

Emulação e Simulação de Redes de Telecomunicações

Ano Letivo 2023/2024

Enunciado do Projeto Laboratorial - IoT Cloud

1. Introdução

A Internet das Coisas, ou Internet of Things (IoT), é um conceito que consiste em ligar o mundo da Internet ao mundo físico. Assim, qualquer objeto, pessoa ou lugar pode estar automaticamente associado à sua informação online.

Uma das funcionalidades comuns associadas a este tipo de tecnologia é representada por sensores/atuadores, capazes de medir ou alterar o ambiente onde se encontram. No entanto, para tal, é necessária uma arquitetura de suporte que permita o envio dos dados dos sensores para posterior análise.

Embora estes dispositivos sensores não sejam particularmente poderosos a nível de capacidade de processamento ou comunicação, a sua imensa quantidade torna as necessidades de armazenamento e processamento da infraestrutura que os suporta mais altas.

Assim, muitas vezes estas plataformas são replicadas de forma distribuída para satisfazer múltiplos objetivos, entre os quais:

- Permitir que haja mais do que uma plataforma capaz de receber os pedidos e assim poder repartir os dispositivos;
- Chegar geograficamente mais perto dos dispositivos, permitindo assim acessos mais rápidos.

Este projeto visa construir um protótipo de um sistema IoT integrando uma plataforma de IoT e uma (ou várias) rede(s) de dispositivos sensores/atuadores.

Com este sistema deverá ser possível utilizar uma plataforma situada na *cloud* para a gestão e armazenamento dos dados de sensores, tal como a gestão dos utilizadores que tal possam fazer. Simultaneamente, deverá ser criada uma rede de sensores que interajam com esta *cloud* por forma a enviar dados recolhidos dos sensores e receber dados (seja de configuração dos

dispositivos sensores ou de atuação). A comunicação de dados entre dispositivos sensores e a *cloud* deverá incluir um mecanismo de segurança (pelo menos autenticação) de forma a garantir a identidade dos dispositivos.

Com este projeto espera-se que os estudantes adquiram conhecimento e competências em várias áreas, incluindo: simulação, emulação, aplicações em rede, IoT e criação e gestão de uma *cloud* e os seus componentes, tal como de um servidor de DNS.

Este projeto tem 5 objetivos principais:

- Criação de uma rede em malha com múltiplos *routers* que tenha a capacidade de criar rotas automáticas de forma a conseguir recuperar de um *link* caído. Esta rede deverá permitir a qualquer máquina ter acesso à rede exterior;
- Criação de um servidor de DNS;
- Criação de uma ou mais redes de sensores usando CupCarbon;
- Criação de uma plataforma de IoT com gestão de utilizadores, *load balancing* interno e replicação interna de servidores;
- Replicação da plataforma em sítios distintos da rede de forma transparente para utilizadores ou dispositivos.

2. Organização e funcionamento

Este projeto deverá ser desenvolvido em grupo dentro das aulas da unidade curricular (2 sessões semanais de 3 horas cada) e fora do horário das aulas, com uma dedicação mínima esperada de 12 horas efetivas de trabalho semanal (**6 horas presenciais e 6 horas de trabalho autónomo**) para cada aluno.

A frequência às aulas é obrigatória, sendo que a frequência a menos de 2/3 das aulas implica a reprovação por faltas. O registo de faltas e atrasos (superiores a 15 minutos) será feito no início de cada aula, sendo a assiduidade e pontualidade tidos em consideração no cálculo da média final de cada aluno na UC.

Na abordagem de ensino baseado em projeto, adotada por esta UC, pretende-se que os alunos aprendam através de projetos práticos e colaborativos, envolvendo solução de problemas reais e desenvolvimento de habilidades práticas. Neste sentido, pretende-se que os alunos adquiram ou desenvolvam competências de: responsabilidade e iniciativa na identificação e solução de problemas; autoaprendizagem e pensamento crítico; perseverança e auto-motivação;

adaptabilidade e criatividade; comunicação, colaboração e trabalho individual e em equipe; escrita e documentação do trabalho; ética pessoal e profissional, entre outros.

Os alunos deverão organizar-se em **grupos de 3 alunos** o mais rápido possível, para não haver atrasos no desenvolvimento do projeto.

Com base na lista inicial fornecida pelo coordenador da UC, o delegado da turma deverá compilar a lista de grupos formados, enviando essa informação aos docentes num ficheiro Excel com 4 colunas: turno, nº do grupo (1, 2, 3, etc.), nº mecanográfico e nome do aluno.

