

ANÁLISE DE EMISSÃO DE DIÓXIDO DE CARBONO (CO²) DE USINAS DE CIMENTO COM EQUIPAMENTOS *IoT*

DENIEL MARTINS GONÇALVES¹
PROF. DR. ANDRÉ MARCELO PANHAN²

RESUMO

Este artigo tem como objetivo explorar a necessidade e possibilidade da utilização de um equipamento de baixo custo para uma efetiva análise da emissão de CO² em fábricas de cimento, podendo apresentar estas análises em tempo real através de dispositivos de baixo custo conectados em tempo real a uma rede para aplicações específicas capaz de coletar e transmitir dados (*IoT*). Desta forma pode-se constatar locais em que há maior emissão de gases poluentes e assim trabalhar para que a emissão de dióxido de carbono produzido pelas fábricas de cimento brasileiras (em torno de 610 kg por tonelada de cimento) seja minimizado e regularizado perante as leis que também abordaremos neste artigo.

Palavras-chave: cimento, usinas de cimento, Dióxido de Carbono, CO², *IoT*.

¹ Aluno Graduando na pós-graduação de Gestão Estratégica de Tecnologia da informação, no Instituto Federal de São Paulo Campus Bragança Paulista.

² Professor Doutor Orientador do Instituto Federal de São Paulo Campus Bragança Paulista, Lattes: <http://lattes.cnpq.br/8106581881944311>

CARBON DIOXIDE (CO₂) EMISSION ANALYSIS OF CEMENT PLANTS WITH IOT EQUIPMENT

ABSTRACT

This article aims to explore the need and possibility of using a low cost equipment for an effective analysis of CO₂ emission in cement plants, being able to present these analyzes in real time through low cost devices connected in real time to a network for specific applications capable of collecting and transmitting data (IoT). This way you can see places where there is more emission of pollutant gases and thus work so that the emission of carbon dioxide produced by the Brazilian cement factories (around 610 kg per ton of cement) is minimized and regularized before the laws which we will also address in this article.

Keywords: cement, cement plants, carbon dioxide, CO₂, IoT.

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho busca ressaltar a nocividade dos poluentes (CO_2) tanto para o meio ambiente (o CO_2 é um dos gases responsáveis pelo efeito estufa, causador do aumento de temperatura no planeta, etc.) quanto para a saúde humana (as partículas suspensas no ar podem ficar retidas nas narinas causando bronquite, rinite, danos a parte interna dos pulmões podendo causar câncer de pulmão), embasando nas resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), a legislação brasileira para o tema.

Foi analisado a utilização de um protótipo de sistema *Internet of Things (IoT)* utilizado na Amazônia (CRUZ, OLIVEIRA, *et al.*, 2018), e como o mesmo pode ser utilizado como uma opção de baixo custo para coleta de dados em fábricas de cimento, quantificando o nível de poluição emitido, e propondo algumas formas de controle para a emissão de CO_2 .

Para tal, foi realizado uma revisão bibliográfica sobre o assunto, além de utilizar as resoluções do CONAMA, visando comparar a emissão de poluentes e discutir o tema, tendo como base a melhora do ar para a vida.

2. METODOLOGIA

A metodologia utilizada neste trabalho foi a revisão bibliográfica em relatórios de impacto ambiental específicos para usinas de cimento, estudos de impacto ambiental, sites, artigos e dissertações. Desta forma, foram levantadas as questões de adoção de um *software* e de equipamentos para monitoria em tempo real do CO_2 emitido especificamente pelas fábricas de cimento.

Após a tomada de conhecimento em artigos e outros meios na internet (alguns artigos abaixo expostos como exemplo de uso e funcionamento em outros meios mas com a mesma aplicabilidade), fica evidente a facilidade de montagem de um equipamento *IoT* bastando ter um certo conhecimento em eletroeletrônica e programação para conseguir montar o equipamento sem danificá-lo e programá-lo da maneira correta trazendo os dados necessário e corretos dos sensores utilizados, para isso foi escolhido a plataforma Arduino que é mais amigável e tem grande compatibilidade com diversos sensores, e a qual se encontra uma gama de material

de entusiastas, fóruns sobre o assunto e vídeos em diversos idiomas, para a programação notou-se que no repositório *GitHub* há uma vasta gama de projetos e trechos de códigos para serem adaptados e utilizados em um projeto.

