

Sistema de Alerta de Risco de Enxurrada por Rede LoRa

Fernando Simplicio de Sousa
fernando.simplicio@sp.senai.br

2022

Resumo

No Brasil 84,4% da população vive em áreas urbanas, com a previsão de atingir a 91% em 2050, fatores que fazem com que esses ambientes estejam altamente vulneráveis às mudanças climáticas ou impactos antrópicos. Em áreas urbanas, a remoção de casas e a ampliação da área verde podem levar anos. Portanto, enquanto isso, pessoas estando em áreas de risco podem ser avisadas sobre os perigos, por meio de alerta, baseados em sirenes e mensagens no celular. Algumas cidades já têm esses sistemas, entretanto são poucos, e carecem de sistemas de alerta mais modernos e efetivos. Esta pesquisa tem por objetivo apresentar o desenvolvimento de um sistema inteligente para alerta de risco de enxurrada por rede LoRa, de baixo custo, que pode ser empregado em escala local nas comunidades carentes e mais vulneráveis localizadas em áreas de riscos. O sistema é composto por rede de pluviômetros de báscula equipado com controlador microprocessado e rádio (*Wireless*) com tecnologia LoRa, com capacidade de operar por meses alimentado por bateria conectados por link LoRa a um *gateway* LoRa de alta capacidade, e por internet a um servidor de rede. Assim, o alerta de risco de enxurrada   enviado em tempo real para os agentes comunitários e pessoas moradoras em áreas de riscos, como para agentes da Defesa Civil, via mensagem de celular e por sirenes instaladas nas áreas de riscos.

Palavras-chaves: Pluviômetro. Rede LoRa.

1 Introdução

As mudanças climáticas associadas a elevada concentração de gases de efeito estufa é uma das consequências mais dramáticas previstas para o aumento da frequência de eventos climáticos extremos (BROWN et al., 2018).

Quando ocorre aumento da emissão de gases de efeito estufa de maneira descontrolada por ações realizadas pelo homem, com destaque na queima de combustíveis fósseis (petróleo e carvão), desmatamento e uso da terra através da agricultura e pastagens, há formação de poluentes que funcionam como um isolante térmico retendo a temperatura, intensificando o efeito estufa (JUNGES et al., 2018) (BEDDINGTON et al., 2012).

Há provas significativas de que o aquecimento causado pela ação humana resultou no aumento da frequência, intensidade e quantidade de precipitações (HOEGH-GULDBERG et al., 2018) (NOBRE; REID; VEIGA, 2012). Segundo (STOCKER et al., 2014), o setor de Agricultura, Florestas e Outros Usos da Terra (AFOLU) é responsável por cerca de 30% de todas as emissões antropogênicas de gases de efeito estufa.

Os cenários de mudanças climáticas apontam para uma mudança de 2 °C, resultando na alteração dos padrões de chuva e de temperatura, intensificando as secas, chuvas intensas, podendo gerar inundações e causar desastres (TRABALHO, 2013). Desastres são acontecimentos que fogem à normalidade, muitas das vezes associado a processos naturais imprevisíveis e resultante de eventos adversos sobre ecossistemas vulneráveis que causam impactos negativos ambientais, econômicos e sociais. Sua origem pode ser natural ou antrópica e as consequências recaem sobre os ecossistemas e populações humanas, de forma mais acentuada nas populações carentes que habitam áreas de risco (GANEM, 2012).

Conforme o recente levantamento dos desastres naturais ocorridos no Brasil - o Atlas Brasileiro sobre Desastres (CEPED), da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), ocorreram 17479 registros de alagamentos, enxurradas, inundações e chuvas intensas entre 1991 a 2019, dos quais 8460 ocorreram na última década. Resultando, em sua totalidade, 2705 óbitos e cerca de 6,4 milhões de pessoas desabrigadas e desalojadas, afetando 63,4 milhões de pessoas. Já os danos materiais são calculados em 55,5 bilhões de reais, em valores corrigidos (CEPED, 2019).

O CEPED categoriza os desastres de acordo com sua frequência e origem, sendo o de movimentos de massa e de inundações bruscas os mais nefastos devido ao número de mortos (GANEM, 2012), de 1198 entre 1991 a 2019, com maior recorrência de desastres na região Sudeste, com 454 registros de movimento de massas, e Sul e Sudeste com 6774 inundações bruscas e alagamento (CEPED, 2019).

No Brasil 84,4% da população vive em áreas urbanas (OLIVEIRA, 2011), com a previsão de atingir a 91% em 2050 (UNITE, 2014), fatores que fazem com que esses ambientes estejam altamente vulneráveis às mudanças climáticas ou impactos antrópicos (ARAGÃO et al., 2013). O Estado de São Paulo, por exemplo, ao se analisar a frequência anual (Figura 1), observa-se que a partir do ano 2001, as enxurradas se tornaram mais frequentes, se concentrando em 76% de todos os registros

nos meses de janeiro, fevereiro e dezembro (Figura 2), decorrentes principalmente, segundo (CEPED, 2013), da formação do anticiclone Alta de Bolívia que se configura sobre o continente sul-americano e contribui para a caracterização da Zona de Convergência do Atlântico Sul (INFOCLIMA, 2018). Como resultado, nos anos de 1991 a 2019, foram registrados 593 desastres de enxurrada no Estado de São Paulo, deixando 48 mil desabrigados, 87 mil desalojados, afetando 2,5 milhões de pessoas e ocasionando 154 mortes (CEPED, 2019).

