

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

Tiago Martini Sanchotene

**CONSUMO DE ENERGIA EM REDE DE DADOS MÓVEIS M2M:  
ESTUDO E TESTES COM HARDWARE SIMCOM SIM7000G**

Santa Maria, RS  
2023

Tiago Martini Sanchotene

**CONSUMO DE ENERGIA EM REDE DE DADOS MÓVEIS M2M:  
ESTUDO E TESTES COM HARDWARE SIMCOM SIM7000G**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado no Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a conclusão do curso de **Engenharia Elétrica**.

Orientador: Prof. Dr. Natanael Rodrigues Gomes

Santa Maria, RS  
2023

**Tiago Martini Sanchotene**

**CONSUMO DE ENERGIA EM REDE DE DADOS MÓVEIS M2M:  
ESTUDO E TESTES COM HARDWARE SIMCOM SIM7000G**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado no Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a conclusão do curso de **Engenharia Elétrica**.

Aprovada em 20 de julho de 2023.

---

**Natanael Rodrigues Gomes, Dr. (UFSM)**  
**(Presidente/Orientador)**

---

**Evandro Claiton Goltz, Dr. (UFSM)**

---

**Geomar Machado Martins, Dr. (UFSM)**

Santa Maria, RS  
2023

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, agradeço a força Superior pelas oportunidades concedidas durante este processo de aprendizado e ao tempo que dedico ao estudo e trabalho.

Aos meus pais e irmãos, que compartilharam desse ideal e o alimentaram, incentivando-me a prosseguir a jornada, fossem quais fossem os obstáculos.

A minha esposa Daniela e aos meus filhos Lucas e Antônia, nossa família que construímos juntos durante este trajeto de universidade, que junto comigo lutaram para esse acontecimento.

Ao Professor Natanael Rodrigues Gomes, orientador, pelo incentivo e empenho dedicados na realização deste trabalho.

Agradeço também a todos os amigos e colegas que conheci que contribuíram para esta formação.

Muito obrigado.

"O sucesso nasce do querer,  
da determinação e persistência  
em se chegar a um objetivo.  
Mesmo não atingindo o alvo,  
quem busca e vence obstáculos,  
no mínimo fará coisas admiráveis."  
(José de Alencar)

## RESUMO

### CONSUMO DE ENERGIA EM REDE DE DADOS MÓVEIS M2M: ESTUDO E TESTES COM HARDWARE SIMCOM SIM7000G

AUTOR: Tiago Martini Sanchotene

ORIENTADOR: Prof. Dr. Natanael Rodrigues Gomes

Sabe-se que a tecnologia sem fio provocou alterações na vida da sociedade e na maneira como nos comunicamos. Partiu-se de dispositivos em um sistema de voz analógico, para uma comunicação baseada em aplicativos, serviços e dados que o ecossistema de internet conseguiu fornecer de forma muito eficiente, rápida e, também, inédita. Este trabalho trata da análise e comparação entre duas tecnologias em relação ao consumo de energia em um sistema de transmissão de dados, para verificarmos a economia de energia em novos sistemas de transmissão. Isso quando as mensagens são enviadas através da rede de dados móveis. Os procedimentos metodológicos utilizados foram embasados no método dedutivo, que permite testar a validade dessas informações, em uma análise comparativa. Para isso, foram realizados testes em um hardware com capacidade de comutação entre essas tecnologias para verificar o consumo. Após a coleta dos dados de consumo de cada uma das tecnologias, adquiridos no computador, estes serão verificados e contabilizados, a fim de estimar o consumo e mostrar qual economiza mais energia elétrica.

**Palavras-chave:** Tecnologia, Consumo de Energia, Redes Móveis, GPRS, IOT, M2M, 5G, LTE.

## **ABSTRACT**

### **ENERGY CONSUMPTION IN M2M MOBILE DATA NETWORK: STUDY AND TESTS WITH SIMCOM SIM7000G HARDWARE**

AUTOR: Tiago Martini Sanchotene

ORIENTADOR: Prof. Dr. Natanael Rodrigues Gomes

It is known that wireless technology has caused changes in society's life and in the way we communicate. It started with devices in an analog voice system, for a communication based on applications, services and data that the internet ecosystem was able to provide in a very efficient, fast and, also, unprecedented way. This work deals with the analysis and comparison between two technologies in relation to energy consumption in a data transmission system. This is when messages are sent over the mobile data network.. The methodological procedures used were based on the deductive method, which allows testing the validity of this information in a comparative analysis. For this, tests were carried out on hardware capable of switching between these technologies and verify consumption. After collecting the consumption data for each of the technologies, acquired on the computer, they will be checked and accounted for, in order to estimate consumption and show which one saves more electricity.

**Keywords:** Technology, Energy Consumption, Mobile Networks, GPRS, IOT, M2M, 5G, LTE.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1- PROJEÇÃO DE DISPOSITIVOS MÓVEIS	10
FIGURA 2 - EVOLUÇÃO DAS TECNOLOGIAS DIGITAIS ATÉ A 4G	14
FIGURA 3 - COMPARAÇÃO DAS GERAÇÕES: 1G, 2G, 3G, 4G E 5G	15
FIGURA 4 - ARQUITETURA DA REDE GSM + GPRS	16
FIGURA 5 - MAPA DE COBERTURA DE REDE 2G EM SANTA MARIA - RS DA OPERADORA CLARO	20
FIGURA 6 -MAPA DE COBERTURA DE SINAL DA REDE 4G EM SANTA MARIA - RS DA OPERADORA CLARO	20
FIGURA 7 -PLACA LILLYGO + ESP32 + SIM7000G	21
FIGURA 8 - <i>SETUP</i> DE TESTE - ANALISADOR + FONTE + KIT + SHUNT	22
FIGURA 9 - ESQUEMA ELÉTRICO	22
FIGURA 10 - IMAGEM DO ANALISADOR EM TESTE REDE GPRS - MANHÃ	23
FIGURA 11 - IMAGEM DO ANALISADOR EM TESTE REDE CAT-M1 - MANHÃ	23
FIGURA 12 -IMAGEM DO ANALISADOR EM TESTE REDE GPRS - MANHÃ	24
FIGURA 13 - IMAGEM DO ANALISADOR EM TESTE REDE CAT-M1 - TARDE	24
FIGURA 14 -IMAGEM DO ANALISADOR EM TESTE REDE GPRS - NOITE	25
FIGURA 15 -IMAGEM DO ANALISADOR EM TESTE REDE CAT-M1 - NOITE	25
FIGURA 16 - ESTRUTURA DO <i>FRAME</i> DO <i>GPRS</i>	26
FIGURA 17 -ESTRUTURA DO <i>FRAME</i> DO <i>LTE CAT -M1</i>	27



## LISTA DE SIGLAS

EDGE	<i>Enhanced Data Rates For GSM Evolution</i>
GSM	<i>Global System for Mobile Communications</i>
GPRS	<i>General Packet Radio Service</i>
HSPA	<i>High-Speed Downlink Packet Access</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
LPWA	<i>Low Power Wide Area</i>
LTE	<i>Long Term Evolution</i>
M2M	<i>Machine to Machine</i>
NB-IoT	<i>Narrowband Internet of Things</i>
QoS	<i>Quality of Service</i>
SIMCOM	Fábrica de componentes eletrônicos
PCI-e	Padrão de barramento
PCU	<i>Packet Control Unit</i>
SGSN	<i>Serving GPRS Support Node</i>
SMS	<i>Short Messages Service</i>
UMTS	<i>Sistema Universal de Telecomunicações Móveis</i>
VoIP	<i>Voice over Internet Protocol</i>

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
1.1	OBJETIVO .....	11
1.2	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO .....	11
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>12</b>
2.1	REDES MACHINE-TO-MACHINE (M2M) .....	12
2.2	TECNOLOGIAS DE TRANSMISSÃO DE DADOS MÓVEIS .....	13
2.3	REDE GPRS.....	16
2.4	REDE NB-IoT .....	17
2.5	REDE CAT-M1 .....	18
<b>3</b>	<b>TESTES .....</b>	<b>19</b>
<b>4</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>28</b>
<b>5</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>29</b>
<b>6</b>	<b>ANEXO 1.....</b>	<b>30</b>

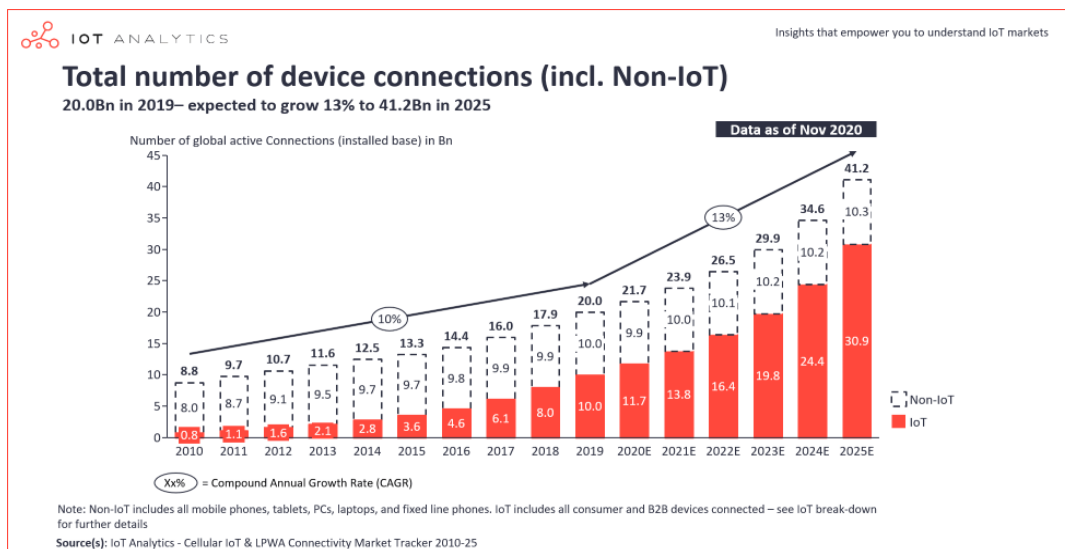
# 1 INTRODUÇÃO

Sabe-se que a utilização de objetos inteligentes, hardwares com unidades de processamento e sensores que podem ser controlados remotamente via redes sem fio trazem muitos benefícios aos usuários em termos de comodidade e eficiência. A automação de atividades por objetos inteligentes, e sua consequente geração automática de informação, poderá ser utilizada para apoio à tomada de decisão nos mais variados cenários (ex.: saúde, transporte, segurança, educação, comunicações, etc).