Sabendo destes pontos notou-se uma grande preocupação quanto ao governo brasileiro de imporem leis que possam minimizar o impacto ambiental na emissão de poluentes para essas fábricas, que investem em maquinário para essa redução de emissão de poluentes e aferição se realmente estão cumprindo com a legislação vigente, pois somente desta forma (a imposição e multas) é que as grandes fábricas tomam consciência e fazem o que já deveria ser uma pratica constante sem imposições.

3. O CIMENTO

A marca da atual civilização indiscutivelmente é o cimento, sendo uma solução econômica e em grande escala para grandes construções, moradias e obras em geral desde o século XX. O calcário, que é a matéria prima principal para a criação do cimento, é abundante e barato, fazendo com que obras no mundo inteiro não importando sua magnitude, utilizem o cimento.

Esta produção em larga escala acaba gerando impactos ambientais em praticamente todas as fases de sua produção, há impactos desde a extração de matéria prima, degradando e alterando ambientes ao redor das fábricas, sendo pela emissão de partículas na atmosfera (grande prejudicial à saúde), até a fase de criação do clínquer³ com a emissão de fortes gases de efeito estufa (CO₂).

O cimento é um ligante hidráulico composto basicamente de óxidos de cálcio, silício, alumínio e ferro, a composição pode conter várias misturas para criar o produto final, formando diversos tipos de cimento, tendo cada uma sua aplicabilidade específica (PAIVA, JUNIOR, *et al.*, 2010)

As duas grandes atividades que compõem o ciclo produtivo do cimento são a mineração do calcário e a fabricação do cimento. (SANTI e FILHO, 2004, p. 3)

³ Material criado a partir da fundição nos fornos a 1450°C da rocha calcária e, em menor proporção, argila, e óxidos de ferro e alumínio.

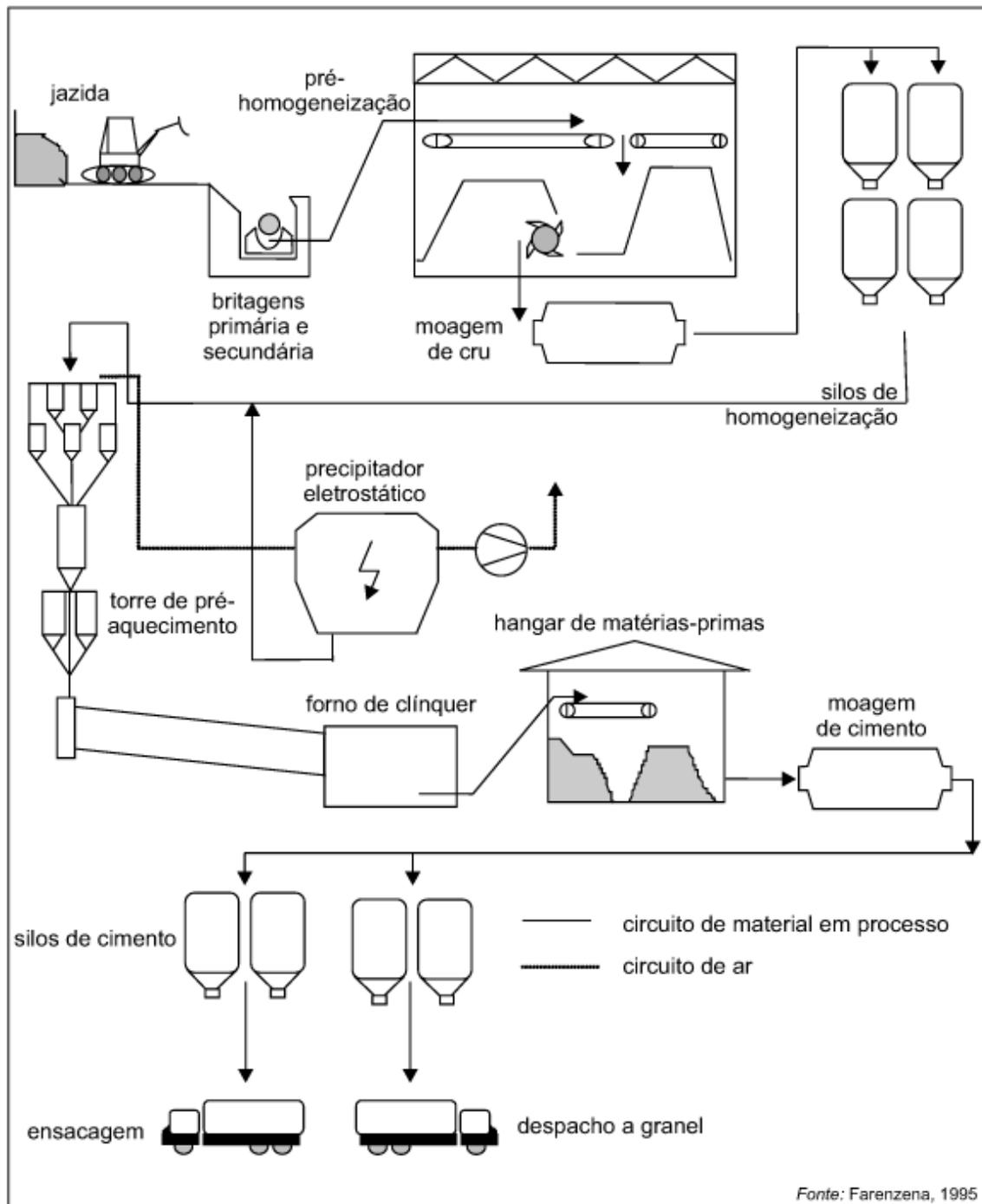
A extração do calcário é feita com explosivos e a céu aberto, após a extração devida, estas rochas menores são reduzidas a tamanhos adequados para alimentar os moinhos.

