

Utilização de Blockchain e tecnologias LPWAN em sistemas de energia inteligente

PROJETO DE TCC - Disciplina de TCC290009

Guilherme da Silva de Medeiros

Estudante do Curso de Engenharia de Telecomunicações

Mario de Noronha Neto

Professor orientador

Richard Demo Souza

Professor coorientador

Semestre 2020-1

Resumo- *Mudanças nos paradigmas tecnológicos vem acontecendo cada vez mais rápidas com o passar dos anos. O desenvolvimento da tecnologia, das telecomunicações, das técnicas de transmissão e processamento mudaram como o mundo funciona, entretanto, até agora, a maneira como a energia elétrica é gerada, distribuída e comercializada ainda é muito parecido com o que era no começo da popularização da eletricidade. Entretanto, isso tende a mudar com um novo paradigma no funcionamento do comércio de energia elétrica.*

A chamado de energia inteligente é o processo de descentralização da produção de energia elétrica aliado a tecnologias como blockchain, que possibilita transações seguras e um mercado mais fluído e como LPWAN, sistemas de transmissão de dados capazes de funcionar com baixíssimo custo energético e com alcance amplo para fazendas de energia sitiadas onde não há cobertura de sinal celular.

Espera-se que os experimentos realizados apresentem resultados positivos na integração de blockchain e LoRa (LPWAN) com sistemas de energia inteligente e que seja possível implementar um cenário modelo onde possam ser extraídos resultados mais promissores sobre esta maneira de se gerar, monitorar e vender energia elétrica, assim como estudar os impactos que o emprego deste novo funcionamento teria nos vários ramos da sociedade global.

Palavras-chave: Smart Grid. Smart Energy. Energy Commerce. Blockchain. LPWAN. Lora.

1 Introdução

Em Julho de 2004 era estabelecida pelo decreto N^o 5.163 a possibilidade da comercialização de energia elétrica entre agentes não governamentais (BRASIL, 2004). O decreto possibilita a geração e comercialização de energia por empresas privadas, em um ambiente de contratação livre e cria convenções e regulamentações para tal.

A descentralização da geração de energia, conhecida como energia distribuída, é um processo que está acontecendo no mundo todo (JIAYI et al., 2007), motivada por questões ambientais, devido a possibilidade de geradores menos poluentes, por questões econômicas, devido a possibilidade da criação de um mercado de venda de energia e por questões tecnológicas, já que a distribuição de energia centralizada é um problema sério para o desperdício (OCHOA et al., 2010). No Brasil, o decreto de 2004 menciona formas de geração de energia permitidas (solar, eólica e biomassa), e determina quantidade mínima de geração (500 kW), limitando os agentes que poderiam produzir e fornecer energia elétrica.

Em 2017 foi realizada a consulta pública N^o 33 DE 05/07/2017 sobre o aprimoramento do marco legal do setor elétrico, que vai de acordo com as tendências de descentralização mencionadas acima. Ela menciona as mudanças tecnológicas que pressionam as mudanças no mecanismo de produção energético (carros elétricos, por exemplo) e menciona a descentralização e produção distribuída de energia como o futuro do sistema elétrico no país, também pelo emprego de tecnologias de medição avançada e de controle bidirecional, que faria com que o consumidor tivesse uma atuação mais ativa na gestão do seu próprio consumo energético.

A consulta pública mencionada relata *fricções* no mercado Brasileiro em relação ao modelo atual de produção energética e um possível esgotamento do modelo regulatório e comercial vigente no país e que se faz necessário construir uma visão de futuro, contemplando elementos básicos que leve o país à uma matriz energética adaptada às pressões do mercado interno e externo ao qual o setor elétrico brasileiro é exposto, garantindo a satisfação do país e a sustentabilidade dos seus recursos no longo prazo.

Estudos da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) de 2018 mostram (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2018) que a matriz energética brasileira, mesmo que menos do que no mundo, faz bastante utilização de energia não renovável, somando 57,1% de toda a energia produzida no país, onde 36,4% é apenas para petróleo e derivados, forma extremamente poluente de se produzir energia.

O Brasil se destaca de outros países do mundo na utilização de hidroelétricas e derivados da cana, entretanto, mesmo que menos poluente que a utilização de carvão e petróleo, as hidroelétricas apresentam problemas diferentes mas tão importantes quanto: São extremamente caras de se construir (BAGHER, 2015) o que faz com que só valha a pena em casos onde a usina seja usada por longos anos, impossibilitando o uso desse tipo de energia para operações curtas. Além disso, o alagamento necessário para as hidroelétricas é extremamente destrutivo para o local, há como argumentar que este processo é ainda mais poluente do que a queima de combustíveis fósseis (BAGHER, 2015) por culpa do alagamento e desutilização do espaço, pela morte de civilizações nativas inteiras e pela

produção de gases que contribuem para o efeito estufa que são gerados pela morte de espécies vegetais alagadas (DUCHEMIN, 1995).

Portanto, apesar de ainda possuir uma matriz energética mais diversificada e menos poluente (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2018) do que países europeus, o Brasil ainda é capaz de melhorar seu quadro de produção de energia e emissão de gases que contribuem para o efeito estufa diversificando mais ainda mais sua malha energética e decentralizando a produção de energia elétrica.

Como é discutido na consulta pública Nº 33 DE 05/07/2017, faz parte das ações governamentais para possibilitar essa decentralização da produção de energia a remoção de barreiras de participação de agentes no mercado, ou seja, remover os limites e as restrições da produção de energia decentralizada, facilitando e incentivando o aparecimento desses atores produtores e a geração de energia elétrica. Dentre essas mudanças, destacam-se a redução gradativa da exigência de carga para contratar energia elétrica no mercado livre, a redução das responsabilidades das distribuidoras em relação à gestão de compra de energia, maior granularidade temporal e talvez até mesmo cálculo em tempo real do preço, a diminuição de incentivos governamentais para melhorar o ambiente de mercado livre na comercialização de energia e a homogeneização do produto energia.