3. Arquitetura geral do sistema

A arquitetura geral do sistema a implementar está representada na Figura 1.

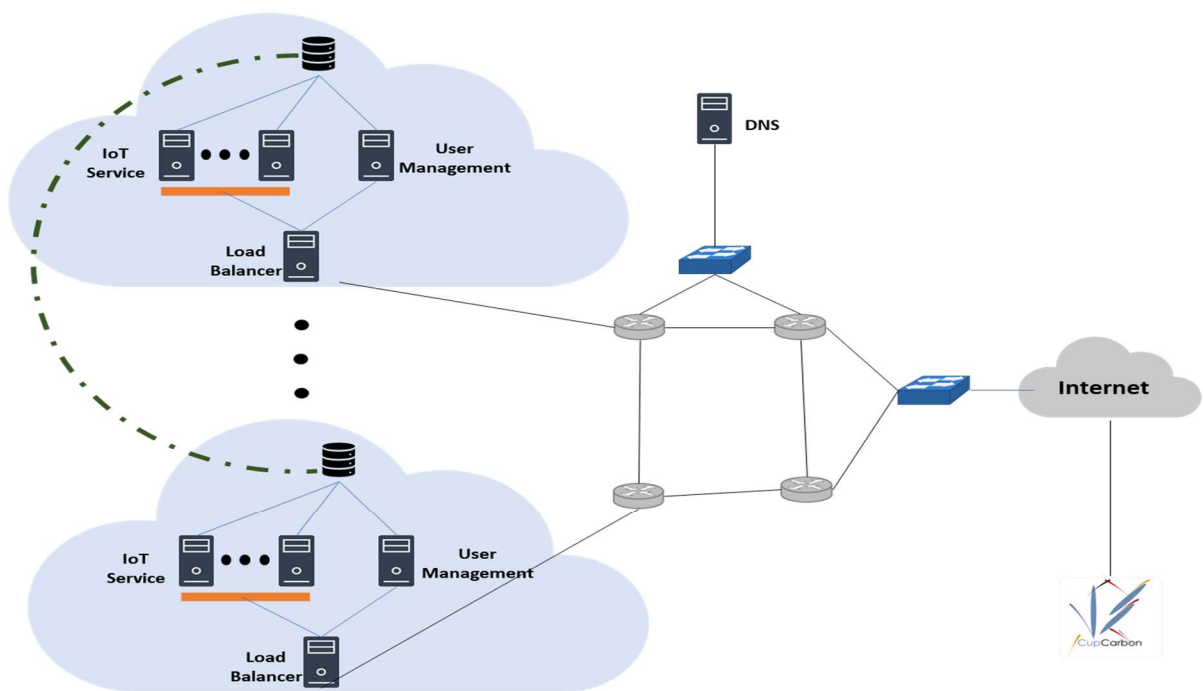


Figura 1 - Arquitetura geral do sistema a implementar.

Como se pode observar na figura, esta arquitetura é composta pelos seguintes elementos principais: plataforma de IoT (indicada como uma *cloud* na figura), servidor DNS, simulador de redes IoT CupCarbon, rede de interligação e ligação ao exterior (Internet).

4. Avaliação

A avaliação da UC será individual e terá em conta a contribuição de cada aluno para o seu grupo de trabalho.

O trabalho a desenvolver no âmbito do projeto está dividido em **três fases (A, B e C)**, conforme detalhado a seguir. **Cada fase abrange a entrega de um relatório de especificação no seu início e uma demonstração prática (demo) no seu fim.** A última fase abrange ainda **entrega de um relatório final e de uma apresentação tipo PowerPoint** (de cerca de 15 minutos, com a intervenção de todos os elementos do grupo). As fases A e B abrangem somente o trabalho parcial associado à respetiva fase, enquanto a fase C (final) abrange o trabalho realizado ao longo de todo o semestre e o sistema completo. Todos os relatórios deverão ser escritos em português.

A UC inclui ainda um elemento de **avaliação contínua**, que terá em consideração parâmetros como a assiduidade (faltas), pontualidade (atrasos), participação, conhecimentos demonstrados, empenho e comportamento nas aulas.