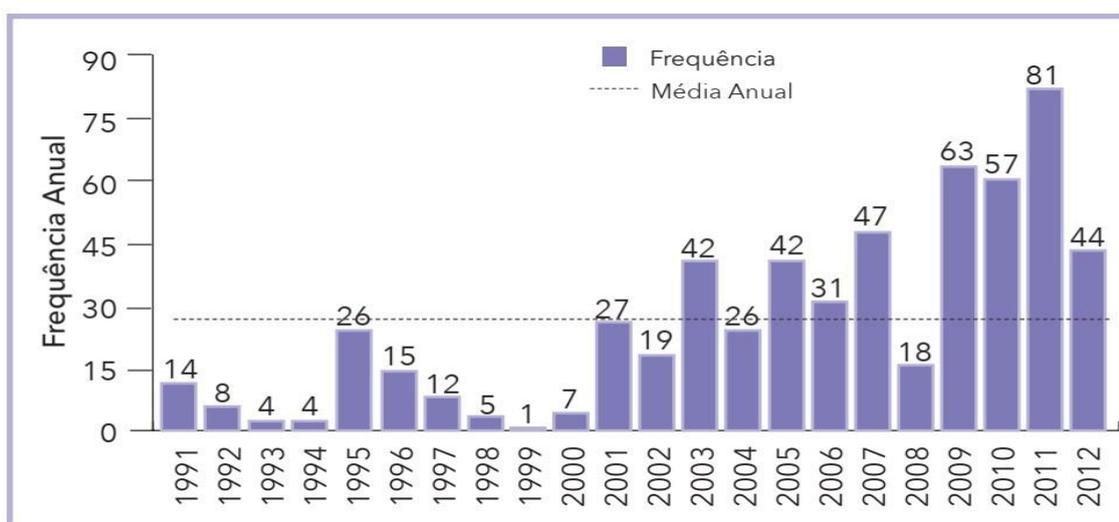


Figura 1 – Frequência anual de desastres por enxurradas no Estado de São Paulo, no período de 1991 a 2012 (CEPED, 2013).

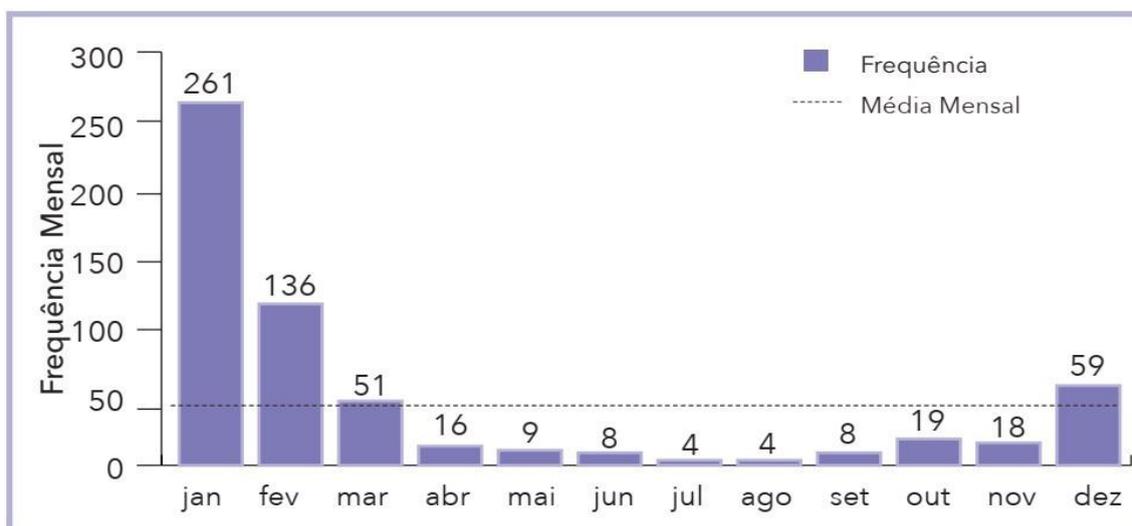


Figura 2 – Frequência mensal de desastres por enxurradas no Estado de São Paulo, no período de 1991 a 2012 (CEPED, 2013).

Para mitigar os efeitos das frequentes inundações nas áreas urbanas em diversas partes do Brasil, pois ao longo da ocupação, as cidades se tornaram impermeáveis, são projetadas obras hidráulicas (vertedores, canais, barragens e sistemas de drenagem) (ARAGÃO et al., 2013). Para encontrar a distribuição temporal da chuva, e

analisar as chuvas intensas em uma localidade, é necessário desagregar as medidas da chuva diária, obtidas de pluviômetros, em durações horárias e sub-horárias e aplicar os ajustes dos parâmetros das equações Intensidade, Duração e Frequência (IDF), utilizando dados estatísticos a série históricas de precipitação ou de vazão medidos por pluviográficos, ou pluviométricos desagregados (PEREIRA; DUARTE; SARMENTO, 2017).

O Instituto Nacional de Meteorologia, Agência Nacional de Águas e Núcleos Estaduais de Meteorologia e Recursos Hídricos possuem redes observacionais, com coletas de dados diários de precipitação de chuva, de conjuntos de estações pluviométricas distribuídas sobre as regiões do Brasil. Além desses, como exemplo, existe o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN) o qual é núcleo responsável pela prevenção e gerenciamento da atuação governamental perante eventuais desastres naturais ocorridos em território brasileiro, responsável pelo monitoramento das áreas de risco de 957 municípios classificados como vulneráveis a desastres naturais.

Em áreas urbanas, a remoção de casas e a ampliação da área verde podem levar anos. Portanto, enquanto isso, pessoas estando em áreas de risco podem ser avisadas sobre os perigos, por meio de alerta, baseados em sirenes e mensagens no celular. Algumas cidades já tem esses sistemas, entretanto são poucos, e carecem de sistemas de alerta mais modernos e efetivos (ARAGÃO et al., 2013).

Iniciativas governamentais são promovidas para introduzir a cultura da percepção dos riscos de desastres naturais no Brasil. O projeto "Pluviômetros nas Comunidades", da CEMADEN, por exemplo, é uma iniciativa responsável por distribuir cerca de 1150 pluviômetros semiautomáticos para serem instalados em áreas de riscos por equipes da comunidade local, complementando a rede observacional do país para o monitoramento e alerta de desastres (AONO et al., 2017). No projeto "Pluviômetros nas Comunidades", diariamente funcionários da defesa civil coletavam as informações dos pluviômetros e as anotavam em planilhas. Esses dados futuramente eram encaminhados para a CEMADEN. Os autores (AONO et al., 2017) propuseram o desenvolvimento de um aplicativo Web que permitiu a entrada desses dados coletados em banco de dados. Porém, em ambos os casos, as anotações das medições são feitas manualmente.