Entretanto, a decisão de decentralizar e permitir o livre mercado de energia elétrica não surge sem levantar novas questões. A legislação já determina quem pode vender e comprar e como a produção deve ser feita, entretanto, ela não sugere maneiras concretas para a realização de ambos. É necessário um mecanismo que possibilite o controle de quanta energia é gerada, vendida e recebida, também é necessário um sistema que garanta a segurança das transações de compra e venda e também uma maneira de transmitir as informações dos geradores de energia em grandes distâncias, já que a produção normalmente se faz em interiores onde a comunicação não é simples e a cobertura de operadoras de telecomunicações é baixa. Além disso, seria interessante que todo esse sistema não fosse caro em termos energéticos, caso contrário, não resolveria o problema do desperdício de energia já citado.

São objetivos deste trabalho estudar uma forma eficiente e segura de realizar a operação de decentralização da energia no país e a transição para um paradigma de *smart energy* (energia inteligente), onde a energia é produzida, vendida e distribuída utilizando técnicas de segurança de dados e sistemas avançados de telecomunicações para garantir um funcionamento orgânico de todos os tramites que populam a causa.

1.1 Objetivo Geral

Identificar as potencialidades, as limitações, desafios e abrangência do uso das tecnologias blockchain e LPWAN no gerenciamento de sistemas de energia.

1.2 Objetivos Específicos

1. Implementar uma blockchain;
2. Verificar e utilizar sistemas de blockchain disponíveis;

3. Compreender o funcionamento de sistemas de transmissão LPWAN LoRa;
4. Realizar testes com a tecnologia LoRa para a transmissão de informações chaves para o gerenciamento de sistemas de energia;
5. Desenvolver interface gráfica para visualização das informações transmitidas;
6. Analisar a viabilidade do sistema desenvolvido em um cenário prático de sistemas de energia.

2 Fundamentação Teórica

2.1 Energia Inteligente

Energia inteligente, *smart grid*, *smart energy*, são termos que são usados não para tecnologias especificamente mas sim para conceitos maiores que utilizam de um vasto espectro de tecnolgies para criar uma forma completamente diferente de gerar, fornecer, comprar e utilizar energia elétrica (FALCÃO, 2010). A prática permite uma série de controles e possibilidades que não existem em um sistema de alimentação energético comum, principalmente permitindo a implatação de estratégias de controle e otimização da transmissão de maneira inteligente. O desenvolvimento da energia inteligente produz uma infra-estrutura de produção e comunicação de dados importantes sobre a geração de energia (FALCÃO,2010).

As características que diferenciam a geração (Figura 1), venda e transmissão de energia elétrica por sistemas inteligentes de sistemas normais são (FALCÃO, 2010):

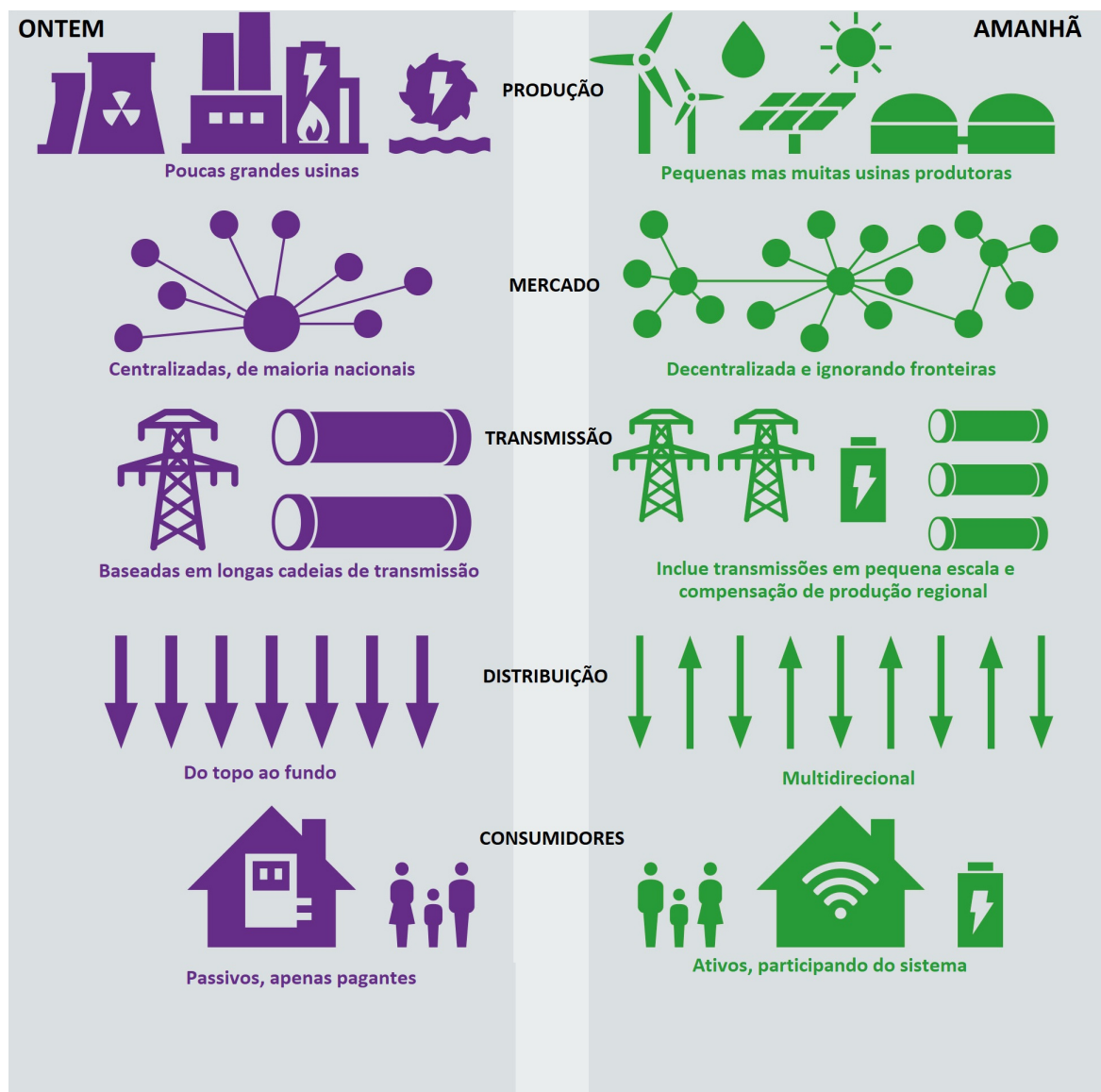


Figure 1 - Smart grid (HEINRICH BÖLL STIFTUNG, 2018, modificada)