Dentro desse contexto, utiliza-se o termo *IoT (Internet of Things)* para representar uma infraestrutura global e dinâmica, com capacidade de se autoconfigurar, baseada em protocolos padrões em que os dispositivos virtuais e físicos (chamados *things*) têm identidades individuais. Isso utiliza interfaces inteligentes que são amigáveis aos usuários e completamente integradas à rede global (VERMESAN, 2009) e à comunicação Máquina-a-Máquina (*Machine-to-Machine - M2M*).

Consoante estudos de Holler (2014), M2M diz respeito a aplicações que contam unicamente com a comunicação entre dispositivos. Da análise da Figura 1 conclui-se que a utilização destas estruturas tem vindo a aumentar consideravelmente de ano para ano, o que se reflete no aparecimento e utilização de novas tecnologias móveis de transmissão de dados.

Figura 1- Projeção de dispositivos móveis



Fonte: (<https://iot-analytics.com/state-of-the-iot-2020-12-billion-iot-connections-surpassing-non-iot-for-the-first-time/>)

Com o desuso da tecnologia 2G, pela falta de equipamentos no mercado, recorre-se à tecnologia *LTE*. Entende-se que *NB-IoT* e *LTE-M* (ou *CAT-M1*) são protocolos de comunicação da área de telecomunicações, classificados como protocolos do tipo *LPWA – Low Power Wide Area* ou, em tradução livre, protocolos para comunicação de dados em grande alcance e com baixo consumo de energia.

Assim, esses protocolos utilizam a rede 4G para transmitir dados, mas são exclusivos para aplicações *M2M (machine-to-machine)* e *IoT*, que são as comunicações realizadas exclusivamente entre máquinas ou dispositivos *IoT* em banda estreita. Desse modo, ambos possibilitam trafegar baixas taxas de dados, como é o caso da maior parte de aplicações de telemetria, por exemplo, usadas para rastreamento de frotas, medidores de energia, água e gás inteligentes, entre outras várias aplicações.

## 1.1 OBJETIVO

Através do método dedutivo, numa análise comparativa, pretende-se verificar o consumo energético de um ciclo completo de envio de dados de duas tecnologias a *GPRS* e a *CAT-M1* para analisarmos e concluir que o uso de novas tecnologias nos permitirá uma redução de gasto de energia. Sendo a *GPRS* já obsoleta para as fabricantes de unidades transmissoras, porém ainda com muitos ativos e equipamentos receptores ainda sendo fabricados, a outra, a nova tecnologia *CAT-M1* mais atual e no processo de implantação das operadoras de telefonia para o serviço de redes *M2M*.

## 1.2 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Para um melhor entendimento acerca dos temas abordados no presente trabalho, o mesmo foi dividido em capítulos. Nesse capítulo, foi apresentada a introdução, os objetivos que ressaltam sua importância e os pontos de motivação - justificando o tema para o desenvolvimento da pesquisa, a metodologia usada e por fim a estrutura do trabalho. No Capítulo 2 será desenvolvida a fundamentação teórica, apresentada da seguinte forma: - 2.1 Redes *Machine-to-Machine (M2M)*; 2.2 tecnologias de transmissão de dados; 2.3 Redes *GPRS*; 2.4 Rede *NB-IoT* e 2.5 Rede *CAT-M1*. O capítulo 3 fornece os testes aplicados pelo autor. Por fim, o capítulo 4, foi reservado para as considerações finais dessa pesquisa.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo serão apresentados os conceitos de rede *M2M*, *IoT* e as tecnologias de transmissão de dados móveis para equipamentos de baixo pacote de envio de dados, *GPRS*, *NB-IoT* e *CAT-M1*.

### 2.1 REDES MACHINE-TO-MACHINE (M2M)

É importante enfatizar que a área de *IoT* abrange uma gama de oportunidades de pesquisa devido a sua grande complexidade, permitindo uma maior interação entre pessoas, de pessoas e dispositivos e entre dispositivos. Dentre suas temáticas de estudo, encontra-se a de *Machine-to-Machine (M2M)*, que estuda a comunicação entre os dispositivos inteligentes, incluindo os diferentes tipos de tráfego e as tecnologias. Segundo Holler (2014), esta comunicação ocorre sem a intervenção humana, automatizando processos de transferência de dados. Esses dispositivos são heterogêneos em relação à mobilidade, a tecnologias de comunicação e aos recursos computacionais.

Os dispositivos considerados M2M devem ter a capacidade de coletar dados em determinados ambientes, transmitindo os mesmos a uma aplicação por meio de uma conexão. Em muitos casos, os dispositivos coletores (geralmente sensores) não têm capacidade nativa de enviar os dados diretamente para a aplicação, sendo necessária a utilização de outro dispositivo agindo como intermediário na comunicação, repassando as informações (BOSWARTHICK; ELLOUMI; HERSENT, 2012).

Com relação à mobilidade, os dispositivos podem ser estacionários, como, por exemplo, medidores inteligentes e eletrodomésticos. Em um outro extremo, os dispositivos podem ser completamente móveis, como os rastreadores veiculares e as tornozeleiras para monitoramento de presidiários.

É pertinente elencar que a quantidade massiva de dispositivos resulta em uma disputa por recursos compartilhados, como o espectro de frequências, criando a necessidade de protocolos de acesso ao meio. Dessa forma pode-se garantir um nível mínimo de *QoS (Quality of service)*, este realizado via software para segmentar o máximo de tráfego disponível na tecnologia para os serviços que são trafegados por ela, fazendo com que haja disponibilidade. Nesse sentido, as redes de celulares são vantajosas, já que podem controlar e reservar a

utilização dos recursos. Além disso, proporcionam justiça e garantia de *QoS* no processo de disputa de recursos realizados pelos dispositivos.

Por conseguinte, a rede *M2M*, caracterizada como, predominantemente, automatizada, proporciona versatilidade e pode ser usada para otimizar e agilizar os processos que envolvem a captação e o tratamento de dados. Dessa forma, espera-se que, também, tenha consumo mínimo de energia, quando comparada a outras tecnologias.

## 2.2 TECNOLOGIAS DE TRANSMISSÃO DE DADOS MÓVEIS

O uso de dispositivos inteligentes é alto conforme relatado até agora, para um dispositivo se tornar cada vez mais inteligente o mesmo deve estar conectado em uma rede de internet. Para isso o uso de tecnologias sem fio, e muito usado para a mobilidade as tecnologias de rede de dados móveis comerciais e licenciadas de operadoras de telefonia móveis.

O uso de dispositivos inteligentes tem sido alto até agora. Para que o dispositivo fique cada vez mais inteligente, ele precisa estar conectado à internet. Para este propósito, a mobilidade frequentemente usa tecnologias sem fio, tecnologias de redes de dados móveis comerciais licenciadas por operadoras móveis.

Assim, essas tecnologias de conectividade são redes que proporcionam o estabelecimento de comunicação entre dois ou mais dispositivos diferentes.

Entretanto, as redes de telefonia móvel estão entre as principais tecnologias de transmissão da atualidade. Elas podem ser divididas em:

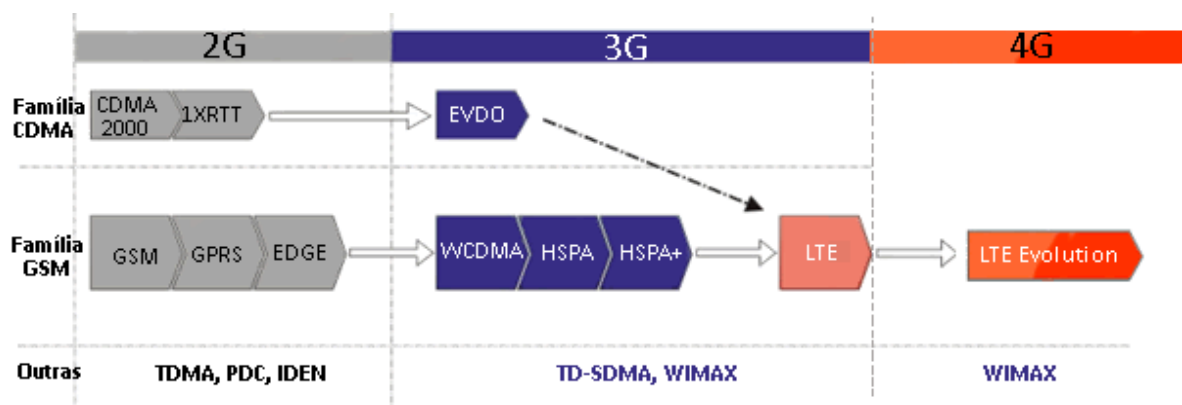
- **2ª geração:** baseada no *GSM (Sistema Global para Comunicações Móveis)*, permitia apenas a troca de mensagens e serviços de voz. Após ser integrada ao *GPRS (Serviço de Rádio de Pacote Geral)* e *EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution)*, proporcionou conexões de internet de até 171 Kbps e 384 Kbps. É comumente utilizada em rastreamento de veículos e estudada nesse trabalho por haver inúmeros equipamentos ainda usando esta tecnologia, não sabendo ainda quando será o fim do mesmo. O espectro de radiofrequência tornou-se mais eficiente, possibilitando a oferta de novos serviços, como a criação de envio de dados como o *Short Messages Service (SMS)* e e-mail. Novidades também na transmissão de voz: comunicação simultânea de chamada, permitindo que duas chamadas pudessem ser feitas ao mesmo tempo ou até mesmo colocar uma chamada em espera e envio de notificação caso o dispositivo estivesse ocupado (MENDES, 2013);
- **3ª geração:** desenvolvida segundo o padrão *UMTS (Sistema Universal de Telecomunicações Móveis)*, possibilitando conexões de 2 Mbps. Porém, com a implementação

do HSPA (*Pacote de acesso de alta velocidade*), no Brasil, atingiu até 8 Mbps (TAKEDA, 2013). Pode-se dizer que a Terceira Geração é a ascensão da tecnologia 2G e se caracteriza pela oferta de banda larga sem fio. O perfil dos usuários sofreu uma mudança, eles não mais se contentavam em realizar chamadas e enviar mensagens. Visando adaptar-se as novas necessidades dos assinantes, a 3G permite acesso à internet e serviços de multimídia, havendo um aumento significativo na capacidade de voz e suporte a serviços, como também taxas de dados muito superiores se comparada com a 2G (SILVA, 2016);