1.1 Problema da Pesquisa

Segundo (HILL; VERJEE; BARRETT, 2010), devem-se aplicar sistemas de alertas para as enxurradas diferenciados em relação aos outros tipos de processos hidrometeorológicos, pois a maior parte dos sistemas de alertas atuais focam em eventos ou fenômenos com um considerável tempo de alerta, sendo que os eventos e fenômenos súbitos ainda necessitam de sistemas de alerta efetivos (HAYDEN et al., 2007), aplicado em escala local, pois os fenômenos meteorológicos que as enxurradas acontecem são geralmente em escalas inferiores a 100 km (BORGA et al., 2011).

1.2 Objetivo

Esta pesquisa tem por objetivo apresentar o desenvolvimento de um sistema inteligente para alerta de risco de enxurrada por rede LoRa, de baixo custo, que pode ser empregado em escala local nas comunidades carentes e mais vulneráveis localizadas em áreas de riscos. O sistema é composto por rede de pluviômetros de báscula equipado com controlador microprocessado e rádio (*Wireless*) com tecnologia LoRa, com capacidade de operar por meses alimentado por bateria conectados por *link* LoRa a um *gateway* LoRa de alta capacidade, e por internet a um servidor de rede.

1.3 Justificativa

Por utilizar a tecnologia LoRa, a rede consegue suportar um grande número de pluviômetros e operar em longas distâncias e em baixo consumo de energia.  aqui, neste contexto, que as redes LoRa passam a ser uma excelente escolha para esta aplicação de conectividade e Internet das Coisas, pois os pluviômetros podem ser mantidos e confinados em áreas restritas, por um longo período, coletando e enviando dados para a central de monitoramento ambiental desenvolvida (FELTRIN et al., 2018).

Assim, o alerta de risco de enxurrada  enviado em tempo real para os agentes comunitários e pessoas moradoras em áreas de riscos, assim como para os agentes da Defesa Civil, via mensagem de celular e por sirenes instaladas em pontos estratégicos (também conectados por um link *Wireless* LoRa) e não requerendo a atuação de operador diuturnamente.

2 Revisão de Literatura

A quantidade de chuva  normalmente medida em termos da espessura da camada de água que se forma em uma superfície plana, impermeável e horizontal de 1m² de rea. Cada 1 milímetro de chuva, equivale a quedar 1 litro de água por metro quadrado. A altura pluviométrica e intensidade são características estudadas.

Os pluviômetros são aparelhos que registram o total de precipitação acumulada e sendo usados para estudo de precipitação de curta duração.  comum encontrar pluviômetros com superfície receptora circular com área entre 200 a 500 cm², sendo geralmente instalado a 1,50 m do solo em campo aberto (NASCIMENTO et al., 2017) (PINHEIRO et al., 2015).

A Figura 3 apresenta um pluviômetro de báscula. Seu mecanismo  simples, trata-se de um funil coletor que concentra a água da chuva em uma cuba de um dispositivo basculante, quando a cuba cheia esvazia, a operação  registrada por um sensor em um *datalogger*. A cada movimento das cubas articuladas  calculado o peso de uma lâmina de chuva. Assim,  registrado pelo pluviômetro a quantidade de lâminas de chuva e a frequência dos movimentos das cubas (NASCIMENTO et al., 2017). Para determinar a intensidade de precipitação multiplica-se a área de captação do pluviômetro pelo volume de cada basculada.

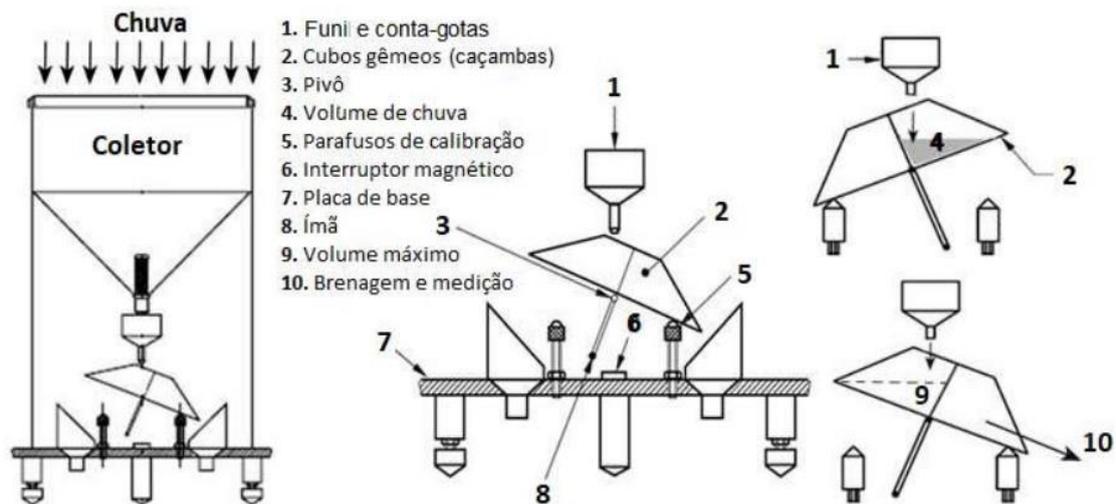


Figura 3 – Pluviógrafo de balança (SILVA et al., 2018).