- Capacidade de um sistema se auto recuperar ou evitar a falta de energia elétrica;
- Participação dos dados e vontades dos consumidores no planejamento da produção da energia;
- Capacidade de resistir a ataques físicos e *cyberattacks*;
- Maior qualidade e estabilidade da energia elétrica;
- Acomodação de várias maneiras de produção energética diferentes em uma única rede;
- Redução do impacto ambiental;
- Resposta exata a demanda;
- Favorecimento do mercado descentralizado de energia elétrica: diminuição de preços e maior relação entre produtor de energia e consumidor.
- Menor desperdício de energia em transmissões à longa distância.

O principal fator que concebe todas essas vantagens é a quantidade de tecnologia de segurança, tratamento, processamento e transmissão dos dados dos atores geradores dessa rede elétrica. Isso, junto com uma grande adesão da energia inteligente em um local, gera maior capacidade, menos risco, menos desperdício, menor preço e maior competitividade nas transações e no uso da energia, colocando o consumidor como atuante determinante na produção e não só no consumo.

Dentre as tecnologias necessárias para desenvolver um sistema de *smart grid*, o passo primordial é implementar uma geração de energia distribuída, conhecida como Microgeração (FALCÃO, 2010), onde a rede é mais variada e com pequenos geradores de qualquer fonte. Isso permite a utilização de pequenas usinas de energia renovável (fotovoltaica, eólica, etc), todas conectadas juntas a um sistema energético mais disperso e menos centralizado, cada um com a capacidade de fornecer e vender energia. Depois da implementação dos micro-geradores, é interessante possuir informações sobre a rede, consumidores e fornecedores: Dados sobre a medição da energia elétrica produzida na região para estipulação de um preço variável, sobre o consumo total e particular de cada consumidor, sobre a capacidade atual de todo o sistema de gerar energia, etc.

É este conjunto de informações que batiza o conceito de Energia Inteligente, é a energia não mais sendo gerada de maneira descontrolada e arbitrária, mas sim através do processamento e compreensão de dados determinantes para o funcionamento. Através de informações úteis é possível alcançar (FALCÃO, 2010) as características citadas acima, neste texto.

2.2 Blockchain

No ano de 2008, um artigo chamado "*Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System*", escrito pelo pseudônimo Satoshi Nakamoto, foi lançado propondo a primeira criptomoeda, batizada de BitCoin pelo próprio autor. Compreendendo o contexto histórico é fácil de entender o porquê: o mundo vivia uma crise econômica global e transações financeiras pela internet ficavam cada vez mais comuns, entretanto a desconfiança com o meio ainda era alta e uma nova ferramenta precisava ser proposta para o uso em massa do comércio online.

Até o presente ano, a popularidade da criptomoeda cresceu, mas não o suficiente para torná-la uma moeda global como Nakamoto sugere em seu artigo (NAKAMOTO, 2008), entretanto o autor apresentou com o artigo uma solução para o problema de segurança de trocas financeiras em ambientes digitais, conhecido hoje como Blockchain.

A tecnologia consiste em um conjunto de registros (PUTHAL, 2018) (ou ledgers) digitais, chamados aqui de blocos, compartilhados de forma descentralizada e possuindo um conteúdo e um identificador (hash). A descentralização da informação garante a segurança do sistema, já que um registro centralizado facilita ataques (PUTHAL, 2018). A blockchain elimina a necessidade de um ator central em transações pela internet utilizando um registro público, imutável, descentralizado e incorruptível. A tecnologia ainda guarda todas as informações de todas as transações já realizadas pelo sistema (HASSAN et al., 2019), permitindo a qualquer usuário da cadeia visualizar transações relacionadas a eles

à qualquer momento, de toda a história, transações essas que não podem ser modificadas nem deletadas por nenhum ator da blockchain.

Um bloco de um sistema baseado em blockchain consiste nos participantes (ou atores) do sistema em uma conexão *Peer-to-Peer*, *hashes* criptográficas e assinaturas digitais. Desta forma, quando um agente quer realizar uma transação ele faz o *broadcast* da sua assinatura digital pela rede com sua requisição e uma chave pública que é verificada por todos os nós da rede (PUTHAL, 2018). Após o pedido ser validado, é transformado em uma *hash*, todos os blocos da cadeia o verificam e o armazenam, decentralizando a transação, que fica guardada em blocos pela rede.

Apesar do artigo de Nakamoto sugerir o uso da rede de blocos para *criptomoedas*, as aplicações de blockchain hoje em dia são muito vastas e nem sempre relacionadas a transações monetárias (HASSAN et al., 2019). A segurança da informação tornou-se ainda mais importante com o passar dos anos e é possível perceber aplicações atuais e futuras da tecnologia em Internet das Coisas (IoT), sistemas governamentais, transações inteligentes, carros inteligentes, smartphones, identificação pessoal, certificados, entre outros (PUTHAL, 2018).

2.2.1 Funcionamento e composição de uma blockchain

A implementação de uma blockchain pode ser feita de diversas maneiras e utilizar linguagens de programação variadas, desde que atendam aos requisitos de funcionamento atestados.

A tecnologia consiste simplesmente em uma lista de blocos (PUTHAL, 2018) com características específicas encadeados de forma organizada e ordenada (figura 2), onde cada bloco carrega uma informação - um dado importante para a aplicação da blockchain - e um identificador, que faz com que seja possível localizar o atual bloco caso seja necessário. Como a lista é encadeada, cada bloco possui um ponteiro para o bloco seguinte.