- **4ª geração:** também conhecida como *LTE (Long Term Evolution)* com velocidade média de 19,8 Mbps. É utilizada em câmeras de segurança e outras soluções *IoT*; o começou a ser usada no Japão em 2007. Ela permite a comunicação bilateral de voz, vídeo e dados, apresentando maior qualidade no serviço aos usuários móveis. Assim, mesmo que o usuário esteja em movimento, seu sinal de internet não é significativamente reduzido (SILVA, 2016). Tem como principal vantagem altas taxas de transferências de dados, podendo atingir velocidades na ordem de dezenas de megabits. Faz uso do IP, sendo composta por redes de celulares e outras redes sem fio (*wireless*) - computadores e operadoras de televisão (CORDEIRO, 2012). O IP agrega técnicas de segurança que antes eram somente usadas no core da rede e permite que diversos usuários possam acessar à internet afim de obter serviços como dados, fotos e vídeos em qualquer local, e ainda poder realizar chamadas de alta qualidade, através da tecnologia *Voice over Internet Protocol (VoIP)*.

A ITU especificou que os requisitos de velocidade para o padrão 4G devem ser de 100 Mbps para conexões móveis e 1 Gbps para conexões fixas com taxas de transmissão de 20 a 40 Mbps, bem como possuir maior eficiência espectral, melhor latência e mobilidade (TAKEDA, 2013).

Figura 2 - Evolução das Tecnologias digitais até a 4G



Fonte: TELECO, 2012 (Disponível em: <http://www.teleco.com.br/4gtecnologia.asp>).

- **5ª geração:** Última geração em utilização no país, vem se consolidando para a comunicação de dados móveis para usuários de grande consumo de dados e dispositivos que precisam de uma baixa latência. Devido a evolução da telefonia móvel, hoje as redes móveis possuem um grande tráfego de informações, causando congestionamento e lentidão, a 5G veio para trazer a estrutura necessária para que a “internet das coisas” seja uma realidade no mundo, com dispositivos conectados e comunicando-se entre si, como carros autônomos e casas inteligentes (SILVA, 2016).

Assim como as tecnologias precursoras, a implantação das redes 5G também conta com dificuldades como o grande crescimento de usuário por área, problemas na transmissão por estação de rádio base e cobertura das células, falta de manutenção nas estações ocasionando problemas no envio de sinal, além das dificuldades burocráticas para a instalação de novas estações (MENDES, 2013).

A Figura 3 a seguir mostra um comparativo das tecnologias até a 5G com o intuito de apresentar um panorama geral da grande evolução que teve a telefonia móvel desde o seu surgimento.

Figura 3 - Comparação das gerações: 1G, 2G, 3G, 4G e 5G

Technology → Features ↓	1G	2G	3G	4G	5G
<b>Start/ Deployment</b>	1980's	1990's	2000's	2010's	2020's
<b>Data Bandwidth</b>	2kbps	64kbps	2Mbps	1 Gbps	Higher than 1Gbps
<b>Technology</b>	Analog Cellular Technology	Digital Cellular Technology	Broadband with CDMA, IP technology	Unified IP & seamless combination of broadband, LAN, WAN & WLAN	Unified IP & seamless combination of broadband, LAN, WAN, WLAN & WWW
<b>Service</b>	Mobile Telephony (Voice)	Digital voice, SMS, Higher capacity packetized data	Integrated high quality audio, video and data	Dynamic Information access, Wearable devices	Dynamic Information access, Wearable devices with AI Capabilities
<b>Multiplexing</b>	FDMA	TDMA, CDMA	CDMA	CDMA	CDMA
<b>Switching</b>	Circuit	Circuit, Packet	Packet	All Packet	All Packet
<b>Core Network</b>	PSTN	PSTN	Packet N/W	Internet	Internet

Fonte: <https://embarcados.com.br/o-que-e-5g-caracteristicas-aplicacoes/>

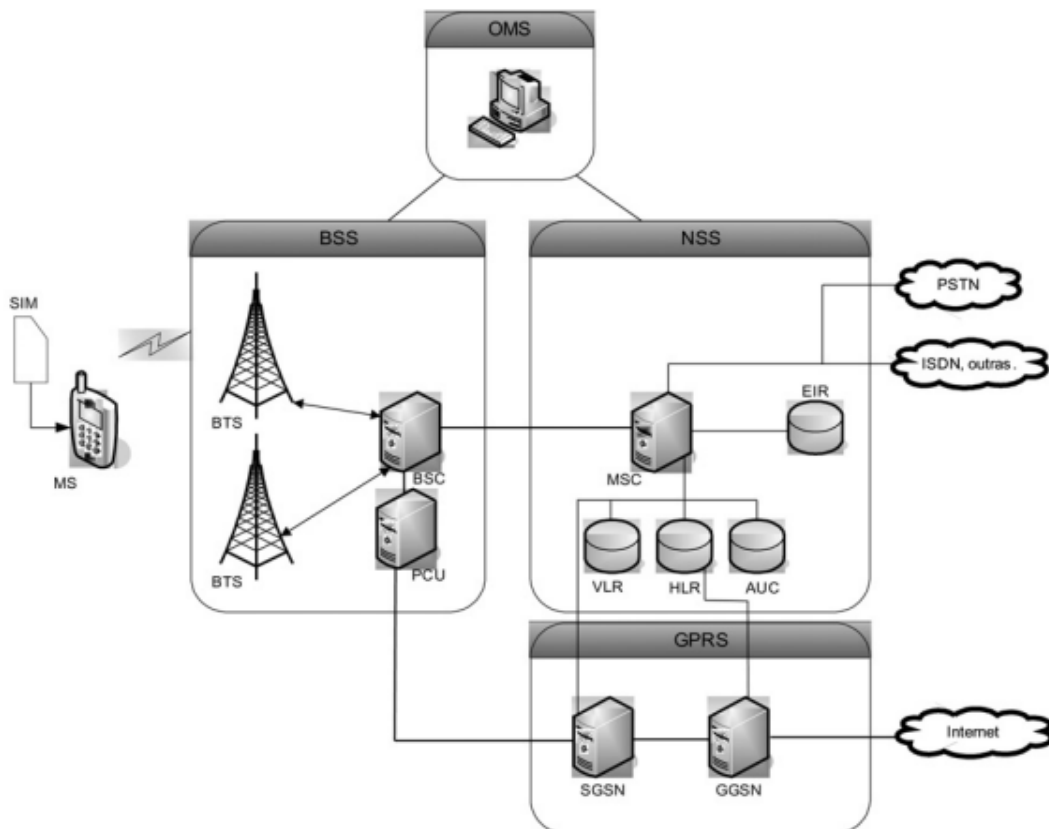


### 2.3 REDE GPRS

Salientando que ainda é a rede mais usada para *M2M* à Rede *GPRS* (*General Packet Radio Service*), ainda é uma tecnologia de comunicação móvel que faz parte da rede 2G (segunda geração). Ela foi desenvolvida para permitir a transmissão de dados de forma eficiente em pacotes, em contraste com a rede 2G convencional, que foi projetada principalmente para serviços de voz. No GPRS os dados são divididos em pacotes, oferecendo velocidades máximas de 115 kbps e taxa de transferência de 30 a 40 kbps. Permite uma conexão permanente sem necessidade de entrar no sistema toda vez que desejar o acesso, dessa forma os usuários pagam apenas pelos dados e não pelo tempo de uso (SILVA, 2016).

A criação da rede GSM fez com que as operadoras pudessem testar e implementar novos serviços. Para isso, foram feitas algumas modificações na rede GSM, apelidada de rede GSM + GPRS e mostrada na Figura 4.

Figura 4 - Arquitetura da rede GSM + GPRS



Fonte: PIROTTI, 2009.

*Packet Control Unit (PCU)*: a rede GPRS ao ser usada faz a transferência de pacotes de dados através da PCU, os enviando para o SGSN. Já o tráfego de voz se mantém como no GSM, passando do PSC para o MSC (SVERZUT, 2005).

★ *Serving GPRS Support Node (SGSN)*: é responsável pelo acesso das MS a rede GSM. Gerencia a mobilidade da MS e registra informações à nível de localização e segurança (SVERZUT, 2005).

★ *Gateway GPRS Support Node (GGSN)*: faz a conexão da rede GPRS com as redes de dados externas. Direciona o pacote de dados de acordo com as informações de roteamento dos usuários conectados, fazendo a manutenção dessas informações, mapeamento de endereço de rede e assinante, como também das classes de qualidade do serviço (QoS), (SVERZUT, 2005). É responsável pelo acesso à internet da maioria dos *smartphones* e celulares, oferecendo a maior cobertura móvel (RODRIGUES; AZEVEDO, 2015).