Para calcular a altura da lâmina d'água ou altura pluviométrica é utilizada a Equação 1, onde H é a altura da chuva em mm, V é o volume de água coletado em ml, A é a área de seção de captação de água em cm^2 e D é o diâmetro da seção de captação em cm. Já a intensidade de chuva é definida pela Equação 2, onde I é a intensidade de chuva em mm/h , H é a altura da chuva em mm e Δt é o tempo em h.

$$H = 10 \times \frac{V}{A} = 40 \times \frac{V}{\pi D^2} \quad (1) \quad I = \frac{H}{\Delta t} \quad (2)$$

Em áreas onde mais de um pluviômetro são instalados, é possível calcular, por meio da Equação 3, a altura de chuva de média ponderada nos diferentes coletores, onde \bar{H} é a média ponderada de H em mm e A é a área de influência do coletor em km^2 . O fator de ponderação é a área de influência de cada pluviômetro.

$$\bar{H} = \frac{\sum (H \times A)}{\sum A} \quad (3)$$

Os pluviômetros devem ser instalados em locais distantes de qualquer obstáculos que causem alterações nas medições, tais como paredes, árvores e arbustos e a, no mínimo, 3 m de distância dos obstáculos ou de 30° a 45° com a horizontal do topo do pluviômetro até o topo do obstáculo (SENTELHAS; CARAMORI, 2002).

Erros sistemáticos inerentes ao princípio de funcionamento mecânico da balança (NASCIMENTO et al., 2017) e influência de variáveis meteorológicas (vento e temperatura), influenciam na precisão dos registros da altura precipitada, principalmente em chuvas mais intensas (GWAM, 2012). Portanto, são necessários estudos sobre a eficácia, acurácia e desempenho dos pluviômetros de balança.

No estudo feito pelos autores (PINHEIRO et al., 2015), a variação da frequência de movimentos da balança, o indicador de intensidade pluviométrica dos pluviógrafos de balança e pluviômetro convencional (*Ville de Paris*, o qual armazena a chuva e, com o auxílio de uma proveta, mede o volume captado no dia), foram medidos, analisados e comparados ao longo de um ano. Os resultados despertam

atenção para a tendência de subestimação dos registros do pluviógrafo de balança para os períodos de maior intensidade pluviométrica. Entretanto, tais diferenças nos resultados não inviabilizaram as medidas registradas, porém, indicam a necessidade de corrigi-las.

Semelhantemente, os autores (BRAGA et al., 2007) investigaram 7 modelos diferentes de pluviômetros visando avaliar suas capacidades de responder adequadamente à ocorrência de chuvas intensas. Os pluviômetros com tecnologia de eletrônica embarcada foram os que tiveram a menor taxa de erro para precipitações. Os demais pluviômetros, de modelo mais antigos, tiveram erros de 6% a 10% nas diferentes faixas de precipitação estudadas.

Para reduzir as incertezas dos resultados obtidos e assegurar a confiabilidade das medições feitas pelo pluviômetro balança, calibrações precisam ser efetuadas periodicamente, utilizando padrão de referência rastreável (quase sempre outro pluviômetro de *Ville de Paris* ou balança digital) de laboratórios credenciados (NASCIMENTO¹ et al., 2019). No final, tem-se o valor da correção do instrumento.

2.1 Rede LoRa

A LoRa é uma tecnologia proprietária e licenciada pela empresa Semtech Corporation (CORPORATION, 2020), destinada para redes de baixa potência e longo alcance, sendo a Semtech a única fabricante de *chips* LoRa (CARRILLO; SEKI, 2017). Utiliza uma tecnologia de modulação proprietária, derivada de *Chirp-Spread Spectrum* (CSS), que permite o ajuste da taxa de dados em função da sensibilidade dentro de uma largura de banda de canal fixo (ZHAO et al., 2010). Esta mesma taxa de dados pode ser negociada, a fim de otimizar o desempenho da rede, em função das distâncias e da variação da potência de transmissão dos dispositivos LoRa (ABEELE et al., 2017).

A técnica de CCS permite aumentar a sensibilidade, assim aumentando a comunicação a longas distâncias. Ela permite decodificar corretamente transmissões com 19.5 dB abaixo do ruído de fundo (CORPORATION, 2020), e originalmente, foi utilizado em radares por terem imunidade a ruídos e alta segurança.

O LoRa pode operar nas faixas de frequência não-licenciadas de 430 MHz (Ásia), 433 MHz (EUA), 869 MHz (Europa) e em 915 MHz (Brasil). A largura de banda pode ser 125 kHz, 250 kHz ou 500 kHz, sendo que, quanto maior a largura de banda, maior será a taxa de transmissão, o que acarretará, contudo, na redução da sensibilidade do rádio. Assim, a frequência da portadora, *Spreading Factor* (SF), largura de banda, potência de transmissão (P_t) e *Code Rate* (CR) são parâmetros que podem ser ajustados de acordo com a característica desejada: robustez a ruído, consumo de energia, alcance e taxa de dados.

Conforme a especificação do *chip* SX1276 (SX1276, 2019) a sensibilidade necessária para a recepção de sinais no rádio receptor LoRa muda conforme o SF configurado e seu limiar é de -123 dBm para SF7, de -126 dBm para SF8 e de -129 dBm para SF9.

A *Signal-to-Noise Ratio* (SNR) é a proporção mínima de potência de sinal

desejada pelo nível de ruído de fundo que pode ser desmodulada, e é utilizado na LoRa como indicador da qualidade do sinal. A tecnologia LoRa é capaz de demodular sinais mesmo quando eles estão a 19,5 dB abaixo do nível de ruído (BOR et al., 2016). Isso mostra o quanto esta tecnologia é capaz de operar em ambientes ruidosos.

3 Metodologia

A rede de pluviômetros desenvolvida é composta de dois kits Heltec *wireless stick* com tecnologia LoRa conectados por meio de um link *wireless* LoRa. Foram feitas medições em campo para determinar o desempenho da tecnologia LoRa em aplicações de monitoramento de áreas suburbanas (*outdoor*). Este estudo permitiu a obtenção de informações sobre a potência e qualidade dos sinais recebidos do rádio LoRa ao longo do ambiente suburbanas, informações essas necessárias para a implantação dos pluviômetros com tecnologia LoRa em áreas de risco.