A lista não é necessariamente duplamente encadeada, ou seja, não necessariamente os blocos estão interligados no sentido inverso do crescimento da lista. Não existe necessidade da possibilidade de saltar de um bloco para o anterior. Entretanto, cada bloco carrega, por motivos de segurança e não de facilidade de percorrer a rede, a informação do identificador do bloco anterior.

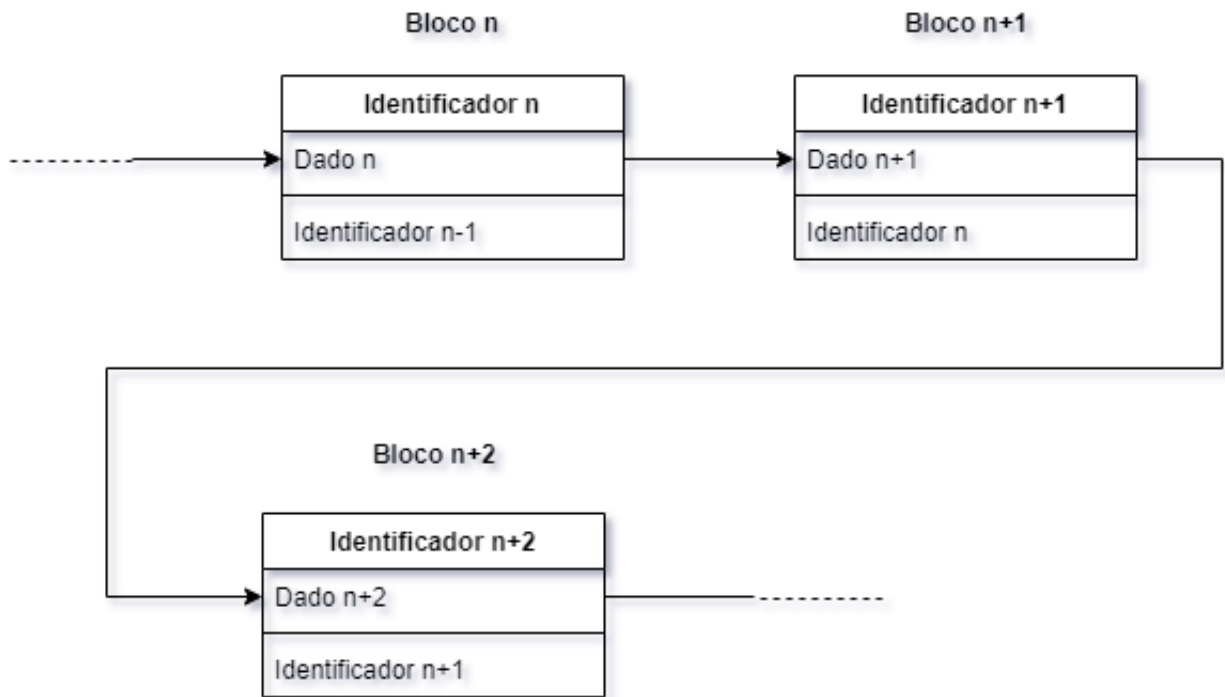


Figure 2 - Diagrama de blocos para uma blockchain funcional (imagem criada pelo autor)

Essa informação está presente porque o identificador de um bloco não é simplesmente um numeral inteiro ordenado ou uma sessão de caracteres aleatórios, mas sim um dado criptografado da informação (dado importante) do bloco, dessa forma, o conteúdo de cada nó da blockchain está atrelado ao identificador do próprio bloco (KOSBA, 2016).

Dessa forma, se um bloco de posição n tiver seu conteúdo alterado, seu identificador também sofrerá a alteração. Entretanto, o bloco posterior $n+1$ já possui a hash de identificação do bloco n . A alteração da informação causa a ruptura da cadeia, que constantemente verifica esses dados. Ao realizar essa verificação, qualquer bloco alterado é identificado e inutilizado, garantindo a segurança da informação presente e tornando as transações invioláveis (PUTHAL, 2018).

Além disso, os dados são armazenados de maneira distribuída, não possuindo um centro que concentra as informações. Dessa forma, a rede se torna mais confiável, já que não existe maneira de uma pessoa ou organização alterar a blockchain por inteiro tentando burlar o sistema de segurança.

Em questão de criptografia, algoritmos assimétricos são usados (PUTHAL, 2018).

2.2.2 Criptografia assimétrica em Blockchains

De maneira à entender o que é e como funciona um sistema de criptografia assimétrica, primeiramente é necessário compreender o que é criptografia em si.

O objetivo geral da criptografia é (MARTINS TEODORO, 2018) a proteção de informação sigilosa e a delegação de autorização para usuários terem acesso a essa informação. Para realizar a tarefa de proteção de dados, um algoritmo (não necessariamente no sentido de programação de softwares) é utilizado para embaralhar e codificar o que está escrito ou deposto. Para desembaralhar a mensagem, existe uma chave que detém o

segredo de criptografia, e qualquer pessoa que possua a chave consegue ter acesso ao dado (TERADA, 2008, apud MARTINS TEODORO, 2018).

Muitas vezes é impossível descriptografar uma mensagem mesmo possuindo o conhecimento do algoritmo de criptografia. Isso acontece porque muitos dos algoritmos usam de dados aleatórios (horário exato em que o algoritmo aconteceu, por exemplo) para criar a informação codificada, e com base nisso cria a chave necessária para descriptografar. Isso faz com que somente com a chave seja possível revelar a mensagem escondida.

Duas grandes classes de criptografia existem (MARTINS TEODORO, 2018), diferenciados pela utilização de apenas uma ou mais chaves de segurança. Tem-se a criptografia simétrica (figura 3), onde uma mesma chave é utilizada para criptografar e descriptografar uma mensagem. Dessa forma, tanto quem envia a mensagem quanto quem recebe possuem a mesma chave secreta.