Os pesos dos elementos de avaliação são indicados abaixo:

- DA - Demo da Fase A (15%)
- DB - Demo da Fase B (15%)
- DF - Demo final (35%)
- RF - Relatório final (15%)
- AO - Apresentação oral (10%)
- AC - Avaliação contínua (10%)

4.1. Relatórios de especificação

No final da primeira semana de cada fase deve ser entregue um relatório com o seguinte conteúdo:

1. Definição da arquitetura do sistema (obrigatório a inclusão de um diagrama de blocos), acompanhada de uma explicação no texto da secção.
2. Definição de requisitos e funcionalidades a serem oferecidas pelo sistema.
3. Identificação das tecnologias a utilizar e apresentação de uma estimativa dos recursos que irão necessários em termos de hardware e software.
4. Discussão sobre as competências necessárias.
5. Planeamento temporal de todas as tarefas e subtarefas da respetiva fase com auxílio de um diagrama de *Gantt*.

Os relatórios deverão seguir as recomendações contidas no guia de escrita fornecido, que serão tidas em consideração na sua avaliação junto com o respetivo conteúdo. Todos os tópicos referidos acima deverão ser abordados, em secções separadas.

Além de ajudarem no efetivo planeamento do trabalho em cada fase, estes relatórios servem também para os docentes poderem orientar ou corrigir o trabalho dos grupos quando este se desvie dos objetivos propostos pelo enunciado. **A avaliação de cada relatório de especificação será integrada à nota da respetiva demo.**

4.2. Relatório final

O relatório final deverá fornecer uma **visão global e objetiva do sistema final desenvolvido**, incluindo a descrição de todas as suas partes. Neste sentido, a apresentação não deve incluir conteúdo sobre o planeamento do projeto, mas sim sobre a **implementação e testes**. Também não deve organizada de forma cronológica nem deve focar em implementações falhadas anteriores, mas sim na solução otimizada final, embora possam ser referidos brevemente os problemas encontrados e a sua resolução.

Não são necessárias descrições pormenorizadas das tecnologias utilizadas, bastando citar no texto as referências que contém a informação.

O relatório final deverá incluir também uma secção de **autoavaliação/reflexão** incluindo uma descrição pormenorizada das contribuições efetivas de cada elemento do grupo para o desenvolvimento do projeto. Não deve ser indicada a nota esperada pelo aluno ou grupo. Esta

secção deve conter uma **lista (ou tabela) completa das contribuições para cada elemento do grupo**. O conteúdo desta lista deve ser baseado nas tarefas do cronograma proposto (além de outras de índole técnica e documental, tal como a escrita de relatórios).

Para cada elemento do grupo deve ser também indicada qual a percentagem de contributo para cada tarefa, por exemplo:

- Elemento 1
 - a) Tarefa X (50%)
 - b) Tarefa Y (20%)
 - c) ...
 - d) ...
- Elemento 2
 - a) Tarefa X (50%)
 - b) Tarefa Y (30%)
- Elemento 3
 - a) Tarefa Y (50%)
 - b) Tarefa Z (100%)

4.3. Calendário de avaliações

- Fase A: 17/10/2023
- Fase B: 21/11/2023
- Fase Final: 09/01/2023
- Entrega do Código, Relatório Final e Apresentação PowerPoint: 06/01/2023

5. Fases do Projeto

Como referido anteriormente, o principal objetivo deste projeto é o desenvolvimento de uma plataforma de IoT, bem como uma rede de dispositivos sensores e atuadores que faça uso dessa plataforma. Para tal, os alunos deverão seguir as seguintes fases, completando as tarefas indicadas em cada uma dela.

5.1. Fase A - Infraestrutura de rede

Conforme ilustrado na Figura 2, as tarefas da Fase A do projeto deverão focar-se no desenho e implementação da rede utilizando o software GNS3 (Graphical Network Simulator 3).

A plataforma GNS3 é usada para simular/emular redes de computadores (criar ambientes de teste virtuais que replicam redes reais), permitindo a emulação de vários tipos de dispositivos de redes (e.g. *routers*, *switches*, *firewalls*, entre outros). Esta ferramenta é particularmente útil para testar configurações de sistema de forma segura e eficiente em ambiente virtuais antes da sua implementação em redes reais.

A rede a desenvolver deverá permitir a comunicação entre todos os nós e também o acesso à Internet. Adicionalmente, deverá ser possível o acesso à plataforma a partir do exterior do GNS3.

Para tal, os alunos deverão começar por adicionar os diversos nós à rede e utilizar endereços IP estáticos e rotas manuais.

A rede deverá consistir em 4 routers ligados entre si, tal como indicado na Figura 2, de forma a permitir caminhos alternativos entre os diversos nós. A ligação do servidor DNS aos *routers* deverá ser feita usando um *switch*, tal como a ligação entre os *routers* e a Internet.