3.1 Controladora LoRa

A controladora LoRa acoplada aos pluviômetros é composto por um kit *wireless stick* da Heltec Automation (AUTOMATION, 2018), que inclui um ESP32 com microprocessador *dual-core* de 32 bits e um *chip* LoRa SX1276. A escolha deste kit deve-se por diversos fatores, com destaque a facilidade de programação, por possuir diferentes redes de conexão em um único módulo (LoRa, Wi-Fi e Bluetooth), por ter baixo consumo energético e por operar com bateria quando em modo *Ultra Low Power* (ULP). Além desses, tem-se o circuito integrado para o gerenciamento de carga e descarga da bateria, circuito de proteção contra sobrecargas e de detecção de energia da bateria.

O *software* embarcado no ESP32 foi desenvolvido em linguagem C e fez o uso das bibliotecas nativas ESP-IDF disponibilizada pela Espressif. A função deste *software* é contar a quantidade de vezes que a balança inclina por meio da leitura do sensor magnético acoplado no pluviômetro. Após cada pulso gerado é transmitido um pacote de dados via *link* LoRa. Ao receber o pacote, a central receptora LoRa o transmite para o *software* de monitoramento e alerta, via internet. O *software* de monitoramento e alerta armazena os pacotes recebidos em banco de dados e frequentemente compara o valor armazenados com os limites estabelecidos pelo usuário no sistema. Um alarme é disparado quando for atingido ou ultrapassado o limite máximo de precipitação em mm/h. Após o disparo do alarme, o *software* de monitoramento e alerta envia um pacote de dados para a central, com o objetivo de que retransmita para demais dispositivos LoRa responsáveis pelo disparo dos alarmes.

3.2 Pluviômetro

No projeto foi utilizado um pluviômetro de balança de uso profissional, o qual contém funil, corpo e base de apoio, fabricado em material ABS, com balança já previamente ajustada. A área de coleta da chuva é de 165 cm² e a resolução é de 0,25 mm, resultando em 4 pulsos do sensor magnético acoplado ao eixo central da

báscula para cada 1 mm de água de chuva. A taxa de erro máxima para as diferentes precipitações é de 4%, até 30 mm/h, de 5% até 50 mm/h e de 7% até 90 mm/h, conforme dados fornecidos pelo fabricante do equipamento.

Para realizar os ajustes é injetado água com uma seringa nas básculas e por meio de parafusos se ajustam os limites para o percurso da gangorra fazendo com que cada báscula tenha volumes idênticos de água.

A Figura 4a apresenta o pluviômetro de báscula utilizado no projeto montado sobre uma haste vertical de 1,50 m e equipado com o controlador responsável pelas medições das precipitações com suporte a rede LoRa. Já a Figura 4b apresenta a área de coleta da chuva do pluviômetro.

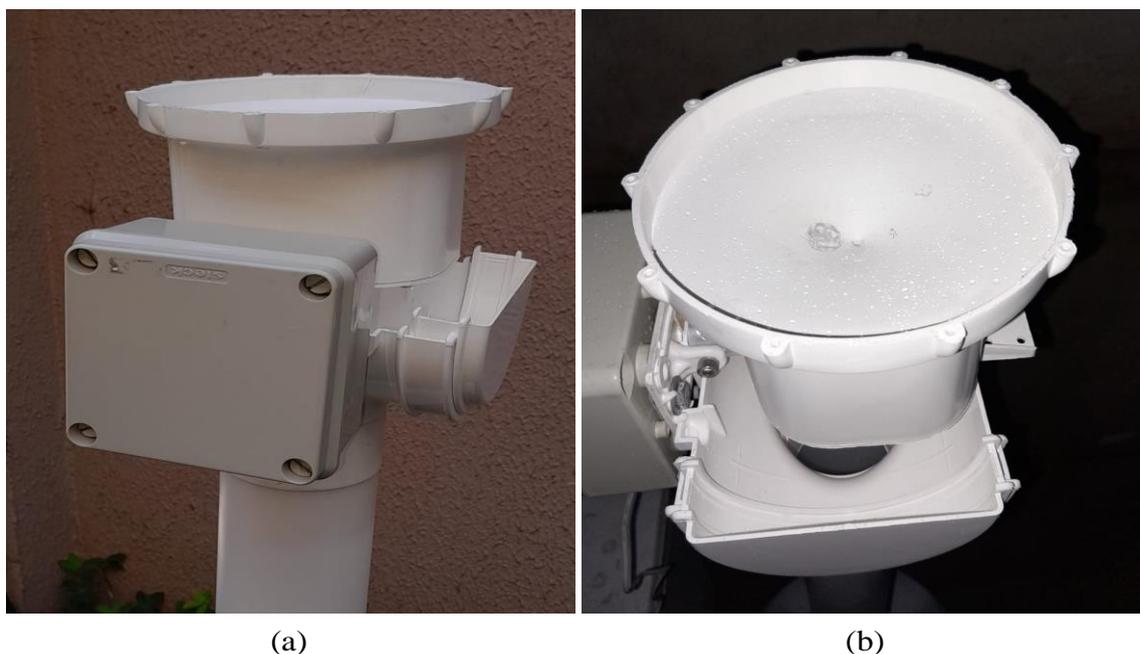


Figura 4 – Pluviômetro de báscula com controlador LoRa integrado.

3.3 Ensaios Experimentais para Determinação do Alcance da Rede LoRa

Para análise da rede LoRa foram feitos experimentos práticos em campo por meio de protótipos. Foram utilizados dois Kit Heltec *wireless stick* com *chip* LoRa SX1276 integrado, para transmissão (TX) e recepção (RX) dos sinais, respectivamente.

Inicialmente os dispositivos LoRa (transmissores e receptores) foram colocados a 1,50 m do solo, na vertical, posicionados nas distâncias de 10, 50, 75, 115, 157, 265, 410, 575 m, respectivamente. Para cada distância foram transmitidos pacotes de dados contendo 23 bytes e medidos, no rádio receptor, os valores de potência recebida P_r e a relação sinal ruído (SNR), para diferentes valores de *spreading factor* (de 7 a 12). A potência de transmissão P_t , a largura de banda (BW) e a taxa de código (CR) foram configuradas a 20 dBm, 125 kHz e $\frac{4}{5}$, respectivamente. O experimento prático foi realizado em região urbana, conforme apresentado pela Figura 5.