Alguns exemplos de criptografia simétrica são (MARTINS TEODORO, 2018) o DES (*Data Encryption Standard*) e o AES (*Advanced Encryption Standard*). O primeiro utiliza uma chave secreta de 56 bits para criar um bloco de 64 bits. Em 2001 o NIST (*National Institute of Standards and Technology - USA*) desenvolveu o AES, que utiliza um bloco de 128 bits para fazer a codificação, com comprimento da chave variável, substituindo o DES na maioria dos casos.



Figure 3 - Representação de um sistema de criptografia simétrico (SAMPAIO, 2012, apud MARTINS TEODORO, 2018)

A criptografia assimétrica (figura 4) (STALLINGS, 2015, apud MARTINS TEODORO, 2018) se difere da anterior por possuir duas chaves de criptografia: uma secreta e uma pública, de conhecimento de todos.

A chave pública é utilizada para realizar a criptografia e codificar a mensagem, já a chave privada é usada para descriptografar e revelar o conteúdo da mensagem cifrada. Desta forma, cada usuário possui sua única e exclusiva chave privada, dado que nem quem criou a criptografia possui, tornando a criptografia assimétrica mais confiável do que sua contraparte.

Alguns sistemas conhecidos de algoritmos para criptografia assimétrica são (TERADA, 2008, apud MARTINS TEODORO, 2018) o RSA (*Ribest-Shamir-Adleman*) e o algoritmo *Diffie-Hellman*. Ambos fazem utilização de cálculos de fatores de números primos e possuem suas próprias estratégias para garantir a segurança na troca de chaves.

Nenhum sistema de segurança garante que os dados protegidos sejam intransponíveis e que suas funcionalidades tenham eficácia absoluta. Mesmo os sistemas de criptografia citados aqui, simétricos e assimétricos, não podem garantir a proteção dos dados contidos e alguns tipos de ataques ainda funcionam mesmo em sistemas com bastante proteção.



Figure 4 - Representação de um sistema de criptografia assimétrico (FERREIRA, 2011, apud MARTINS TEODORO, 2018)

A blockchain, entretanto, garante (desde que descentralizada, implementada corretamente, etc) que a modificação de um dado burlado seja percebida pelos outros atores da rede, tornando um sistema com proteção avançada e com detecção de invasões.

2.2.3 Blockchains disponíveis

Nem todo fornecedor de um serviço que utiliza blockchain necessita implementar sua própria rede para ter acesso a tecnologia, aliás, essa prática é bastante rara visto que gera centralização e vai contra algumas das bases da tecnologia.

Considerando isso, é possível entrar e manter um contrato inteligente em uma rede já construída e aceita pelo mercado, mantendo a descentralização. Uma das opções é usar alguma das várias aplicações da Ethereum, que disponibiliza uma rede *open-source* para desenvolvedores (ETHEREUM, 2020).

A IBM (HYPERLEDGER, 2020) desenvolve aplicações no projeto Hyperledger, de livre acesso com mais de 275 empresas utilizando o serviço em todo o mundo, que fornece aplicações (figura 5) e clientes em blockchain para utilização e redes já em funcionamento para qualquer usuário utilizar.

Alguns serviços da HyperLedger como o *Besu* (HYPERLEDGER, 2020) são simplesmente clientes para redes que usam as blockchains implementadas pela Ethereum. Outros, como o *Fabric*, fornecem fundamentos para o desenvolvimento de aplicações e soluções utilizando arquitetura modular.

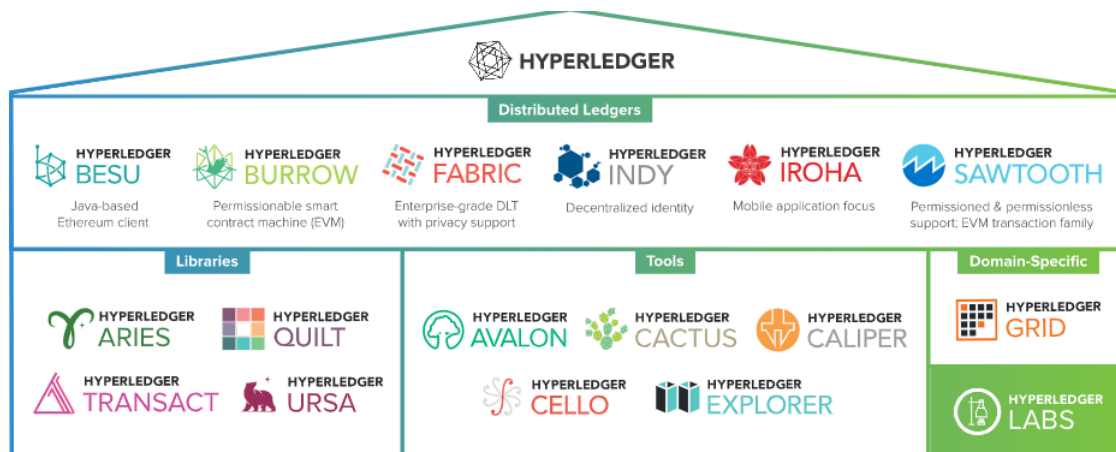


Figure 5 - Serviços disponíveis nas aplicações Hyperledger (HYPERLEDGER, 2020)

2.3 LPWAN

As Redes de área ampla de baixa potência (*Low Power Wide Area Network*), ou simplesmente LPWAN, representam um novo paradigma da comunicação sem fio (RAZA, 2017), com o objetivo de realizar a comunicação principalmente onde ela não existe ou é muito cara. Os locais onde não há cobertura da rede de celular nem de redes wireless de curto alcance normalmente representam grandes interiores fora da cobertura também de rede cabeada, ou seja, a comunicação beira o impossível e aplicações onde a transferência de dados é essencial são simplesmente descartadas pela falta de possibilidade.

Como o nome sugere, as LPWAN são geridas por dispositivos que utilizam baixíssima energia para funcionar (RAZA, 2017), possibilitando a utilização de baterias de longa duração para fazer com que a transmissão de dados seja ininterrupta por longos períodos de tempo. Essa característica é, novamente, bastante útil para aplicações funcionando no interior, onde até mesmo ligações com a energia elétrica são dificultadas. Um exemplo desse cenário são as *smart farms*, fazendas inteligentes que utilizam sensores (umidade, incidência de luz, altura das plantas, etc) e outros dispositivos para gerir plantações, que são posicionados em meio à hectares sem conexão alguma com a rede elétrica.