É válido ressaltar que o *GPRS* utiliza técnicas de comutação por pacotes, em oposição à comutação por circuito utilizada para chamadas de voz. Isso significa que os dados são divididos em pacotes e transmitidos separadamente, conforme necessário, em vez de estabelecer uma conexão contínua durante toda a sessão de comunicação. Essa abordagem permite um uso mais eficiente da capacidade da rede, já que os pacotes são transmitidos apenas quando há dados a serem enviados.

Além disso, a rede *GPRS* oferece velocidades de dados mais rápidas em comparação com a rede 2G convencional, permitindo taxas de transferência de até *114 kbps*. Isso possibilita o uso de aplicativos e serviços baseados em dados, como navegação na *web*, envio de *e-mails*, troca de mensagens instantâneas e acesso a aplicativos de *IoT* e telemetria.

Vale salientar que é uma tecnologia já extinta e não possui mais estoques ou equipamentos para as operadoras substituírem peças, caso houver falha no funcionamento das ativas. Ademais, há, ainda, muitos equipamentos e clientes ativos nessa tecnologia, dentre eles: rastreadores veiculares, semáforos e máquinas de cartão de crédito.

## 2.4 REDE NB-IOT

Num mundo globalizado e conectado, caso se queira resultados desejados, há a necessidade da adoção de uma tecnologia de conectividade de qualidade, tendo no *NB-IoT* uma

excelente opção. *NB-IoT (Narrowband Internet of Things)* é uma tecnologia de comunicação de baixa potência e baixo consumo de energia, projetada especificamente para aplicações da Internet das Coisas (*IoT*). Dessa forma, é uma opção disponível para conectividade em redes de *IoT*, uma vez que é baseada na infraestrutura das redes celulares existentes.

É interessante destacar que, de acordo com Talavera (2017), 62% dos artigos em inglês, relacionados a *IoT*, estão em forma de documentos acadêmicos. Isso entre os anos de 2006 e 2016 e apresentam sua utilização em monitoramento remoto na área agroindustrial. Acrescenta, ainda, que as aplicações mais encontradas dizem respeito ao monitoramento do ar, do solo, de água, de animais e plantas.

Importante elencar que a principal característica do *NB-IoT* é o seu foco na eficiência energética e na capacidade de fornecer conectividade a dispositivos *IoT*, que operam em locais remotos ou com bateria de longa duração. Ele utiliza uma faixa estreita de frequência e taxas de transferência de dados relativamente baixas para maximizar a vida útil da bateria e a cobertura da rede.

Dessa maneira, sabe-se que os dispositivos *NB-IoT* consomem pouca energia, permitindo uma vida útil da bateria estendida. Isso é especialmente importante em aplicações de *IoT* fixas e de envio de dados com tempo longo. No Brasil, existe apenas uma operadora trabalhando com essa tecnologia, a TIM; porém, na cidade de Santa Maria – RS, ainda, não está ativa, pelo motivo de que a tecnologia foi desenvolvida para equipamentos fixos não para o uso móvel.

## 2.5 REDE CAT-M1

Vive-se, atualmente, buscando novas tecnologias que proporcionem, cada vez mais, aumentar a produtividade e diminuir custos. A *Cat-M1 (Categoria M1)* é uma tecnologia de comunicação de dados de baixa potência e baixa latência projetada especificamente para aplicações da Internet das Coisas. Ela é uma das opções disponíveis para conectividade em redes de *IoT* baseadas na tecnologia *LTE (Long-Term Evolution)*, que é uma evolução da rede 4G, além de longo alcance de sinal e conexão com redes de telecomunicação móvel.

Nota-se que o *Cat-M1* oferece recursos avançados em comparação com as tecnologias de rede celular mais antigas. O baixo consumo de energia, aumenta a vida útil das baterias quando usado sem o uso de energia externa. Assim, sua baixa latência, comparada a outras

tecnologias, mostra agilidade e é usada para sistemas mais ativos e que necessitam de conexão em tempo real.

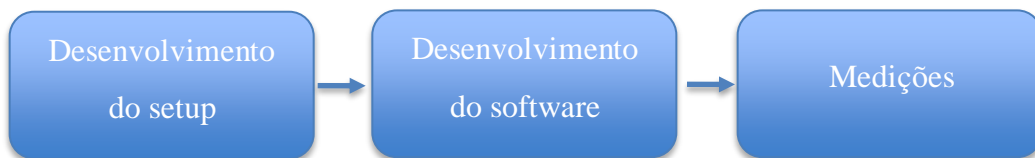
A tecnologia *Cat-M1* suporta a conexão de muitos dispositivos *IoT* em uma única célula de rede e permite implantações em larga escala e gerenciamento eficiente de redes de *IoT*.

Por conseguinte, é válido ressaltar que um bom alcance do sinal com mobilidade e boa eficiência energética transformaram o *CAT-M1* em um dos protocolos mais versáteis e utilizados do mercado das telecomunicações do mundo todo. Por essa razão, o objeto de estudo deste trabalho contempla esse modelo, uma vez que as operadoras no Brasil a usam para as conexões *M2M*.

### 3 TESTES

Para concretizar o objetivo deste trabalho, foram realizados testes em um hardware com capacidade de comutação entre essas tecnologias. Atualmente, a mais utilizada para *M2M* é a rede 2G, visto que a mudança de hardware em diversos dispositivos deve ser realizada.

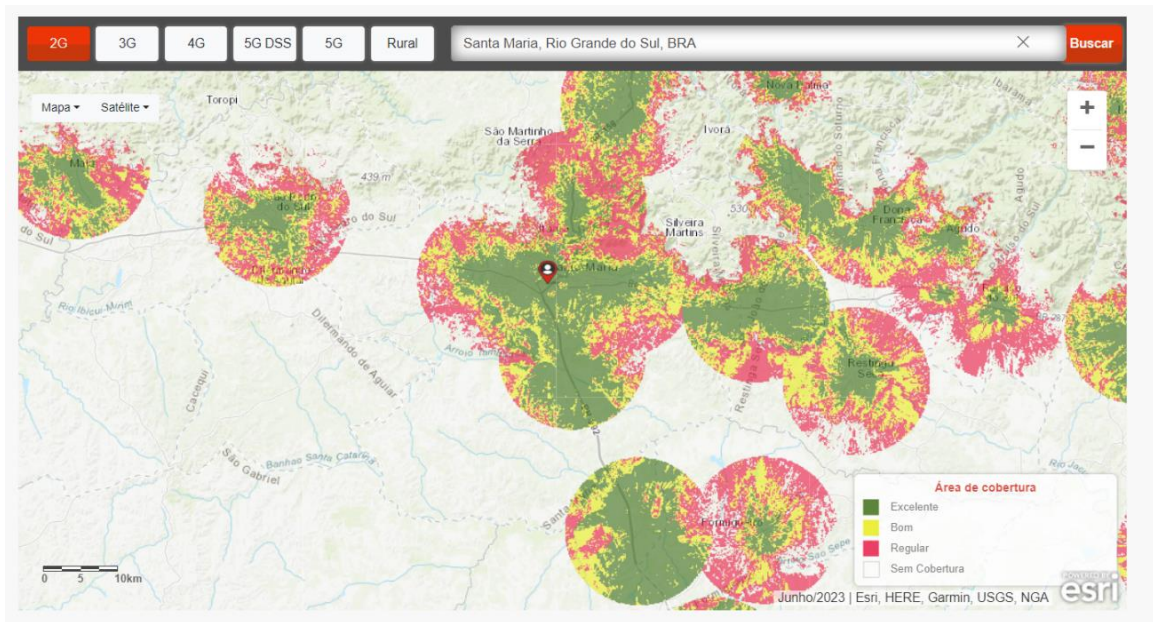
Essas foram as etapas para a obtenção dos dados para este teste.



Vale dizer que há pontos na cidade sem a rede 2G, uma vez que a tecnologia se encontra defasada e as operadoras não possuem equipamentos para a recolocação delas, de acordo com a ANATEL na LEI Nº 13.879, DE 3 DE OUTUBRO DE 2019, a 2G pode se tornar obsoleta em 2028 quando as frequências usadas nessa tecnologia deverá ser migradas para as novas.

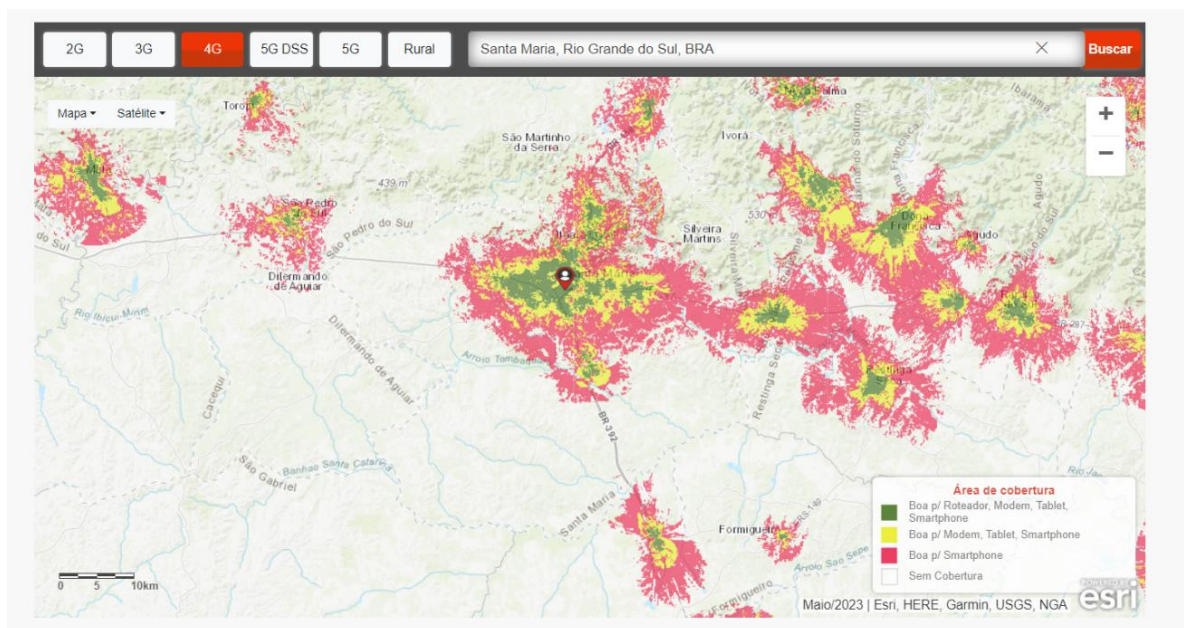
Conforme mapas de cobertura da operadora Claro, Figura 5, a concentração de sinal 2G ainda é maior que a de 4G, Figura 6. Com isso ainda se justifica os testes com a tecnologia GPRS pelo fato de maior cobertura de sinal.