Na produção do cimento o processo caracterizado como “via seca”, é utilizado na grande maioria das cimenteiras em território brasileiro segundo SANTI e FILHO e é dividida nos processos a seguir:

- Moagem e homogeneização da argila (20 a 25%), calcário (75 a 80%), pequenas quantidades de óxidos de alumínio e ferro – criando assim a farinha crua.
- Criação do clínquer (onde se utiliza o termo clinquerização) onde a farinha crua passa pelos fornos (podem ser rotativos ou fixos) onde são submetidos a temperaturas próximas a 2000°C, onde o produto final sai dos fornos a uma temperatura em torno de 1450°C, onde é resfriado.
- Na etapa de moagem do clínquer o mesmo é colocado em moinhos e adicionado gesso, escoria de ferro e em alguns tipos de cimento é adicionado o material pozzolânico para se obter o cimento em pó.

Na Figura 1 podemos observar o fluxograma de produção do cimento:

Figura 1 - Fluxograma de produção do cimento



Fonte: (FARENZENA, 1995)

4. EMISSÃO DE CO² PELAS USINAS DE CIMENTO

A Produção de Cimento hoje é responsável por aproximadamente 28% da emissão de CO² mundial segundo o instituto de pesquisa britânico *Chatham House* (LEHNE e PRESTON, 2018), em todo o mundo, os limites para emissão deste poluente vêm se tornando rigorosos. A legislação brasileira vem buscando seguir os padrões mais rigorosos, no entanto, com um certo atraso.

Para as fábricas de cimento brasileiras, nos últimos 35 anos, o governo impôs através de leis repreensivas para as empresas que não cumprirem as legislações e resoluções vigentes, durante estes anos cada estado buscou dirigir a sua própria legislação sobre a poluição atmosférica, mas os limites máximos impostos foram vagos. Em um resgate cronológico através da

Tabela 1 podemos salientar que somente as últimas 4 resoluções são mais restringíveis.

Tabela 1 - Legislação nacional referente à poluição atmosférica no Brasil - Avanço cronológico

Requisito legal	Descrição
Decreto-Lei no 1.413, de 14 de agosto de 1975	Dispõe sobre o controle da poluição do meio ambiente provocada por atividades industriais
Portaria MINTER no 231 27/04/1976	Estabelece padrões de qualidade do ar e diretrizes sobre controle da poluição do ar
Resolução CONAMA no 05 15/06/1989	Institui o PRONAR – Programa Nacional de Controle de Qualidade do ar
Resolução CONAMA no 03 28/06/1990	Estabelece novos padrões de qualidade do ar (como previa a Portaria MINTER no 231/1976) e os níveis de qualidade do ar para elaboração do plano de emergência para episódios críticos de poluição do ar
Resolução CONAMA no 08 06/12/1990	Estabelece limites máximos de emissão de poluentes do ar (padrões de emissão) para processos combustão externa em fontes fixas por faixa de potência térmica nominal
Resolução CONAMA no 264 26/08/1999	Estabelece para o co-processamento em fornos rotativos de clínquer critérios para utilização de resíduos, Limites máximos de emissão e requisitos sobre monitoramento ambiental
Resolução CONAMA no 316 29/10/2002	Dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos e cadáveres, estabelecendo procedimentos operacionais, limites de emissão e critérios de desempenho, controle tratamento e disposição final de efluentes.
Resolução CONAMA no 382 26/12/2006	Define os limites de emissão de poluentes atmosféricos gerados na indústria de cimento Portland.