Esta característica de baixo consumo energético é uma das vantagens deste tipo de transmissão sobre redes celulares, onde a eficiência energética não é grande o suficiente nem para manter os dispositivos funcionando por tempo suficiente antes da troca de alimentação, nem para manter a vida útil das próprias baterias por mais de 10 anos como às vezes é necessário (RAZA, 2017).

Entretanto, o baixo consumo energético não impede que as LPWANs possuam a capacidade de transmissão de dados à longa distância, com aplicações que possuem capacidade de transmissão de até muitas dezenas de quilômetros entre os dispositivos de comunicação, principalmente pelo uso de frequências abaixo de 1GHz, aumentando a propagação e a distância possível para a comunicação.

Essas duas características tornam esse tipo de rede bastante peculiar e útil para aplicações em *smart cities*, *IoT*, monitoramento industrial, monitoramento de estruturas, *smart farms*, monitoramento industrial, monitoramento e rastreamento de animais selvagens e *smart grids*, principalmente se levar em consideração a capacidade da tecnologia

de fazer a conexão com vários dispositivos entre si.

Às custas de baixo consumo energético e largo alcance, LPWANs não possuem alta taxa de transferência (RAZA, 2017) e, para as aplicações citadas, isso não é um problema: monitoramento e o envio de informações de controle normalmente não precisam de altas taxas de transmissão de dados. Desta forma, o apelo das redes de área ampla e baixa potência é gigantesco e surgem no momento de necessidade, quando a internet das coisas e o monitoramento inteligente estão modificando os meios de produção no mundo.

Além disso, o sucesso comercial das LPWAN, vem atrelado ao baixo custo dos dispositivos, sendo possível (RAZA, 2017) construir uma rede inteira com um grande número de dispositivos conectados com poucos dólares de custo de *hardware*.

Três exemplos de protocolos e tecnologias de transmissão LPWAN bastante utilizados são SIGFOX, LoRa e NB-IoT.

2.3.1 SIGFOX

Conectando redes ponto a ponto, a SIGFOX utiliza rádio definido por software (RAZA, 2017) para conectar os dispositivos à estação base utilizando uma rede IP. Os equipamentos de ponta se conectam à essas estações utilizando modulação BPSK em uma banda de portadora ultra estreita (em torno de 100HZ). Por utilizar banda ultra estreita, a SIGFOX faz bom uso da largura de banda e experiencia baixo nível de ruído fazendo transferência máxima de 100 bits por segundo.

2.3.2 LoRa

LoRa (Figura 6) é uma tecnologia (RAZA, 2017) de camada física de transmissão que modula sinais com frequência abaixo de 1GHz utilizando uma técnica criada e empregada apenas nessa aplicação. A técnica espalha um sinal de banda estreita em um canal com banda maior, resultando em um sinal mais difícil de detectar, entretanto mais resiliente a interferências e ruído.

Com capacidade de transmissão que varia de 300 bites por segundo até alguns poucos milhares de bits por segundo, o LoRa tem sensibilidade de recepção gigantesca, baixo consumo energético, grande alcance e taxa de transmissão razoável para as aplicações onde é necessário.

A grande vantagem do LoRa (LORA ALLIANCE, 2015) é sua capacidade à longas distâncias. Um único transmissor ou estação base pode cobrir cidades inteiras de centenas de quilômetros quadrados, sendo o LoRa, especialmente com o LoRaWAN, a tecnologia de transmissão de dados padronizada com maior capacidade de transmissão à longas distâncias (LORA ALLIANCE, 2015).

LoRaWAN define um protocolo de comunicação (LORA ALLIANCE, 2015) e a arquitetura para o sistema, enquanto o LoRa é a camada física que permite a o link para comunicação à longas distâncias. Ambos são responsáveis pelas vantagens já mencionadas na utilização da tecnologia.

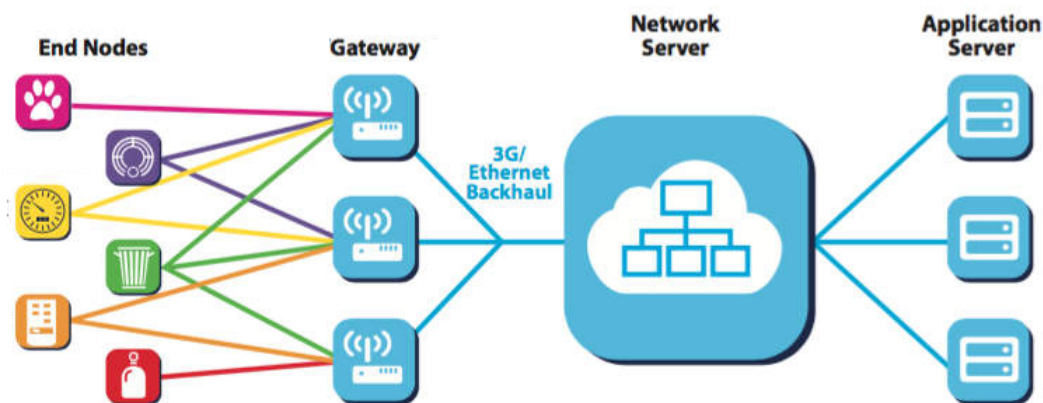


Figure 6 - Diagrama de blocos de uma aplicação utilizando LoRa (LORA ALLIANCE, 2015)

O sistema, para garantir a vida útil e o tempo de uso das baterias, funciona de maneira assíncrona, em um tipo de protocolo referido como Aloha, onde os nós LoRa comunicam quando tem algum dado para ser transmitido, despertando em resposta ao evento. Em redes de celular ou outras redes síncronas, o dispositivo tem de frequentemente "acordar" (LORA ALLIANCE, 2015) para sincronizar com a rede e checar a vinda ou envio de mensagens. Este funcionamento das redes síncronas é o maior gasto de energia proveniente da transmissão de dados nesse tipo de conexão. Comparações de duração de bateria de tecnologias LPWAN mostraram que o LoRa tem de três à cinco vezes maior autonomia de bateria do que outras tecnologias de transmissão de dados de mesmas características (LORA ALLIANCE, 2015).

