



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA  
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

**IMPACTOS TRANSFORMADORES NA SOCIEDADE ORIUNDOS DE INOVAÇÕES  
TECNOLÓGICAS DA ENGENHARIA**

RICARDO MONTEIRO E SILVA ROCHA

ORIENTADORA: CAROLINA LIPPARELLI MORELLI

Recife  
2022

RICARDO MONTEIRO E SILVA ROCHA

**IMPACTOS TRANSFORMADORES NA SOCIEDADE ORIUNDOS DE INOVAÇÕES  
TECNOLÓGICAS DA ENGENHARIA**

Trabalho de Conclusão submetido ao Departamento de Engenharia Mecânica, da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, para conclusão do curso de Graduação em Engenharia Mecânica

Orientador(a): CAROLINA LIPPARELLI MORELLI

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Rocha, Ricardo Monteiro e Silva .

Impactos transformadores na sociedade oriundos de inovações tecnológicas da engenharia / Ricardo Monteiro e Silva Rocha. - Recife, 2022.

43 : il.

Orientador(a): Carolina Lipparelli Morelli

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Engenharia Mecânica - Bacharelado, 2022.

1. engenharia. 2. leapfrog. 3. impacto social. 4. inovação. 5. energia. 6. saneamento. I. Morelli, Carolina Lipparelli. (Orientação). II. Título.

620 CDD (22.ed.)



## RESUMO

A monografia investiga como a acumulação de domínio tecnológico somado ao entendimento de contextos socioeconômicos e culturais possibilitam que a engenharia mecânica, e o engenheiro, obtenham o potencial para explorar caminhos de significativa transformação em comunidades. A fundamentação é baseada numa retrospectiva história de como a Engenharia impactou a humanidade através das invenções e, principalmente, inovações produzidas, para então, buscar-se entender o potencial contemporâneo de transformação do engenheiro ou engenheira. Argumenta-se que esse potencial é maximizado ao trabalhar-se com soluções que tenham caráter escalável, exponencial, específico para um contexto de estudo, disruptor e, acima de tudo, democrático. Para se analisar os caminhos para produção de resolutivas de tais formas, optou-se pelo levantamento e estudo de dois casos, estes que são envoltos a dois dos grandes problemas enfrentados pela humanidade, sobretudo pelas classes sociais menos favorecidas economicamente. Esses problemas são: a falta de acesso a energia elétrica, que ainda é a realidade de grande parte da humanidade, e a falta de acesso ao saneamento básico, que configura o maior causador de mortes evitáveis do planeta. Há um otimismo que soluções inovadoras possam trazer enormes impactos para as pessoas assoladas com tais condições, e de fato durante a pesquisa constatou-se que a execução e pensamento inovador dos engenheiros está sendo crucial para já impactar centenas de milhões de vidas, provocando inclusive fenômenos desenvolvimentistas importantíssimos à nível macroeconômico, os “*leapfrogs*”, principalmente em nações emergentes.

**Palavras-chave:** engenharia; *leapfrog*; impacto social; inovação; energia; saneamento.

## ABSTRACT

The monography investigates how the accumulation of technological mastery added to the understanding of socioeconomic and cultural contexts enable the mechanical engineer, and engineering itself, to obtain the potential to explore paths of significant transformation in communities. The foundation is based on a retrospective history of how Engineering impacted humanity through inventions and, mainly, produced innovations, in order to then seek to understand the contemporary potential for transformation of the engineer. It is argued that this potential is maximized when working with solutions that are scalable, exponential, context specific, disruptive and, above all others, democratic. In order to analyze possible paths for the production of resolutions in such ways, it was decided to research and study two cases, which involve two of the greatest's problems faced by humanity, especially by the economically less favored social classes. These problems are: the lack of access to electricity, which is still the reality of a large part of humanity, and the lack of access to basic sanitation, which is the biggest cause of preventable death on the planet. There is an optimism that innovative solutions have for people afflicted with such conditions, and in fact during the survey it was found that an innovative execution and thinking by engineers is being crucial to already impact hundreds of millions of lives, even causing developmental phenomena very important at the macroeconomic level, "leapfrogs", mainly in emerging nations.