Figura 5 - Mapa de cobertura de rede 2G em Santa Maria - RS da operadora Claro



Fonte: <https://www.claro.com.br/mapa-de-cobertura>

Figura 6 -Mapa de cobertura de sinal da rede 4G em Santa Maria - RS da operadora Claro



Fonte: <https://www.claro.com.br/mapa-de-cobertura>

O objetivo deste trabalho é o estudo do consumo de energia entre a tecnologia *GPRS* e a *CAT-M1*, o módulo usado foi o da fabricante *SIMCOM* modelo *SIM700G* na qual possui *GPRS*, *NB-IOT* e *CAT-M1* no mesmo chipset.

Para tal, foi usada a placa de desenvolvimento da *LillyGO* (Figura 7), com conexão *PCI-e* para a instalação do *SIM7000G*. Além do mais, foram desenvolvidos dois softwares um para a conexão *GPRS* e outra para a *CAT-M1*.

Conforme código em anexo, este compilado através da plataforma *Arduino IDE*, a diferença está somente em uma variável na qual faz a alteração para uma das tecnologias escolhida. Um software robusto aconselhado para uma solução final teria testes de cada tecnologia, sendo capaz de alterar as variáveis até ao encontro da tecnologia que mais agrade os parâmetros técnicos desejados. Abaixo o processo para implementar ao código para os testes.

Passo 1: Define a rede que deverá conectar inserindo as variáveis ao código

Passo 2: Compila o código

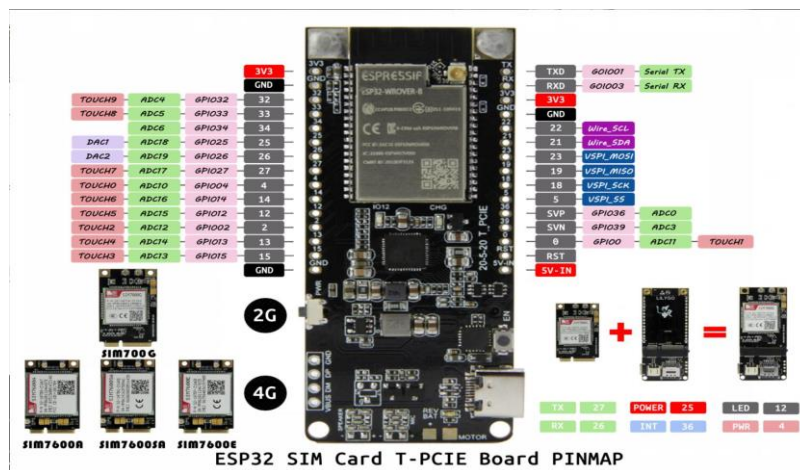
Passo 3: Inicializa o hardware

Passo 4: Hardware inicializa o módulo *SIM7000G*

Passo 5: O módulo inicializa a rede móvel

Passo 6: Inicializa o *GPS* e envia as coordenadas

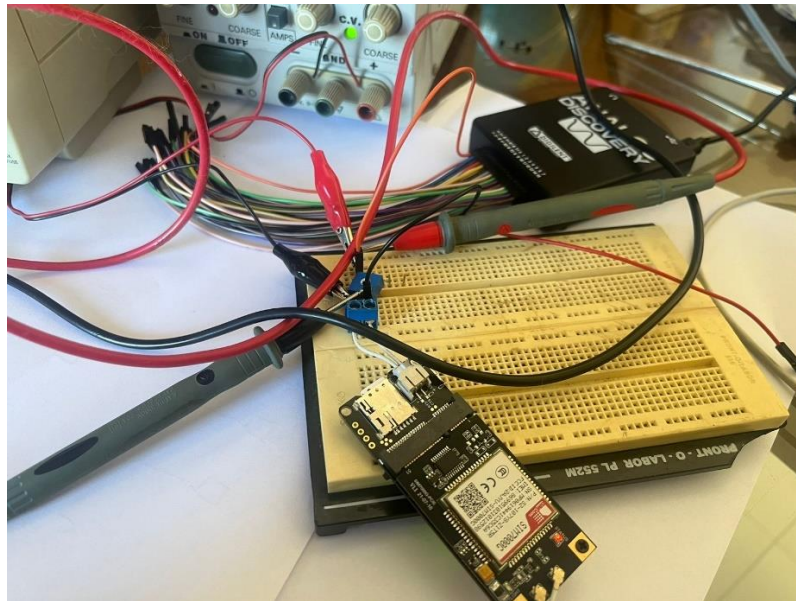
Figura 7 -Placa LillyGO + ESP32 + SIM7000G



Fonte: <https://github.com/Xinyuan-LilyGO/LilyGo-T-PCIE>

O *setup* construído foi de uma Fonte Regulada em 5V DC, para obtermos uma precisão em nossa tensão de entrada para o circuito, um Multímetro para medição do resistor colocado no circuito e um analisador multifunção conforme Figura 8. Este dispositivo chamado *Analog Discovery* é uma interface para aquisição de dados compacta, com capacidade de ser um osciloscópio na qual foi usado essa função neste trabalho.

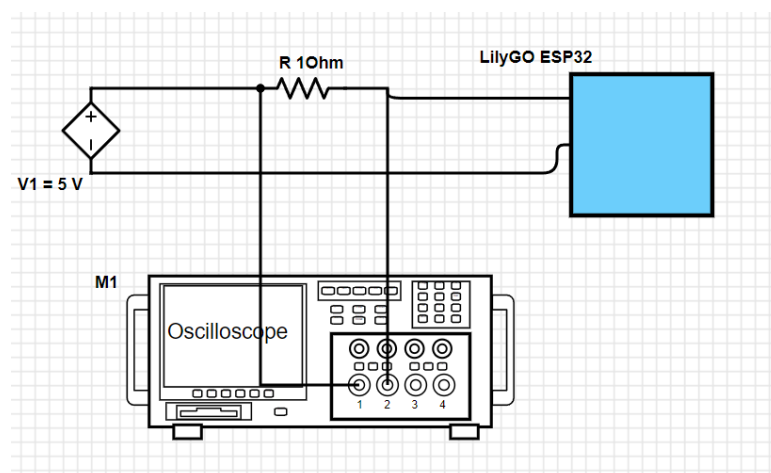
Figura 8 - Setup de teste - Analisador + Fonte + kit + shunt



Fonte: (autor)

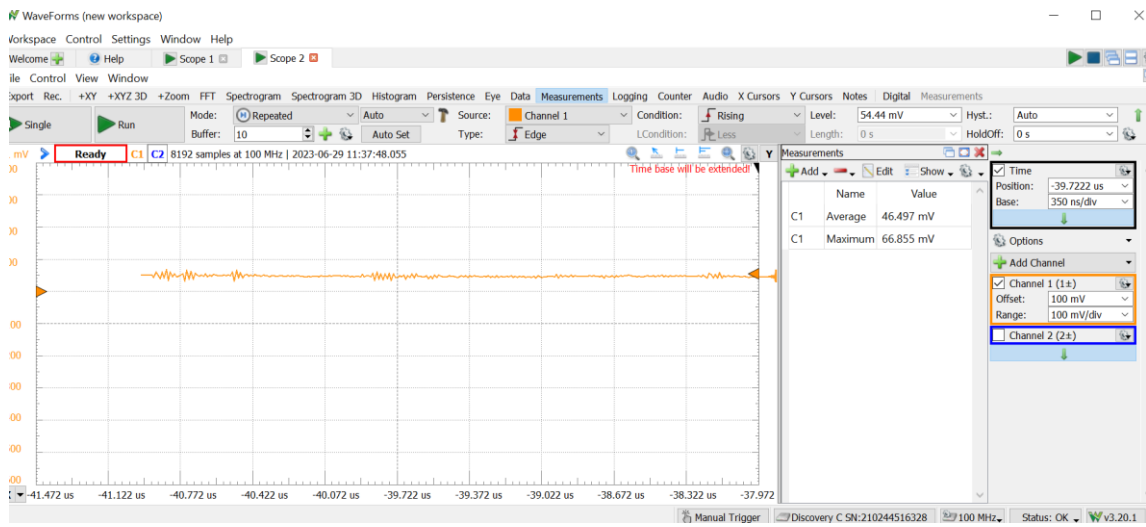
Para as medições, usou-se o analisador em modo osciloscópio medindo a queda de tensão em um resistor de  $1\Omega$ . Isso se verifica através da equação  $V = R \cdot I$ ,  $R = 1\Omega$  logo temos  $V = I$ . Conforme esquema de ligação, os testes foram realizados por 1 hora cada tecnologia, nos dados capturados devemos observar a oscilação da corrente que ocorre a cada envio, nesta oscilação verificamos os picos máximos de correntes. Vale salientar que os experimentos foram realizados em base fixa, não ocorrendo a mobilidade do equipamento. Observa-se que havendo mobilidade pode ocorrer picos mais altos em decorrência do sinal da transmissão.