Em questão de segurança, LoRaWAN utiliza duas camadas (LORA ALLIANCE, 2015): uma para a rede, que garanta a autenticidade do nodo em questão, e outro para a aplicação, que garante que o operador da rede não tenha acesso a aplicação dos usuários. Um sistema de segurança AES é usado para criptografar os dados.

Outras tecnologias LPWAN bem como suas características podem ser analisadas e comparadas na tabela 1. Algumas das características possuem variações devido a legislações e utilização da banda de frequência referente a cada país, sendo que algumas dessas informações foram omitidas, visto que o objetivo da tabela é apenas mostrar as capacidades das tecnologias.

Table 1 - Comparação entre tecnologias LPWAN (RAZA, 2017, Modificada)

	SIGFOX	LoRaWAN	Ingenu	Telensa
Modulação	UNB DBPSK, GFSK	CSS	CDMA	UNB 2-FSK
Banda	800-902MHz	400-915MHz	ISM 2.4GHz	400-915MHz
Taxa	100-600 bps	0,3-37.5 kbps	19,5-78 kbps	62,5-500 bps
Nº de Canais	360	10	40	Indefinido
Distância (Rural)	10km	5km		
Distância (Urbana)	50km	15km	15km	1km
Correção de erros	Não	Sim	Não	Não

2.4 Aplicações de LPWAN e Blockchain em *smart grids*

Tendo visto as necessidades e empecilhos da criação de sistemas de energia inteligente, fica claro como as tecnologias citadas podem ajudar na construção destes sistemas e na resolução dos seguintes problemas destas aplicações (HASSAN et al., 2019), (FALCÃO, 2010):

1. Segurança do mercado de energia: O mercado deve ser seguro e transparente, capaz de realizar transações rápidas, quase que imperceptíveis, sem dar a oportunidade a qualquer um dos atores da transação ou a terceiros de falsificar dados: Tudo isso pode ser feito com o uso de blockchains, que garantem a segurança e a imutabilidade dos dados de transações.
2. O mercado deve se auto regular constantemente, variando o valor da energia conforme houver demanda: Outro fator que pode ser resolvido utilizando uma grande rede de blockchains com vários clientes e provedores de energia, assim como a quantidade de energia gerada e consumida.
3. A necessidade de processamento de dados remotos em locais sem cobertura de redes celular: Possível com a utilização de redes LPWAN, escolhendo a tecnologia com custo/benefício mais favorável dependendo das condições de funcionamento.

Recentemente (JCSSE, 2019), o uso de blockchain foi muito ampliado para aplicações em *IoT*, principalmente pela já citada alta capacidade de realizar transferência de dados com alta segurança. Entretanto, pouco se falou sobre o desenvolvimento de um sistema sem fio para *IoT* baseada em Blockchain, principalmente envolvendo o comércio de energia elétrica.

Um sistema simulação foi desenvolvido e testado por Zhuoxian Huang, Kongrath Suankaewmanee, Jiawen Kang, Dusit Niyato e Ng Pei Sin e publicado no 16^o JCSSE, em 2019, utilizando SIGFOX *indoor* e *outdoor* como tecnologia de transmissão de dados LPWAN e blockchain para criar os *smart contracts* e realizar transações reais. Com resultados positivos, foi possível concluir a possibilidade da realização da operação utilizando as tecnologias mencionadas em ambas as áreas urbanas e rurais, trazendo bons resultados para o objetivo de gerar energia de uma maneira mais inteligente e garantir todas as vantagens já mencionadas da descentralização da produção de energia elétrica.

3 Proposta

O trabalho seguirá a seguinte estrutura de metodologia assim como os prazos descritos.

3.1 Metodologia

Estudar as dificuldades da implementação e do uso geral de uma blockchain, assim como fazer o estudo do uso da blockchain para a aplicação em específico (gerência de sistemas de energia). Estudar a capacidade de redes de transmissão LPWAN (especialmente

LoRa) de transmitir os dados da aplicação com taxa necessária e verificar a capacidade de economia energética em longas distâncias.

Simular e implementar um sistema modelo onde possa ser possível verificar a capacidade do funcionamento de ambas as tecnologias para o funcionamento das transações e monitoramento em sistemas de energia.

Visto isso, o desenvolvimento do projeto se dividirá nas etapas:

1. Implementação de uma blockchain: Com objetivo de compreender melhor o funcionamento da tecnologia e visto que não há forte contato com sistemas de segurança no decorrer do curso que este trabalho conclui, a implementação do protótipo de uma blockchain trará conhecimento na área e facilitará a utilização da tecnologia em fases futuras.

Desenvolvido em Setembro de 2020.

2. Utilização de sistemas blockchain disponíveis: Visto que já existem ferramentas disponíveis de blockchains que permitem a realização de transações como as requeridas por este trabalho, será realizada uma pesquisa e verificação de tais ferramentas assim como a utilização das mesmas, procurando pela rede que mais atende as expectativas da aplicação que será desenvolvida.

Desenvolvimento: Novembro e Dezembro de 2020.

3. Compreensão de sistemas de transmissão LPWAN LoRa: Será realizado um estudo teórico e prático utilizando LoRa a fim de verificar as capacidades da tecnologia e verificar limitações de banda e taxa na aplicação de gerenciamento de sistemas de energia.

Desenvolvimento: Dezembro de 2020 e Janeiro de 2021.

4. Teste de aplicação de sistemas LoRa: Conhecendo as capacidades do sistema LPWAN escolhido, será realizado um teste de aplicação com dados simulados (e/ou colhidos) de gerenciamento de sistemas de energia, verificando o desempenho da tecnologia em um cenário menos idealizado.