Fonte: (CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL, 2013)

Observa-se que apenas as 4 últimas resoluções apresentadas na

Tabela 1 definem limites máximos de emissão.

A Resolução CONAMA 264/1999, dispõe sobre procedimentos e critérios específicos sobre o coprocessamento, e a Resolução CONAMA 316/2002, dispõe dos procedimentos e os critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos.

A maior parte dos critérios de emissões é definida na primeira, assim como as substâncias que não podem ser tratadas em fornos de cimento (resíduos de serviços de saúde, radioativos, explosivos, organoclorados e agrotóxicos), enquanto que a segunda faz referência específica aos limites de emissão de dioxinas.

Mesmo com o avanço da legislação nos últimos anos, os padrões de emissão ainda estavam muito inferiores ao de outros países desenvolvidos. Com o avanço de novas tecnologias na matriz energética brasileira, atualmente é utilizado uma maior diversidade de combustíveis além dos relacionados pelo CONAMA 08/1990. Assim, com a elaboração da Resolução CONAMA 382/2006 a legislação brasileira abordou outros tipos de combustíveis, assim como outros tipos de fontes fixas presentes no parque industrial nacional. A Resolução CONAMA 382/2006 “estabelece limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas” (art.1), para 13 tipos de fontes, tais como: caldeira a óleo, caldeira a gás, caldeira movida a bagaço de cana, caldeira movida a energia gerada por madeira, turbinas, refinarias, fábrica de celulose, de fusão de chumbo, de fusão de vidro, fornos de cimento, fábricas de fertilizantes e siderúrgicas. Monitorado pelos órgãos ambientais estaduais, as quantidades de óxido de enxofre, óxido de nitrogênio, monóxido de carbono e material particulado (MP).

Na Tabela 2, são denotados os limites de emissão para a indústria de cimento, de acordo com o anexo XI da Resolução CONAMA 382/2006.

Tabela 2 - Limites de Emissão para indústrias de cimento Portland

Equipamentos	Material Particulado (MP)	Oxidos de Nitrogênio (expresso como NO ₂)
Fornos	50 ⁽¹⁾	650 ⁽³⁾
Resfriadores	50	N.A.
Moinhos de cimento	50	N.A.
Secadores de escória e de areia	50 ⁽²⁾	N.A.
Ensacadeiras	50	N.A.

Os resultados devem ser expressos na unidade de concentração mg/Nm³, em base seca e com o teor de oxigênio definido para cada fonte. (1) - teor de oxigênio - 11%. (2) - teor de oxigênio - 18%. (3) - teor de oxigênio - 10%. N.A. - Não aplicável.

Fonte: (CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL, 2013)

A aplicação da resolução de CONAMA 382/2006 implicou em discussão entre pesquisadores, organizações não-governamentais e empresários tencionando a “transigência” dessa lei, pois os padrões de emissão ainda estão altos em comparação a outros países desenvolvidos. Para representantes de ONGs ambientais, a polêmica está no fato de que a resolução separou os conceitos de padrões de qualidade ao de padrões de emissão, alegando, desse modo, que o ambiente ao redor dessas fontes fixas de emissão iria sofrer consequências negativas por esses excessos de poluentes na atmosfera.