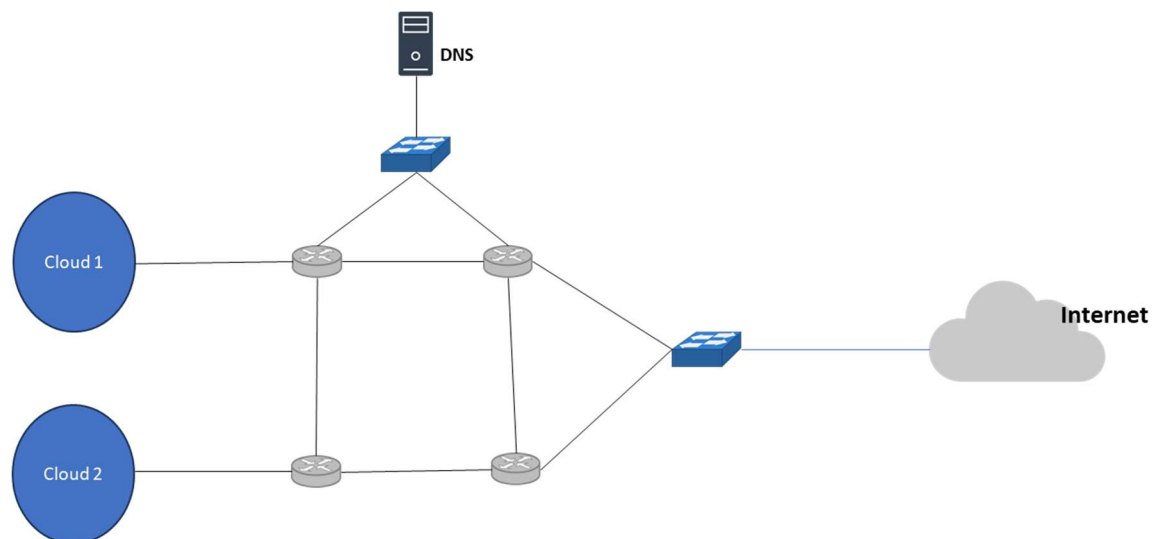


Figura 2 - Arquitetura da Fase A.

Esta componente será também constituída por um servidor de DNS. Este servidor é responsável por traduzir nomes de domínio em endereços IP, que são utilizados para identificar dispositivos na Internet, permitindo a comunicação entre dispositivos na Internet.

O servidor de DNS deverá ser capaz de responder aos pedidos dos diversos dispositivos e utilizadores indicando o endereço da plataforma de IoT. Para tal, os alunos poderão utilizar ferramentas tais como o BIND, sendo necessária a sua correta configuração.

Os principais objetivos/tarefas desta fase são:

- Instalação do GNS3;
- Criação de uma rede de interligação como indicada na figura;
- Configuração de endereços IP estáticos;
- Configuração de rotas manuais;
- Comunicação entre os nós e a rede exterior;
- Criação de um servidor DNS;
- Configuração do servidor DNS de forma a corretamente indicar o endereço da plataforma;

5.2. Fase B – Rede de sensores

No contexto da IoT, as "coisas" são os dispositivos sensores e/ou atuadores, que possibilitam a interface com o mundo físico real, através da recolha de informação do ambiente utilizando sensores (e.g., pressão, luz, temperatura, humidade, aceleração, campo magnético, gases, movimento, dados biométricos, corrente elétrica, imagem, som, etc.), seja através do controlo de parâmetros os dispositivos por meio de atuadores (e.g., LEDs, válvulas, *buzzers*, relés, fechaduras, aquecedores, displays, etc.).

Usando a ferramenta CupCarbon os alunos deverão implementar uma ou diversas redes de sensores que permitam monitorizar os ambientes onde se encontram e enviar os dados recolhidos para a plataforma IoT para armazenamento e posterior análise. Estes sensores deverão efetuar algum tipo de autenticação para enviar os dados.

Opcionalmente, os dispositivos da rede de sensores também deverão ser capazes de receber dados, seja para configuração de parâmetros como o período de amostragem dos sensores, seja para o acionamento de atuadores.

Uma vez que tipicamente os dispositivos sensores tem poucas capacidades de processamento, estes deverão enviar os dados para um dispositivo com capacidades mais elevadas (*gateway*) que será responsável por agregar os dados e enviar para a plataforma.