Figura 9 - Esquema elétrico



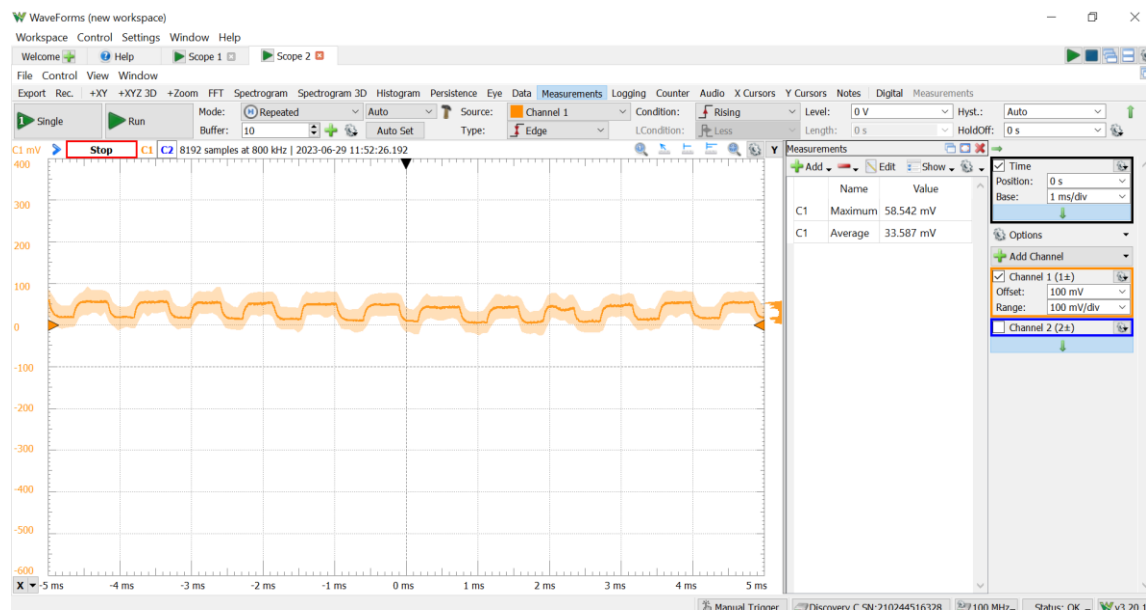
Fonte: autor

Figura 10 - Imagem do analisador em teste rede GPRS - manhã



Fonte: (autor)

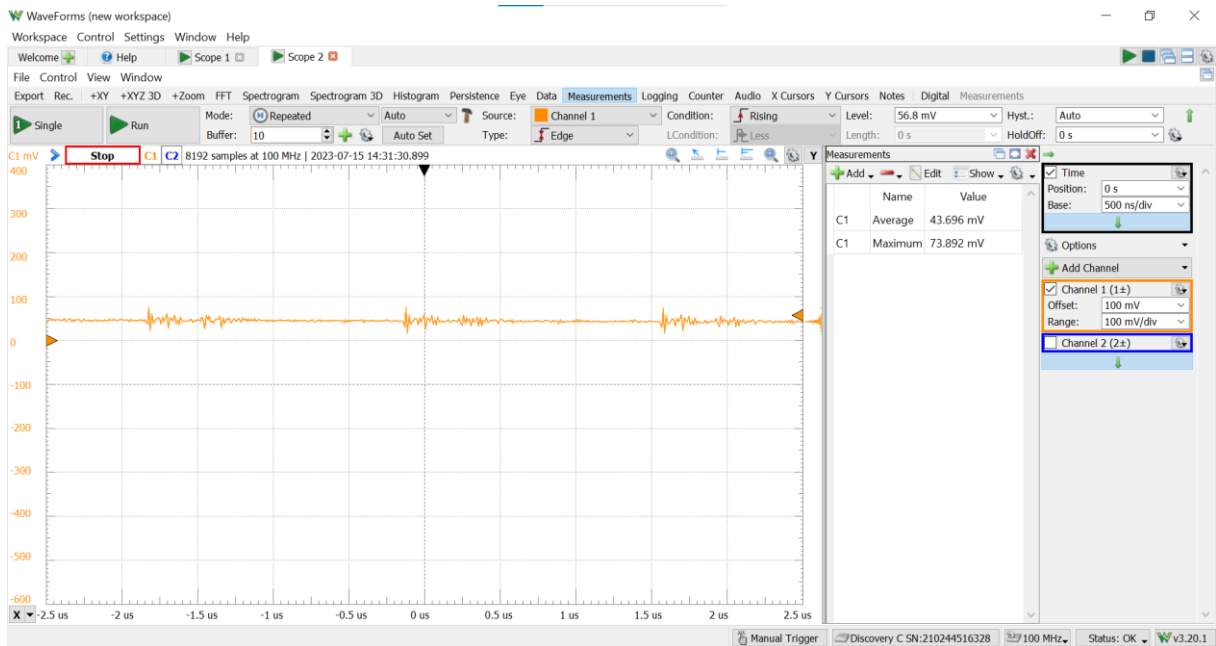
Figura 11 - Imagem do analisador em teste rede CAT-M1 - manhã



Fonte: (autor)

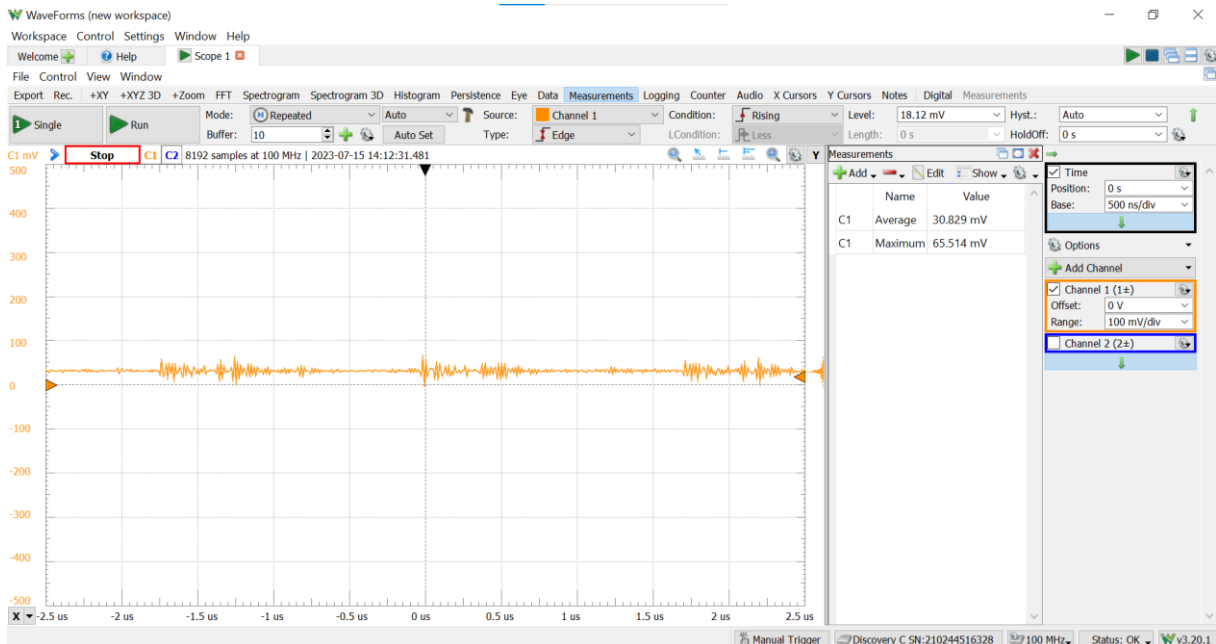


Figura 12 - Imagem do analisador em teste rede GPRS - manhã



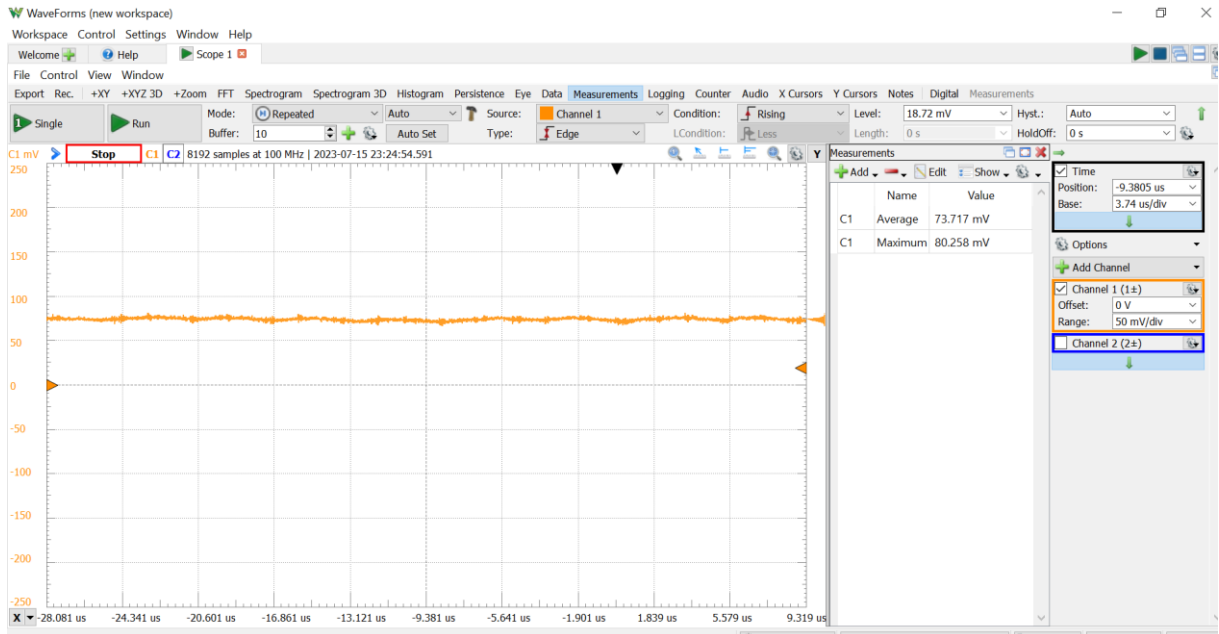
Fonte: (autor)