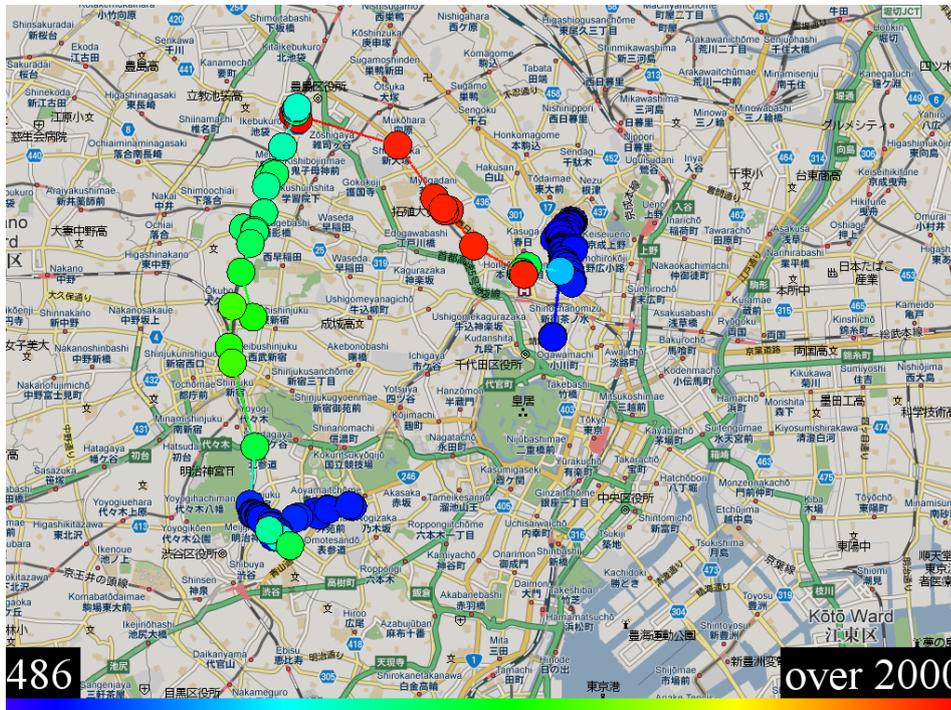
5. MENSURAR PARTÍCULAS CO² COM IOT

Desde o lançamento de plataformas de baixo custo de sistemas IoT, várias aplicações e projetos se tornaram viáveis, uma dessas aplicações é a monitoria da qualidade do ar, sendo assim, para que a indústria cimenteira possa atender essas legislações, hoje é preciso ter equipamentos de alto custo aferindo a emissão de CO² e outros poluentes, para isso propomos uma solução *IoT* de baixo custo funcional e enviando dados para a *cloud*, permitindo a interoperabilidade com outros sistemas e emitindo os devidos relatórios, para isso foi adotado uma rede de sensores sem fio, de baixo custo facilitando a configuração e possibilitando a aquisição dados em tempo real. O progresso em tecnologias de sensores, processamento e comunicação por rádio reduziu o custo, tamanho e consumo de energia dos sensores, porém o desempenho do sistema de RSSF ainda está sujeito à velocidade de computação, capacidade de memória e estabilidade de comunicação (LIU, CHEN, *et al.*, 2011). Assim, estudamos a adoção de protótipos criados para a aplicabilidade em cenários diferentes mas com o mesmo intuito: analisar como está o ar que respiramos.

Em NARIYA (2009) foi explorado o aumento da conscientização da população, onde foi desenvolvido um dispositivo de detecção de CO² portátil, que consiste em um sensor de CO², um Arduino e um notebook, neste sistema foi utilizado a plataforma *Place engine wifi* para determinar a localização através de estimativas de localização a partir da rede sem fio que o equipamento estiver conectado. Junto a esse dispositivo foi criado um software como pode ser observado na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** para visualizar os dados na coleta junto ao tempo e localização,

demonstrando os dados na forma de cores, onde o azul é o local com menor concentração de e vermelho o local de maior concentração CO².

Figura 2 - Distribuição CO²



Fonte: (NARIYA, SEONG, *et al.*, 2009)

A percepção dos autores, foi que em áreas mais arborizadas e com menos fluxo de veículos poluentes (carros, caminhões, etc.) difere muito de áreas centrais onde o ambiente é contrário a estas condições, os usuários que testaram o dispositivo, afirmaram que ele pode ser utilizado como ferramenta que proporciona uma fácil percepção da qualidade do ar no ambiente ao qual o usuário está.