Figura 5 – Ensaios Experimentais para Determinação do Alcance da Rede LoRa.

A P_r e a SNR foram medidas, pois assim, é possível estimar as distâncias entre o pluviômetro com tecnologia LoRa, responsável pela transmissão, e a central de recepção LoRa, responsável em receber o pacote de dados via *link* LoRa e retransmitir via internet para o *software* de monitoramento e alerta de enxurrada.

3.4 Sistema de Monitoramento e Alerta de Enxurrada

Para o monitoramento remoto de cada pluviômetro conectado a rede LoRa foi criado um Sistema de Monitoramento e Alerta de Enxurrada (SMAE), que pode ser acessado via *website*, capaz de receber e armazenar em banco de dados os valores transmitidos pela central de recepção LoRa. Por meio do SMAE o usuário pode escolher o pluviômetro no qual deseja obter as informações da precipitação acumulada no período selecionado (dia, mês ou ano). Também é possível obter um resumo estatístico dos mínimos e máximos, média e mediana, além do desvio padrão e dispersão dos períodos selecionados. A Figura 6 apresenta o SMAE.



Figura 6 – Sistema de Monitoramento e Alerta de Enxurrada (SMAE).

Nos alertas, os valores máximos de precipitação são configurados no SMAE pelo administrador, o qual pode ser, por exemplo, um agente comunitário ou da Defesa Civil.

4 Resultado e Discussão

Os resultados dos ensaios em campo são representados na Figura 7. Nela podemos verificar que, tanto a relação sinal ruído (SNR, Figura 7a), quanto a potência recebida (RSSI, Figura 7b) são duramente impactados a partir de distâncias superiores a 150 m, independentemente do fator de espalhamento (SF de 7 a 12). A degradação nessas duas figuras de mérito, que caracterizam a qualidade do sinal, é decorrente de interferências nos sinais, geradas por obstáculos naturais e artificiais (muros, casas, veículos, etc.). Porém, a potência do sinal recebido se manteve acima da potência do ruído de fundo até os 225 m para todos os SF (0 dB). A partir desta distância, percebe-se o aumento da perda de pacotes para todos os valores de SF, sendo mais acentuada nos SF de 7 a 9.

Por meio da Figura 7b é possível verificar que, a partir de 250 m a P_r passou a ser menor que -120 dBm, o que acarretou o aumento da perda de mensagens. A distância máxima atingida com SF7 foi de 265 m, e de 410 m para SF8 a SF10, e de 575 m para SF11 e SF12, respectivamente.

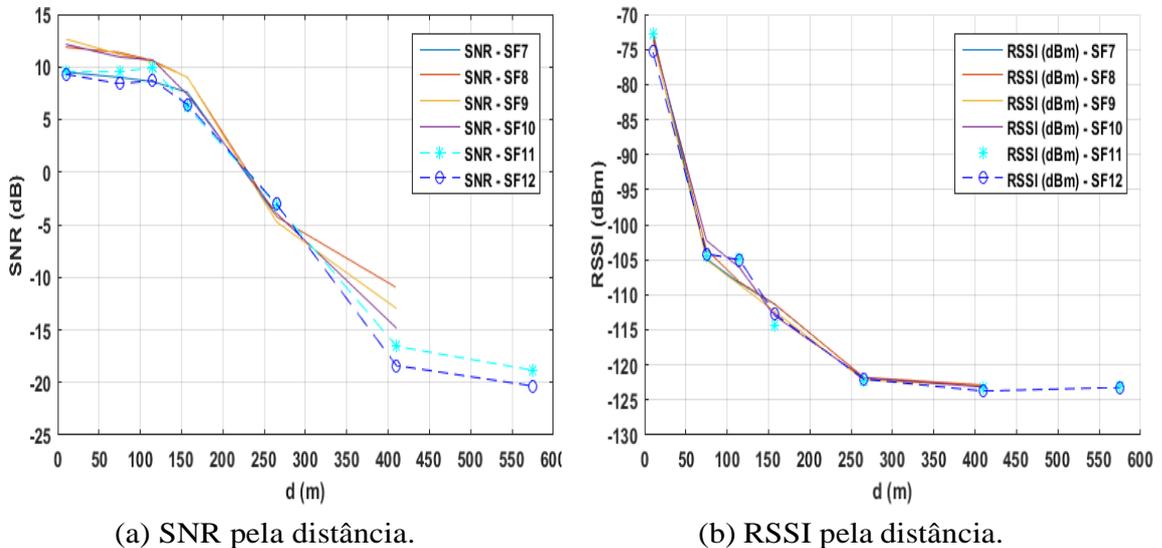


Figura 7 – Relação da SNR e RSSI pela distância para SF de 7 a 12.

A Tabela 1 apresenta as distâncias (m) máximas estimadas para o posicionamento dos pluviômetros e os alarmes LoRa com a central de recepção LoRa e a quantidade máxima de mensagens que podem ser transmitidas por hora (conforme parâmetros regionais LoRaWAN (AU915-928MHz) (SOUSA; CAPOVILLA; CASELLA, 2021)). A largura de banda e Code Rate foram fixadas em 125 kHz e 4/5, respectivamente, e o tamanho de cada mensagem em 23 bytes.

Tabela 1 – Máxima Distância Estimada (m) entre o Pluviômetro e a Central de Recepção LoRa para diferentes valores de SF.

SF	Máxima Distância (m)	Mensagens por Hora (h)
7	265	583
8	410	318
9	410	174
10	410	97
11	575	43
12	575	24

Apesar do número máximo de mensagens por hora e o tamanho das mensagens parecerem pequenos. Na verdade, essa aplicação IoT não demanda grande volume de informações trocadas. Mesmo a condição de 24 mensagens por hora (1 mensagem a cada 2,5 minutos ou 150 segundos) é suficiente para contabilização do número de movimentos de balança e contabilização adequado do volume de água em períodos inferiores a 10 minutos. A limitação de 23 bytes por pacote não é problema para este projeto. Uma vez que, a única informação transmitida será o número de movimentos realizados pela balança desde a última transmissão.