Figura 13 - Imagem do analisador em teste rede CAT-M1 - tarde



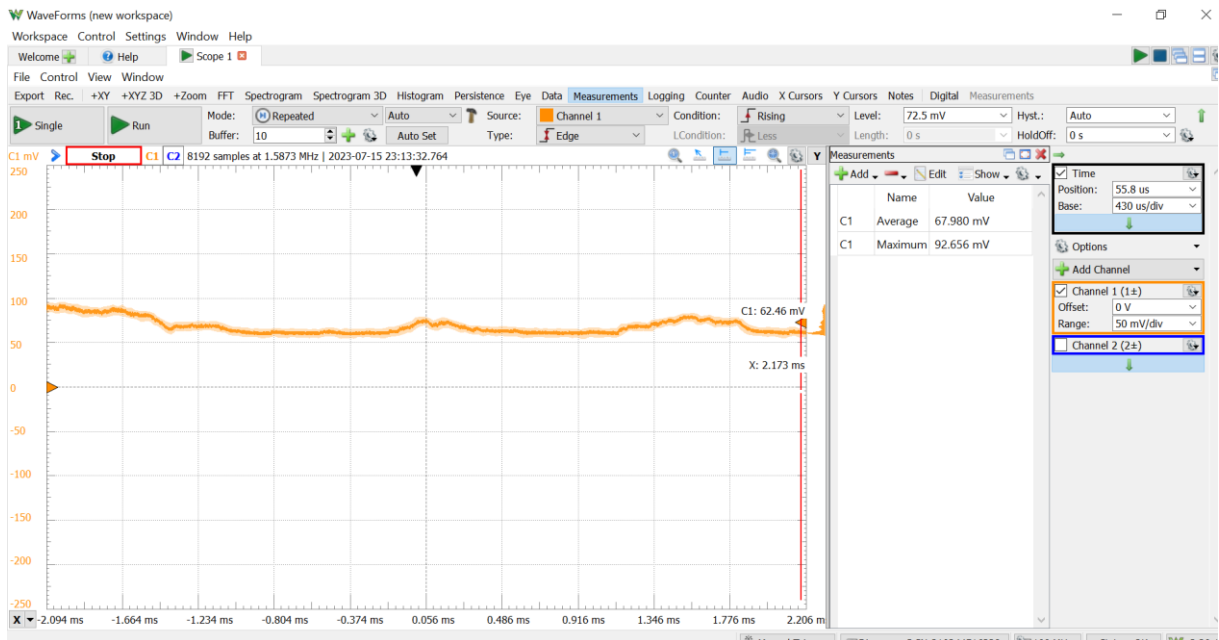
Fonte: (autor)

Figura 14 -Imagem do analisador em teste rede GPRS - noite



Fonte: (autor)

Figura 15 -Imagem do analisador em teste rede CAT-M1 - noite



Fonte: (autor)

Conforme mostrado nas Figuras acima após estudo comparativo e a média das medidas, verificou-se que a tecnologia *Cat-M1* possui menor consumo de energia. Deve salientar que alguns dispositivos *IoT* são estruturados para o uso de pilhas *CR* e de tipos *AAA*, mesmo com o

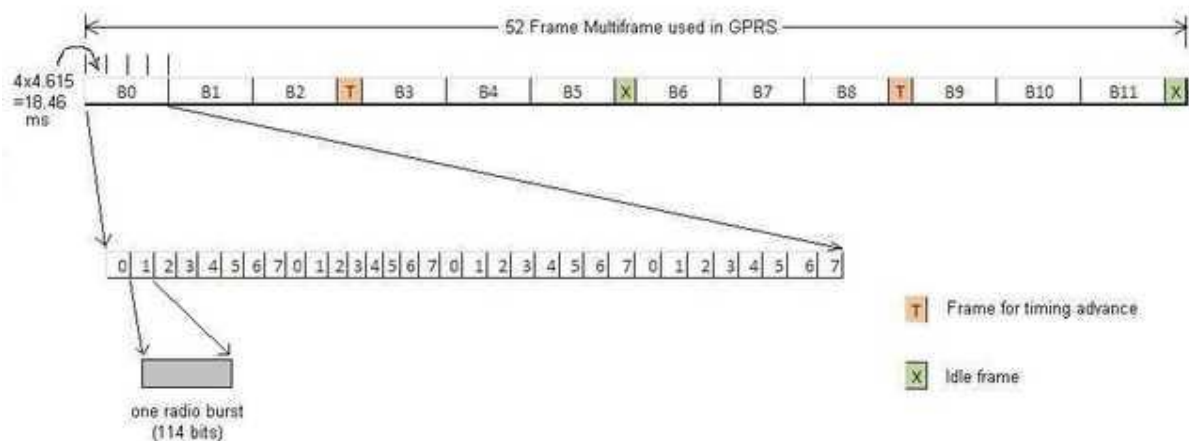
estudo mostrando um valor de +- 5mA menor na *CAT-M1*, com o uso diário, consegue-se um maior tempo de vida para as baterias e pilhas.

Conforme Quadro 1 abaixo, dados do manual do *SIM7000G* foram colocados para compararmos as médias dos dados de testes realizados com os dados do fabricante.

Quadro 1: Comparação das medidas obtidas para as tecnologias GPRS e CAT-M1

	GPRS – Manual VBat =3.8V	GPRS – Teste VBat = 5v	CAT-M1 – Manual VBat = 5V	CAT-M1 – Teste VBat =5V
Max.	161 mA	73,669 mA	68,48 mA	72,237 mA
Média	98 mA	54,64 mA	59,94 mA	44,132 mA

Figura 16 - Estrutura do *frame* do *GPRS*

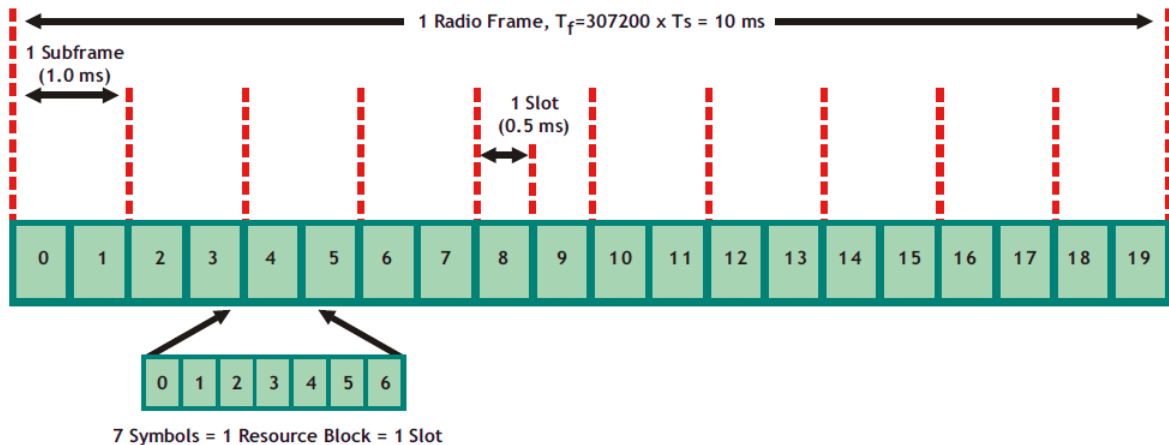


Fonte: <https://www.rfwireless-world.com/Tutorials/gprs-tutorial.html>

Em um sistema *TDMA* que o *GPRS* usa para a transmissão, diferentes quadros lógicos vão nesses 12 blocos tanto no downlink quanto no uplink para transportar a sinalização, bem como o tráfego (dados).

1 Quadro TDMA = 8 TNs (números de slot de tempo) (4,615 ms)

Um 52 quadros MF = 4,615 (52) = 240 ms

Figura 17 -Estrutura do *frame* do *LTE CAT -M1*

Fonte: <https://halberdbastion.com/technology/cellular/4g-lte/estimating-lte-data-rates>

Um *frame* de rádio *FDD LTE* tem 10 milissegundos de duração e é dividido em 10 subquadros de 1 milissegundo, que por sua vez são divididos em dois slots de 0,5 milissegundos. Seguindo esses cálculos, cada quadro de rádio tem 20 slots de comprimento, com cada slot tendo 7 símbolos de comprimento, com cada símbolo tendo 0,071428 ms de comprimento.

Podemos ver que para uma única subportadora podemos transmitir  $7 \times 2 \times 10 = 140$  símbolos por quadro de rádio, igualando  $140 \text{ símbolos} \times (1000 \text{ ms/s} / 10 \text{ ms}) = 14.000$  símbolos por segundo. Usando a tabela acima, a melhor eficiência de portadora possível é de  $5,5547 \text{ bits}$  por símbolo =  $77.765 \text{ bits}$  por segundo por subportadora.

Com o estudo do frame de transmissão dos dados das duas tecnologias, verifica-se que a tecnologia CAT-M1 é superior a GPRS, e que sua diferença de consumo dá-se a forma de transmissão.

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme definido no objetivo deste trabalho, foram mostradas as tecnologias consideradas eficientes e de última geração, a fim de que se apresentasse em qual delas há menor consumo de eletricidade. Vale frisar que governo brasileiro classificou a Indústria de *IoT* como uma área prioritária de foco para o desenvolvimento de cidades inteligentes e nos setores de saúde e agricultura.

Desse modo, sabe-se que o *NB-IoT* e o *CAT-M1* têm como principal benefício o baixo consumo de energia, aumentando a vida útil de alguns equipamentos por até 10 anos sem a necessidade de troca da bateria. Consequentemente, isso reduz os custos operacionais das empresas com manutenção de bateria.

Nesse ínterim, verificou-se, depois de concluídos os testes propostos, que a tecnologia *Cat-M1* possui menor consumo de energia, uma vez que, além disso, proporciona maior qualidade conforme *datasheet*.

Assim, há uma estimativa de que até 2025 mais de 50 bilhões de dispositivos estejam conectados à internet. Certamente, boa parte dessas máquinas usarão os protocolos de comunicação *NB-IoT* e *CAT-M1*.