Este dispositivo *gateway* normalmente implementa duas interfaces de comunicação (e os respetivos protocolos): uma interface com os dispositivos da rede de sensores (constituída tipicamente por uma rede sem fios por radiofrequência implementada com base em tecnologias como Zigbee, Bluetooth, Wi-Fi, LoRa ou NB-IoT) e uma interface de ligação à Internet.

Os principais objetivos/tarefas desta fase são:

- Definição da área de aplicação do sistema IoT a desenvolver pelo grupo (e.g., automação industrial, domótica, cidades inteligentes, agricultura/pecuária inteligente, *smart grids*, cuidados de saúde, redes veiculares, etc.);
- Definição, dentro da área de aplicação escolhida, dos parâmetros a monitorizar/controlar e respetivos sensores/atuadores.

- Definição da área de cobertura do sistema e do número e distribuição dos dispositivos sensores nesta área.
- Proposta de uma tecnologia de redes sem fios adequada para uma implementação física da rede de sensores sem fios tendo em consideração parâmetros como a distância entre os dispositivos, a topologia de rede, o consumo de energia dos dispositivos e o débito requerido pelos sensores.
- Definição de um protocolo de comunicação e os formatos das mensagens (dados, configuração, etc.) enviadas (*uplink*) e recebidas (sentido *downlink*, ver secção 5.4, Fase B EXTRA) pelos dispositivos sensores.
- Instalação e simulação da rede de sensores utilizando o CupCarbon.
- Integração entre a rede de sensores e a infraestrutura de rede criada utilizando o GNS3;

5.3. Fase C – Plataforma IoT

Conforme ilustrado na Figura 3, a fase C do projeto foca-se no desenvolvimento da plataforma de IoT. Esta plataforma deverá permitir diversas funcionalidades: (1) receber e armazenar dados dos dispositivos sensores, (2) gestão de utilizadores, (3) visualização dos dados recebidos, e (4) autenticação.

Quanto ao ponto (1), devido à imensidade de dados que as redes de sensores podem gerar, este tipo de plataformas precisa de uma capacidade de processamento elevada. Esta parte da plataforma deverá ser então composta por múltiplos servidores replicados, que sejam capazes de receber os dados e armazenar numa base de dados de forma transparente para cliente. Para tal, deverá utilizar-se um *load balancer*. Este é um tipo de serviço que permite de forma automática distribuir os dados recebidos pelos servidores disponíveis. Esta plataforma deverá ser capaz de receber dados de múltiplos tipos, entre eles, HTTP e MQTT.

No que concerne aos pontos (2) e (3), a plataforma de IoT deverá possuir uma interface gráfica que permita adicionar e gerir utilizadores e visualizar os dados recebidos dos dispositivos sensores. Portanto, deverá ser possível atribuir dispositivos a utilizadores, sendo que apenas os proprietários dos dispositivos deverão ter acesso aos dados dos seus sensores.

Sobre o ponto (4), de forma a permitir a autenticação de utilizadores e dispositivos, deverá ser implementado um serviço de autenticação. A forma como será feita a autenticação de dispositivos ou utilizadores é de da escolha dos alunos.

O emulador GNS3 permite o uso de diferentes tipos de metodologias para representar os nós. Neste caso, sugere-se o uso de *containers* Docker, em vez de imagens completa. Isto deve-se ao baixo uso de recursos que estas necessitam. Além do mais, existe uma grande diversidade de serviços disponíveis diretamente em Docker que permitem facilmente a criação de imagens novas.

Os principais objetivos/tarefas desta fase são:

- Criação de um serviço de aquisição de dados de IoT com base num protocolo de aplicação adequado (e.g., HTTP, MQTT, etc.).
- Criação de uma base de dados para armazenamento dos dados;
- Criação de uma plataforma de gestão de utilizadores;
- Criação de um serviço de autenticação;
- Elaboração de uma interface gráfica para a visualização dos dados de IoT;
- Replicação do serviço de IoT;
- Criação de um serviço de *load balancing*;
- Configuração do serviço de *load balancing* para encaminhamento dos dados de IoT com os diversos protocolos para o servidor;

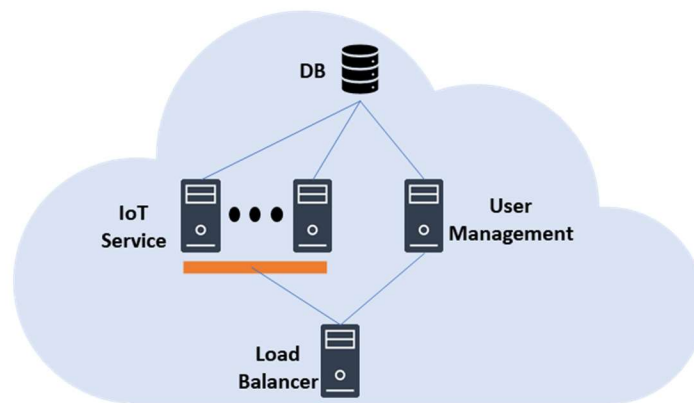


Figura 3 - Arquitetura da Fase C.

