multiplexados segue a tríade, solda,tamanho da linha e clivagem, os 3 pontos sensíveis na fabricação do multiplexador óptico. A figura 62 é o resultado do funcionamento respeitado esta combinação.