O chipset usado *SIM7000G*, possui as 3 tecnologias mencionadas no trabalho, um software na qual consiga realizar a comutação com essas tecnologias no mesmo hardware é o aconselhável para não haver interrupções na transmissão dos dados do hardware até o serviço destinado.

Diante disso, fica claro que o atraso do Brasil para o uso dessas novas tecnologias é gigante, em alguns países não existe mais rede GPRS, e aqui, às vezes, existe só a GPRS. Anatel já cita o desligamento total da tecnologia GPRS para 2028 porém não há tempo hábil para a troca de todos os dispositivos móveis que usam essa tecnologia e também muitas cidades no Brasil que somente possui a 2G.

Indica-se o aceleração da implantação do 5G nos grandes centros da cidade e a migração da rede 2G para a 4G para o uso da *CAT-M1* para a migração de equipamentos de rastreador veicular e ativos móveis que usam plano de dados M2M de operadoras de telefonia.

Para trabalhos futuros deve-se estudar o consumo de energia entre *CAT-M1* e 5G para dispositivos M2M.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BOSWARTHICK, D.; ELLOUMI, O.; HERSENT, O. **M2M Communications: A Systems Approach**. [S.l.]: Wiley, 2012. (EBL-Schweitzer). ISBN 9781119994756.

CORDEIRO, G. R. **4G quarta geração de telefonia móvel**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2012.

HOLLER, J. et al. **From Machine-to-machine to the Internet of Things: Introduction to a New Age of Intelligence**. [S.l.]: Academic Press, 2014.

MENDES, J. R. R. **5G: A quinta geração**. Portugal: Faculdade de Engenharia - Universidade do Porto, 2013.

PIROTTI, R. P.; ZUCCOLOTTO, M. **Transmissão de dados através de telefonia celular: arquitetura das redes GSM e GPRS**. Porto Alegre: Universidade do Vale do Rio dos Sinos, 2009.

RODRIGUES, D. b. F. Danusa dos S.; AZEVEDO, J. P. de A. **Telefonia móvel: Evolução e dependência**. Rio de Janeiro: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Campos dos Goytacazes - Rio de Janeiro, 2015.

SILVA, Itala Liz Da Conceição Santana. **Do 1g ao 5g: evolução das Redes de telefonia móvel**. TCC (Monografia) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB – Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas – CETEC – BCET, 2016.

SVERZUT, José Umberto. **Redes GSM, GPRS, EDGE e UMTS: Evolução a Caminho da Terceira Geração (3G)**. 1.ed. São Paulo: Érika, 2005.

TAKEDA, L. N. **Evolução da tecnologia móvel até 2013**. Campus de Guaratinguetá: Faculdade de Engenharia, 2013.

TALAVERA, J. M. et al. **Review of IoT applications in agro-industrial and environmental fields**. Computers and Electronics in Agriculture, Elsevier, v. 142, 2017.

TELECO. In: . [s.n.], 2016. Disponível em: <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialgerswap1/pagina4.asp>. Acesso em: 15 maio 2023.

VERMESAN, D. O. **Internet of Things: Strategic Reserach Roadmap**. CERP IoT – Internet of things european research cluster, v. 54, out. 2009. Disponível em: <https://teletime.com.br/18/10/2022/anatel-propoe-refarming-para-bandas-a-e-b-e-desligamento-do-2g/> - Acesso em: 10 jul. 2023.

LEI N° 13.879, DE 3 DE OUTUBRO DE 2019, [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/ato2019-2022/2019/lei/113879.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2019-2022/2019/lei/113879.htm) - Acessado em: 10 de julho de 2023

## 6 ANEXO 1

```

#define SerialMon Serial
#define SerialAT Serial1
#define TINY_GSM_MODEM_SIM7000
#define TINY_GSM_RX_BUFFER 1024
#define SerialAT Serial1
#define DUMP_AT_COMMANDS
#include <TinyGsmClient.h>
#include <Ticker.h>
#ifdef DUMP_AT_COMMANDS
#include <StreamDebugger.h>
StreamDebugger debugger(SerialAT, SerialMon);
TinyGsm modem(debugger);
#else
TinyGsm modem(SerialAT);
#endif
const char apn[] = "smart.m2m.vivo.com.br";
const char user[] = "vivo";
const char pass[] = "vivo";
#define PIN_TX          27
#define PIN_RX          26
#define UART_BAUD      115200
#define PWR_PIN        4
#define LED_PIN        12
#define POWER_PIN      25
#define IND_PIN        36

void enableGPS(void)
{
    modem.sendAT("+SGPIO=0,4,1,1");
    delay(2000);
    modem.enableGPS();
}

void disableGPS(void)
{
    delay(1500);
}

void modemPowerOn()
{
    pinMode(POWER_PIN, OUTPUT);
    digitalWrite(POWER_PIN, HIGH);
    pinMode(PWR_PIN, OUTPUT);
    digitalWrite(PWR_PIN, HIGH);
    delay(500);
    digitalWrite(PWR_PIN, LOW);
}

```

```

    pinMode(IND_PIN, INPUT);

}
void modemPowerOff()
{
    pinMode(POWER_PIN, OUTPUT);
    digitalWrite(POWER_PIN, HIGH);
    delay(1500);
}
void setup()
{
    SerialMon.begin(115200);
    delay(10);
    SerialAT.begin(UART_BAUD, SERIAL_8N1, PIN_RX, PIN_TX);
    delay(10);
    modemPowerOn();
    Serial.println("> Checando o modem");
    uint32_t timeout = millis();
    while (!modem.testAT()) {
        Serial.print(".");
        if (millis() - timeout > 60000 ) {
            Serial.println("> Modem nao respondendo");
            modemPowerOff();
            delay(5000);
            modemPowerOn();
            timeout = millis();
        }
    }
    Serial.println("\nModem online");
    timeout = millis();
    Serial.print("> Status do SIM card");
    while (modem.getSimStatus() != SIM_READY) {
        Serial.print(".");
        if (millis() - timeout > 60000 ) {
            Serial.println("Sim CARD nao inserido");
            return;
        }
    }

}
Serial.println();
Serial.println("> SIM card existe");
String res = modem.getIMEI();
Serial.print("IMEI:");
Serial.println(res);
Serial.println();
modem.sendAT("+CBAND=ALL_MODE");
modem.waitForResponse();
// 1 CAT-M
// 2 NB-IoT

```



```

// 3 CAT-M and NB-IoT
// Aqui altera a tecnologia
uint8_t preferred = 3;
modem.setPreferredMode(preferred);
// 2 Automatic
// 13 GSM only
// 38 LTE only
// 51 GSM and LTE only
// Deixar automatico para buscar todas as conexoes
modem.setNetworkMode(2);
modem.sendAT("+CNACTCFG=IPV4V6");
Serial.println("\n---Startando GPRS TEST---\n");
Serial.println("Connecting to: " + String(apn));
modem.gprsConnect(apn, user, pass);
delay(100);
RegStatus status;
timeout = millis();
do {
    int16_t sq = modem.getSignalQuality();
    status = modem.getRegistrationStatus();
    if (status == REG_DENIED) {
        Serial.println("> Nao registrado na rede!");
        return;
    } else {
        Serial.print("Sinal:");
        Serial.println(sq);
    }
    if (millis() - timeout > 36000 ) {
        if (sq == 99) {
            Serial.println(" Sem sinal");
            return;
        }
        timeout = millis();
    }
    delay(80);
} while (status != REG_OK_HOME && status != REG_OK_ROAMING);
Serial.println("Obtendo APN");
modem.sendAT("+CGNAPN");
if (modem.waitResponse(3000, res) == 1) {
    res = res.substring(res.indexOf(",") + 1);
    res.replace("\\", "");
    res.replace("\r", "");
    res.replace("\n", "");
    res.replace("OK", "");
    Serial.print("APN conectada na rede:");
    Serial.println(res);
}
modem.sendAT("+CNACT=1");
modem.waitResponse();

```

```

modem.sendAT("+CNACT?");
if (modem.waitResponse("+CNACT: ") == 1) {
    modem.stream.read();
    modem.stream.read();
    res = modem.stream.readStringUntil('\n');
    res.replace("\\", "");
    res.replace("\\r", "");
    res.replace("\\n", "");
    modem.waitResponse();
    Serial.print("Endereco ip:");
    Serial.println(res);
}
modem.sendAT("+CPSI?");
if (modem.waitResponse("+CPSI: ") == 1) {
    res = modem.stream.readStringUntil('\n');
    res.replace("\\r", "");
    res.replace("\\n", "");
    modem.waitResponse();
    Serial.print("O parametro da conexao:");
    Serial.println(res);
}
Serial.println("/*****FIM DOS TESTES CONEXAO *****/");
}
void loop()
{
    enableGPS();
    delay(2000);
    float lat, lon;
    while (1) {
        if (modem.getGPS(&lat, &lon)) {
            Serial.printf("lat:%f lon:%f\n", lat, lon);
            break;
        } else {
            Serial.print("getGPS ");
            Serial.println(millis());
        }
        delay(2000);
    }
}
}

```

NUP: 23081.086834/2023-41

Prioridade: Normal

**Homologação de ata de defesa de TCC e estágio de graduação**

125.322 - Bancas examinadoras de TCC: indicação e atuação

**COMPONENTE**

Ordem	Descrição	Nome do arquivo
11	Trabalho de Conclusão de Curso	TCC -Tiago Sanchotene.pdf

**Assinaturas**

26/07/2023 11:45:37

NATANAEL RODRIGUES GOMES (PROFESSOR DO MAGISTÉRIO SUPERIOR (Ativo))  
07.09.14.00.0.0 - CURSO DE ENGENHARIA EM TELECOMUNICAÇÕES - CETEL



Código Verificador: 3024899

Código CRC: 7fd926bc

Consulte em: <https://portal.ufsm.br/documentos/publico/autenticacao/assinaturas.html>