Desenvolvimento: Março e Abril de 2021.

5. Integração do sistema na blockchain: Com as informações descritas sendo enviadas e recebidas por sistemas LoRa, o sistema será integrado a rede blockchain.

Desenvolvimento: Maio e Junho de 2021.

6. Desenvolvimento de interface gráfica para visualização do sistema: Possuindo o sistema funcional, será interessante verificar uma série de informações sobre a gerência de sistemas de energia. Aqui serão decididas quais informações são relevantes para a aplicação desenvolvida, que serão dispostas em uma interface de fácil observação.

Desenvolvimento: Julho e Agosto de 2021.

7. Análise dos resultados: Será verificado em aplicação prática todo o sistema desenvolvido e analisada a viabilidade de implementação em larga escala, assim como as vantagens de um sistema de transmissão de energia possuir um sistema inteligente

integrado para fazer a gerência do seu funcionamento. Desenvolvimento: Setembro de 2021.

3.2 Resultados Esperados

Espera-se que exista a capacidade da criação de uma rede de blockchain capaz de realizar as transações necessárias da aplicação. Além disso, o sistema deve ser capaz de monitorar e enviar dados à longas distâncias utilizando um sistema de comunicação LPWAN LoRa, assim como o estudo da viabilidade da aplicação prática em larga escala e as vantagens e desvantagens de uma aplicação integrada aos sistemas de transmissão de energia.

References

BRASIL. Decreto nº 5.163, de 30 de junho de 2020. Regulamenta a comercialização de energia elétrica, o processo de outorga de concessões e de autorizações de geração de energia elétrica, e dá outras providências. Brasília, 30 jul. 2004.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (Brasil). Empresa de Pesquisa Energética. Matriz Energética e Elétrica. In: Matriz Energética e Elétrica. [S. l.], 2018. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em: 24 jun. 2020.

BAGHER, Askari Mohammad et al. Hydroelectric Energy Advantages and Disadvantages. American Journal of Energy Science, [S. l.], v. 2, 20 abr. 2015. 2, p. 17-20.

DUCHEMIN, E. et al. Production of the greenhouse gases CH₄ and CO₂, by hydroelectric reservoirs of the boreal region. Global Biogeochemical Cycles, [S. l.], p. 529-540, 1 dez. 1995. Disponível em: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/95GB02202>. Acesso em: 24 jun. 2020

JIAYI, Huang; CHUANWEN, Jiang; RONG, Xu. A review on distributed energy resources and MicroGrid. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Shangai, v. 12, p. 2473-2482, 20 jun. 2007.

OCHOA, Luis F.; HARRISON, Gareth P. Minimizing Energy Losses: Optimal Accommodation and Smart Operation of Renewable Distributed Generation. IEEE Transactions on Power Systems, Edinburg, p. 198-205, 24 maio 2010.

IEEE INTERNATIONAL CONGRESS ON BIG DATA, 2017, Honolulu, HI, EUA. An Overview of Blockchain Technology: Architecture, Consensus, and Future Trends [...]. Honolulu, EUA: [s. n.], 2017.

NAKAMOTO, Satoshi. Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System. In: NAKAMOTO, Satoshi. Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System. [S. l.], 31 out. 2008. Disponível em: <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>. Acesso em: 22 jun. 2020.

PUTHAL, Deepak et al. The Blockchain as a Decentralized Security Framework [Future Directions]. IEEE Consumer Electronics Magazine, [S. l.], p. 18-21, 18 fev. 2018.

KOSBA, Ahmed et al. Hawk: The Blockchain Model of Cryptography and Privacy-Preserving Smart Contracts. IEE Symposium on Security and Privacy, [s. l.], 22 maio 2016.

ETHEREUM is a global, open-source platform for decentralized applications. [S. l.], 13 set. 2020. Disponível em: <https://ethereum.org/en/>. Acesso em: 15 set. 2020.

HYPERLEDGER Fabric: the flexible blockchain framework that's changing the business world. [S. l.], 17 ago. 2020. Disponível em: <https://www.hyperledger.org/use/distributed-ledgers>. Acesso em: 15 set. 2020.

MARTINS TEODORO, Arthur Alexsander. DESENVOLVIMENTO DE REDE NEURAL ARTIFICIAL PARA DISTRIBUIÇÃO DE CHAVES EM ALGORITMOS DE CRIPTOGRAFIA SIMÉTRICA UTILIZANDO HARDWARE RECONFIGURÁVEL. 2018. Monografia (Mestrado em Ciências da Computação) - Instituto Federal de Minas Gerais, [S. l.], 2018.

16TH INTERNATIONAL JOINT CONFERENCE ON COMPUTER SCIENCE AND SOFTWARE ENGINEERING (JCSSE), 2019, Chonburi, Thailand, Thailand. Development of Reliable Wireless Communication System for Secure Blockchain-based Energy Trading [...]. [S. l.: s. n.], 2019.

HASSAN, Naveed UI et al. Blockchain Technologies for Smart Energy Systems: Fundamentals, Challenges, and Solutions. IEEE Industrial Electronics Magazine, [s. l.], v. 13, 23 dez. 2019.

FALCÃO, Djalma M. Integração de Tecnologias para Viabilização da Smart Grid. III Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos, Belém, Pará, p. 1-5, 18 maio 2010.

HEINRICH BÖLL STIFTUNG (Alemanha) (ed.). Energy Atlas: Graphics and license terms. In: Energy Atlas: Graphics and license terms. [S. l.], 24 abr. 2018. Disponível em: <https://www.boell.de/en/2018/04/24/energy-atlas-graphics-and-license-terms>. Acesso em: 24 ago. 2020.

RAZA, Usman et al. Low Power Wide Area Networks: An Overview. IEEE Communications Surveys and Tutorials, [S. l.], v. 19, p. 855-873, 17 jan. 2017.

LORA ALLIANCE. A technical overview of LoRa and LoRaWAN. [S. l.], 1 nov. 2015.

Disponível em: https://www.tuv.com/media/corporate/products_1/electronic_components_and_lasers/
24ago.2020.