Em CRUZ (2018) foi apresentado uma solução de *IoT* para monitorar os níveis de poluentes na Amazônia, no entanto um desafio para essa monitoria era como conseguir monitorar efetivamente, visto a altura das arvores nos locais de monitoria, para isso foi utilizado uma plataforma elevada a alturas variadas (dependendo do local) para a captação, os autores dividiram o projeto em quatro etapas: levantamento bibliográfico, documentação, prototipação de equipamento, criação de software e testes.

1. Na primeira etapa, a de levantamento bibliográfico, os autores obtiveram informações e conhecimento técnico ambientais e dos equipamentos e softwares que poderiam ser utilizados no projeto.
2. Na segunda e terceira etapa, foram feitos os levantamentos de requisitos para viabilizar o projeto desde o desenvolvimento do protótipo, base de dados e modelos relacionais do banco de dados, para o equipamento foi utilizado o Arduino UNO NodeMCU ESP 8266, sensores de gases, modulo *Wifi* ESP8266/01, para a programação foi utilizado *Java*, *C++* e *SQL* e para banco de dados o *MySQL*.
3. Na última etapa foi escolhido o campus UFPA Castanhal para testes, após os testes e a obtenção dos dados, os valores coletados foram relacionados com valores de qualidade do ar.

Após os devidos testes a conclusão dos autores foi uma grande lacuna na monitoria de gases poluentes na região amazônica, de forma que essas análises ocorrem somente em grandes centros urbanos, enquanto que em regiões de floresta é efetuado somente o sensoriamento remoto de queimadas pelo INPE.

6. CONSIDERAÇÕES

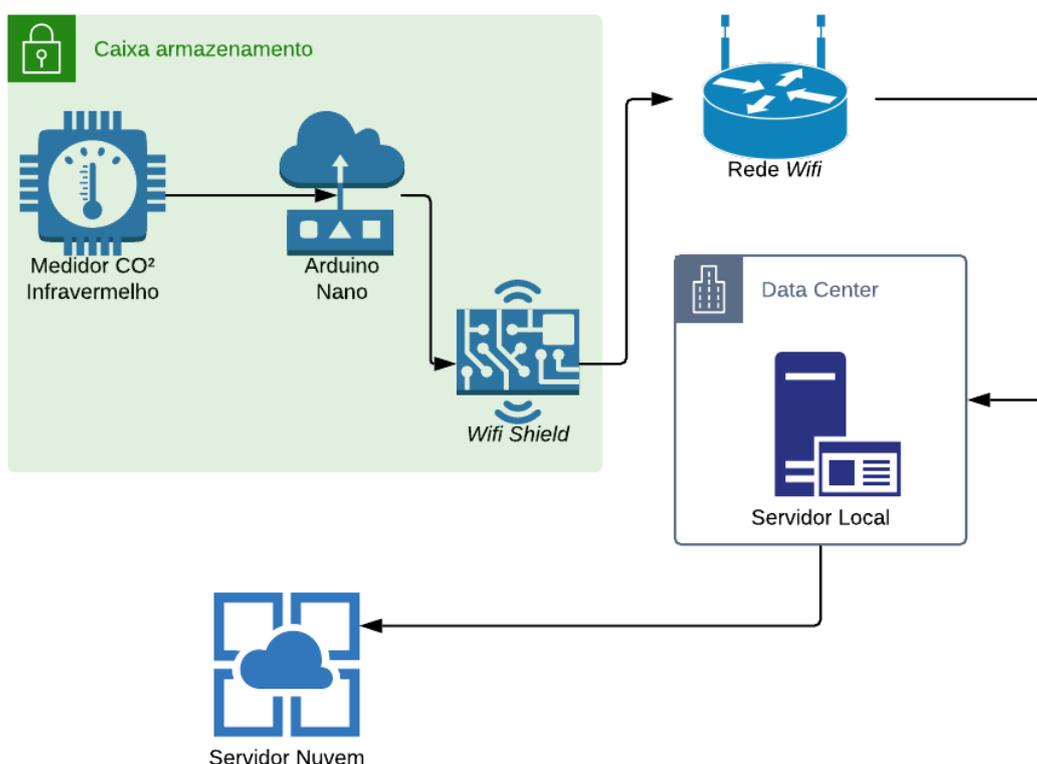
Os gases de uma fábrica de cimento são expelidos a temperatura altíssimas das chaminés para esse tipo de projeto devemos considerar os componentes abaixo:

1. Caixa hermética para armazenamento com certificação IP68
2. Arduino Nano
3. *Wifi Shield*
4. Sensor CO² infravermelho - modelo MH-Z19
5. Rede *Wifi* ou cabo
6. Servidor local ou em Nuvem para armazenamento dos dados e sistema

Como o local será uma chaminé praticamente desprotegido temos que considerar a maior proteção para o equipamento por isso a caixa hermética com certificação IP68 (certificação que contempla total proteção para poeira e água), nessa caixa iremos acondicionar o Arduino Nano ligado ao *Wifi Shield* para a transmissão dos dados via rede sem fio, visto as grandes alturas das chaminés, foi escolhido esta tecnologia que hoje supre locais onde não é possível a passagem de cabeamento (no

entanto se houver essa possibilidade recomendasse a utilização de uma *Ethernet Shield* para comunicação via cabo), geralmente onde essas fábricas se localizam não há ou é escasso o sinal de internet móvel (3G ou 4G) inviabilizando a utilização de um dispositivo via chip de dados para envio direto a nuvem, a escolha do Sensor de CO² infravermelho se deve a alta temperatura que os gases são expelidos podendo ser instalado em uma distância menos prejudicial ao equipamento. Para armazenamento e processamento de todos os dados obtidos usamos um servidor em nuvem para essas aplicações, mas com uma primeira coleta em um servidor local reduzindo o tráfego de dados desnecessários para a nuvem. Para melhor entendimento, abaixo apresento um diagrama ilustrativo do projeto na Figura 3:

Figura 3 - Diagrama de funcionamento equipamentos e aplicação



Fonte: (Própria, 2019)

7. CONCLUSÃO

A partir da avaliação de diversos projetos sistemas *IoT* para medição não somente de CO² mas também de outros poluentes no ar, seja o método de captação em solo ou mesmo em locais altos, identificamos que é totalmente possível termos um sensor destes nas chaminés e no perímetro de uma usina de cimento, para coletarmos e sabermos em tempo real quanto de emissão de poluentes esta fábrica está emitindo e tomar as medidas plausíveis para que essa emissão seja reduzida, não somente aos níveis aceitáveis e mandatários pelas leis governamentais, mas também aos menores níveis possíveis, visando otimizar o processo de forma que prejudique menos o meio ambiente e a vida no geral.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL. **Deliberação Normativa Copam nº 187, de 19 de setembro de 2013**. Diário do Executivo. [S.l.], p. 77. 2013.

CRUZ, J. W. V. D. et al. Uma Solução Internet das Coisas para Monitoramento de Gases Poluentes na Amazônia Legal. **SULCOMP - Congresso Sul Brasileiro de Computação**, 2018. 10. Disponível em:
<<http://periodicos.unesc.net/sulcomp/article/view/4800>>.

FARENZENA, H. **Fabricação de cimento portland**. Cimentec. Porto Alegre. 1995.
LEHNE, J.; PRESTON, F. **Making Concrete Change - Innovation in Low-carbon Cement and Concrete**. Chathan House Report. Londres, p. 138. 2018. (978 1 78413 272 9).

LIU, J.-H. et al. **Developed urban air quality monitoring system based on wireless sensor networks**. Palmerston North: [s.n.]. Dezembro 2011.

NARIYA, T. et al. **Spatio-temporal sensing and visualizing of CO2**. SIGGRAPH '09: Posters. New Orleans, Louisiana: ACM. 2009.

PAIVA, A. C. N. et al. **CUSTOS AMBIENTAIS NA INDÚSTRIA DE CIMENTO: UM ESTUDO NA ITAPETINGA AGRO-INDUSTRIAL S/A**. XXX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. São Carlos, SP: [s.n.]. 2010. p. 12.

SANTI, A. M. M. **Co-incineração e co-processamento de resíduos industriais perigosos em fornos de clínquer: Investigação no maior pólo produtor de cimento do país, Região Metropolitana de Belo Horizonte, MG, sobre os riscos ambientais, e propostas para a Segurança Química**. Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Campinas, p. 249. 2003.

SANTI, A. M. M.; FILHO, A. O. S. **Combustíveis e riscos ambientais na fabricação de cimento; casos na Região do Calcário ao Norte de Belo Horizonte e possíveis generalizações**. I ENCONTRO NACIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM AMBIENTE E SOCIEDADE – ANPPAS. Campinas: [s.n.]. 2004. p. 18.