5 Conclusão

O sistema inteligente de alerta de enchurradas proposto traz uma alternativa inovadora e viável aos sistemas atuais parcialmente automatizados que demandam leituras manuais de pontos de medição de precipitação. Além disso, oferece todos os benefícios que soluções IoT podem propiciar a seus usuários, como painel de controle com acesso remoto, avisos personalizados aos interessados e integração com outros sistemas.

O pluviômetro de balança utilizado, devido a sua simplicidade, não oferece barreira monetária e é de fácil instalação. Os estudos feitos com transmissores e receptor LoRa permitiu determinar distância máxima superior a 500 metros entre cada um deles. Sendo o receptor apto a receber sinais de múltiplos transmissores, estima-se uma cobertura de pelo menos 1 km² por conjunto receptor e transmissores.

Em um cenário de mudanças climáticas cada vez mais intensas, com eventos cada vez mais severos. Acreditamos que o sistema proposto, apesar de não ter pretensão de solucionar o problema, possa colaborar com a mitigação de possíveis transtornos, prejuízos, perdas financeiras e humanas.

Como citado no trabalho, são necessários estudos mais aprofundados sobre a eficácia, acurácia e desempenho dos pluviômetros de balança para sua efetiva utilização. Sendo assim, a continuação natural deste trabalho é a validação do sistema proposto junto às soluções já consolidadas e implementadas em ambientes semelhantes ao qual ela se destina.

Referências

ABEELE, F. Van den et al. Scalability analysis of large-scale lorawan networks in ns-3. *IEEE Internet of Things Journal*, IEEE, v. 4, n. 6, p. 2186–2198, 2017. Citado na página 7.

AONO, A. H. et al. Pluviapp: Ferramenta web para análise e visualização de dados pluviométricos. *Anais dos Encontros Nacionais de Engenharia e Desenvolvimento Social-ISSN 2594-7060*, v. 14, n. 1, 2017. Disponível em: <<https://anais.eneds.org.br/index.php/eneds/article/download/471/430>>. Acesso em: 10 out. 2022. Citado na página 4.

ARAGÃO, R. d. et al. Chuvas intensas para o estado de sergipe com base em dados desagregados de chuva diária. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, SciELO Brasil, v. 17, p. 243–252, 2013. Disponível em: <<https://bityli.com/rhkWveZU>>. Acesso em: 10 out. 2022. Citado 3 vezes nas páginas 2, 3 e 4.

AUTOMATION, H. *Heltec Automation*. [S.l.]: Obtido de <https://heltec.org/project/wifi-lora-32>, 2018. Citado na página 8.

BEDDINGTON, J. R. et al. What next for agriculture after durban? *Science*, American Association for the Advancement of Science, v. 335, n. 6066, p. 289–290, 2012. Disponível em: <<https://www.science.org/doi/10.1126/science.1217941>>. Acesso em: 10 out. 2022. Citado na página 2.

BOR, M. C. et al. Do lora low-power wide-area networks scale? In: *Proceedings of the 19th ACM International Conference on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems*. [S.l.: s.n.], 2016. p. 59–67. Citado na página 8.

BORGA, M. et al. Flash flood forecasting, warning and risk management: the hydrate project. *Environmental Science & Policy*, Elsevier, v. 14, n. 7, p. 834–844, 2011. Disponível em: <<https://bityli.com/kckjmtzM>>. Acesso em: 10 out. 2022. Citado na página 4.

BRAGA, S. M. et al. Avaliação da performance de pluviômetros de báscula: técnicas para a realização de ensaios pluviométricos em laboratório. *XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos e 8º Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa*, p. 1–16, 2007. Disponível em: <<http://www.sbagro.org/files/biblioteca/1342.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2022. Citado na página 7.

BROWN, S. et al. Quantifying land and people exposed to sea-level rise with no mitigation and 1.5 c and 2.0 c rise in global temperatures to year 2300. *Earth's Future*, Wiley Online Library, v. 6, n. 3, p. 583–600, 2018. Disponível em: <<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/2017EF000738>>. Acesso em: 10 out. 2022. Citado na página 2.

CARRILLO, D.; SEKI, J. Rural area deployment of internet of things connectivity: Lte and lorawan case study. In: IEEE. *2017 IEEE XXIV International Conference on Electronics, Electrical Engineering and Computing (INTERCON)*. [S.l.], 2017. p. 1–4. Citado na página 7.

CEPED, U. Atlas brasileiro de desastres naturais: 1991 a 2012. *Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres, Federal University of Santa Catarina, Florianópolis*, 2013. Disponível em: <<https://atlas.ceped.ufsc.br/>>. Acesso em: 10 out. 2022. Citado na página 3.

CEPED, U. Atlas brasileiro de desastres naturais: 1991 a 2019. *Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres, Federal University of Santa Catarina, Florianópolis*, 2019. Disponível em: <<https://atlas.ceped.ufsc.br/>>. Acesso em: 10 out. 2022. Citado 2 vezes nas páginas 2 e 3.

CORPORATION, S. *LoRa® and LoRaWAN®: A Technical Overview*. [S.l.]: Semtech Corporation Camarillo, CA, USA, 2020. Citado na página 7.

FELTRIN, L. et al. Lorawan: Evaluation of link-and system-level performance. *IEEE Internet of Things Journal*, IEEE, v. 5, n. 3, p. 2249–2258, 2018. Citado na página 5.

GANEM, R. S. Gestão de desastres no brasil. *Estudo. Consultoria Legislativa. Câmara dos*, 2012. Disponível em: <<https://www.terrabrasilis.org.br/ecotecadigital/images/gestao20ganem.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2022. Citado na página 2.

GWAM, C. U. 22. World Meteorological Organization (WMO). *Yearbook of International Environmental Law*, v. 21, n. 1, p. 617–632, 06 2012. ISSN 0965-1721. Disponível em: <<https://doi.org/10.1093/yiel/yvs027>>. Citado na página 6.