5.4. Funcionalidades avançadas

Nas secções anteriores foram apresentadas as funcionalidades básica que terão que ser implementadas OBRIGATORIAMENTE. Nesta secção são apresentadas funcionalidades extras que poderão ser implementadas de forma a obter pontos extras.

AS FUNCIONALIDADES BÁSICAS SÃO DE IMPLEMENTAÇÃO OBRIGATÓRIA. SE AS FUNCIONALIDADES BÁSICAS NÃO FOREM IMPLEMENTADAS, ESTAS NÃO SERÃO SUBSTITUIDAS POR FUNCIONALIDADES EXTRAS.

Fase A EXTRA - Infraestrutura de rede

- Rotas automáticas: Implementar o cálculo das rotas pelos *routers* utilizando um algoritmo de encaminhamento automático e, assim, conseguir recuperar se algum dos caminhos falhar;
- *Load balancing* através do DNS: Utilizar o DNS para efetuar *load balancing* (apenas possível se tiver sido efetuado o ponto extra de replicação da plataforma da Fase C);
- *Load balancing* ao nível da rede por *round robin*: A rede deverá ser capaz de encaminhar os pacotes para os servidores utilizando o mecanismo de *round robin*, ou seja, uma vez por cada caminho diferente.
- *Load balancing* com base em QoS (*quality of service*): Encaminhar os pacotes pelo caminho menos ocupado de forma a otimizar a qualidade de serviço.

Fase B EXTRA – Rede de sensores

- Configuração dos dispositivos: Definição e implementação de mensagens *downlink* para configuração remota dos parâmetros dos dispositivos;
- Atuação: Definição e implementação de mensagens/comandos *downlink* para atuação remota de atuadores nos dispositivos.
- Definição/implementação de um protocolo MAC na rede de sensores que permita aos dispositivos da rede entrarem em modo *sleep* nos períodos de inatividade para economizar energia. Caso sejam implementadas mensagens *downlink*, este protocolo também deve garantir que o seu envio seja feito quando o dispositivo está no modo ativo, pois os dispositivos não são capazes de comunicar quando estão em modo *sleep*.
- Integrar um dispositivo sensor real na simulação utilizando a plataforma de desenvolvimento ESP32.

Fase C EXTRA – Plataforma de IoT

- Replicação da plataforma: replicar a plataforma de IoT uma ou mais vezes, sendo acessível pelos clientes de forma completamente transparente. Neste ponto poder-se-á utilizar a mesma base de dados acessível por todas as replicas;
- Replicação da base de dados: Replicação da base de dados de forma a que cada servidor tenha a sua própria base de dados. Para tal, deverá ser utilizado um mecanismo de sincronização das bases de dados.
- Permitir aos utilizadores partilhar os dispositivos com outros utilizadores;
- Utilizar autenticação por *third-party providers* (Google, Facebook, etc).

6. Referências

1. GNS3, "Graphical Network Simulator-3". <https://www.gns3.com/>. [Online] (accessed on 08/09/2023)
2. CupCarbon IoT, <http://cupcarbon.com/>. [Online] (accessed on 08/09/2023).
3. Docker, <https://www.docker.com/>, [Online] (accessed on 12/09/2023).
4. Bind 9, <https://bind9.readthedocs.io/en/v9.18.18/>, [Online] (accessed on 12/09/2023).
5. A. Al-Fuqaha, M. Guizani, M. Mohammadi, M. Aledhari, and M. Ayyash, "Internet of things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications," IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 17, no. 4, 2015, pp. 2347-2376.
6. Holger Karl and Andreas Willig, "Protocols and Architectures for Wireless Sensor Networks", John Wiley & Sons, 2005.
7. Jochen Schiller, "Mobile Communications" 2nd edition, Addison-Wesley, 2004.
8. Kurose, James F., and Keith W. Ross. "Computer networking: A top-down approach edition." Addison Wesley (2007).
9. Lapaine, Miroslava. "William Stallings: Data and Computer Communications." Geodetski list 47.1 (1993): 82-85.