HAYDEN, M. et al. Information sources for flash flood warnings in denver, co and austin, tx. *Environmental Hazards*, Taylor & Francis, v. 7, n. 3, p. 211–219, 2007. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1016/j.envhaz.2007.07.001?journalCode=tenh20>>. Acesso em: 10 out. 2022. Citado na página 4.

HILL, C.; VERJEE, F.; BARRETT, C. Flash flood early warning system reference guide. *University Corporation for Atmospheric Research: Boulder, CO, USA*, p. 204, 2010. Acesso em: 10 out. 2022. Citado na página 4.

HOEGH-GULDBERG, O. et al. Impacts of 1.5 c global warming on natural and human systems. *Global warming of 1.5 C.*, IPCC Secretariat, 2018. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/02/SR15_Chapter3_Low_Res.pdf>. Acesso em: 10 out. 2022. Citado na página 2.

INFOCLIMA. *Climatologias de Precipitação e Temperatura no Brasil*. 2018. <<http://infoclimal.cptec.inpe.br/>>. (Accessed on 10/11/2022). Citado na página 3.

JUNGES, A. L. et al. Efeito estufa e aquecimento global: uma abordagem conceitual a partir da física para educação básica. *Experiências em Ensino de Ciências. Cuiabá. Vol. 13, n. 5 (dez. 2018), p. 126-151*, 2018. Disponível em: <<https://www.lume>.

ufrgs.br/bitstream/handle/10183/194261/001085731.pdf?sequence=1>. Acesso em: 10 out. 2022. Citado na página 2.

NASCIMENTO, D. d. et al. Análise comparativa de dados pluviométricos com pluviômetro e pluviógrafo de báscula. *XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Florianópolis, XXII SBRH*, 2017. Disponível em: <<https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/60/PAP022845.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2022. Citado 2 vezes nas páginas 5 e 6.

NASCIMENTO¹, A. E. et al. Desenvolvimento de um sistema de verificação de pluviômetro de báscula. 2019. Disponível em: <http://meteorologia.florianopolis.ifsc.edu.br/formularioPI/arquivos_de_usuario_bkp/20112E.pdf>. Acesso em: 10 out. 2022. Citado na página 7.

NOBRE, C. A.; REID, J.; VEIGA, A. P. S. Fundamentos científicos das mudanças climáticas. *São José dos Campos, SP: Rede Clima/INPE*, 2012. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/36/2018/01/nobre_reid_veiga_fundamentos_2012.pdf>. Acesso em: 10 out. 2022. Citado na página 2.

OLIVEIRA, L. A. P. d. *Primeiros resultados do censo demográfico 2010*. SciELO Brasil, 2011. 3–4 p. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbepop/a/Zd5VJgdVjj94fyVBmHvrTyC/?lang=pt>>. Acesso em: 10 out. 2022. Citado na página 2.

PEREIRA, D. C.; DUARTE, L. R.; SARMENTO, A. P. Determinação da curva de intensidade, duração e frequência do município de ipameri–goiás. *REEC-Revista Eletrônica de Engenharia Civil*, v. 13, n. 2, 2017. Disponível em: <<https://revistas.ufg.br/reec/article/view/43330>>. Acesso em: 10 out. 2022. Citado na página 4.

PINHEIRO, A. et al. Acurácia na medição da altura de precipitação em pluviômetros de báscula. *Revista de Estudos Ambientais*, v. 16, n. 1, p. 38–44, 2015. Disponível em: <<https://bu.furb.br/ojs/index.php/rea/article/download/4386/2889>>. Acesso em: 10 out. 2022. Citado 2 vezes nas páginas 5 e 6.

SENTELHAS, P. C.; CARAMORI, P. H. Inconsistências na medida da chuva com pluviômetros de báscula, utilizados em estações meteorológicas automáticas. *Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria*, v. 10, n. 2, p. 301–304, 2002. Disponível em: <http://meteo-eau.wdfiles.com/local--files/start/recomendacoes_tecnicas_para_instalacao_de_estacoes.pdf>. Acesso em: 10 out. 2022. Citado na página 6.

SILVA, N. F. d. et al. Desenvolvimento de um pluviômetro automático de baixo custo utilizando material reutilizável para internet das coisas. Universidade Federal Rural do Semi-Árido, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/bitstream/prefix/2928/2/NADISONFS_MONO.pdf>. Acesso em: 10 out. 2022. Citado na página 6.

SOUSA, F. S.; CAPOVILLA, C. E.; CASELLA, I. R. Efeitos da colisão e interferência em redes ultra-densas lorawan. In: *IEEE. 2021 14th IEEE International*

Conference on Industry Applications (INDUSCON). [S.l.], 2021. p. 524–530. Citado na página 11.

STOCKER, T. F. et al. *Climate change 2013: The physical science basis. contribution of working group i to the fifth assessment report of ipcc the intergovernmental panel on climate change*. Cambridge University Press, 2014. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>>. Acesso em: 10 out. 2022. Citado na página 2.

SX1276, L. 77/78/79 datasheet. *Online: http://www.semtech.com/images/datasheet/sx1276.pdf*, 2019. Citado na página 7.

TRABALHO, P. C. d. G. de. ao primeiro relatório de avaliação nacional do painel brasileiro de mudanças climáticas. *Sumário Executivo do GT2. PBMC, Rio de Janeiro, Brasil*, p. 28, 2013. Disponível em: <<http://pages.gseis.ucla.edu/faculty/bates/articles/information.html>>. Acesso em: 24 out. 2011. Citado na página 2.

UNITE, N. *World urbanization prospects*. [s.n.], 2014. Disponível em: <<https://population.un.org/wup/publications/files/wup2014-report.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2022. Citado na página 2.

ZHAO, J.-c. et al. The study and application of the iot technology in agriculture. In: *IEEE. Computer Science and Information Technology (ICCSIT), 2010 3rd IEEE International Conference on*. [S.l.], 2010. v. 2, p. 462–465. Citado na página 7.