**Keywords:** engineering; leapfrog; social impact; innovation; electricity; sanitation.

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1. Gravura do primeiro elevador, 1854.....	13
Figura 2. Willis e uma máquina de refrigeração.....	14
Figura 3. Os 6 D's das organizações exponenciais.....	18
Figura 4. Kit de bombeamento de água.....	25
Figura 5. Kit solar e medidor.....	27
Figura 6. Principais causas de morte no mundo.....	28
Figura 7. Visão geral do vaso.....	31
Figura 8. Configuração do Sistema.....	31
Figura 9. Sistema de descarga mecânica.....	32
Figura 10. Sistema de Separação.....	33
Figura 11. Combustão das fezes.....	34
Figura 12. Aquecimento da urina.....	34
Figura 13. Filtração por nano membranas.....	35
Figura 14. Condensação.....	35

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>7</b>
<b>1.1. Objetivos.....</b>	<b>8</b>
1.1.1. Objetivo Geral.....	8
1.1.2. Objetivos Específicos.....	8
<b>1.2. Motivação.....</b>	<b>9</b>
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>10</b>
<b>2.1. Algumas invenções da engenharia mecânica.....</b>	<b>12</b>
2.1.1. Elevadores.....	12
2.1.2. Ar-condicionado.....	14
<b>2.2. "Leapfrogging" e seus impactos.....</b>	<b>15</b>
<b>3. METODOLOGIA.....</b>	<b>19</b>
<b>4. RESULTADOS.....</b>	<b>21</b>
<b>4.1. Caso 1: Kits solares para geração de energia de baixo custo.....</b>	<b>21</b>
4.1.1. Contextualização do problema.....	21
4.1.2. Solução inovadora e seus impactos.....	24
<b>4.2. Caso 2: Nano membrane Toilet (Vaso de nano membrana) .....</b>	<b>27</b>
4.2.1. Contextualização do problema.....	27
4.2.2. A inovação tecnológica.....	30
<b>5. CONCLUSÕES.....</b>	<b>38</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>39</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Albert Einstein define a verdadeira insanidade como fazer as mesmas coisas sempre esperando por resultados diferentes. É muito comum se olhar para os países em desenvolvimento e visualizar tentativas de emular as soluções encontradas por países desenvolvidos para grandes problemáticas. O fato é que nem sempre esse tipo de pensamento é correto, uma vez que contextos diferentes apresentam problemas diferentes e requerem soluções diferentes. Estima-se que a África subsaariana por exemplo, caso siga as mesmas rotas de desenvolvimento empregadas no passado por países desenvolvidos de outros continentes, para dar acesso a energia elétrica a sua população, ainda terá meio bilhão de pessoas sem acesso a energia elétrica até 2040 (Ávila et. al., 2017).

Portanto, é necessário o desenvolvimento de soluções diferentes em contextos diferentes, o que pode ser conseguido através de inovações geradas a partir da utilização dos conceitos e práticas da engenharia, possibilitando caminhos alternativos de desenvolvimento.

A presente monografia foi redigida a partir de um levantamento bibliográfico para fundamentar historicamente o papel da engenharia como transformadora da sociedade e analisar, através de estudos de caso de invenções da engenharia que se tornaram inovações, os impactos da engenharia na sociedade no presente e futuro, em especial entendendo a potencialidade de propiciar “*Leapfrogs*” em nível nacional e quais impactos isso gera na população local dos países emergentes.

Foram tomados como exemplo dois grandes problemas da atualidade, que afetam principalmente países em desenvolvimento: o acesso a energia elétrica, que potencializou grande parte do desenvolvimento da humanidade e hoje representa uma fator caracterizante da dignidade humana; e o acesso ao saneamento básico, que não só compõe um dos fatores para o cálculo do índice de desenvolvimento humano (IDH) das nações, como é responsável direto – em sua ausência – pela maior causa de mortes evitáveis do mundo e sétima maior causa de mortes em geral (IHME,2016). O presente trabalho de conclusão de curso traz o exemplo de como duas inovações da engenharia puderam solucionar a falta de acesso à energia elétrica e ao saneamento básico de inúmeras pessoas, resultando em significativo impacto social positivo.

## 1.1. Objetivos

### 1.1.1. Objetivo Geral

O presente trabalho de conclusão de curso objetivou buscar exemplos de inovações recentes de Engenharia com impactos sociais significativos e abrangentes para uma vasta parcela da sociedade, possibilitando o desenvolvimento e resolução de grandes problemáticas através da democratização dessas tecnologias.

Com isso, objetiva-se contribuir para a reflexão do papel da Engenharia na sociedade, analisando as premissas que norteiam o desenvolvimento de inovações e como podem oferecer caminhos alternativos para o desenvolvimento.

### 1.1.2. Objetivos específicos

a) Apresentar exemplos de inovações clássicas da engenharia a fim de contextualizar a importância desta para a sociedade como um todo.

b) Fazer ampla pesquisa bibliográfica sobre inovações recentes da Engenharia e seus impactos, buscando aquelas que tiveram impactos sociais positivos e cujo alcance e acessibilidade mostrou-se democrática a grupos específicos, viabilizando novos caminhos de crescimento e desenvolvimento, através do fenômeno denominado como “*leapfrogging*”,

c) Elucidar, a partir do estudo de caso de duas inovações que se destacam dentre as encontradas, a relevância do pensamento disruptivo para resolução de grandes problemas.

## 1.2. Motivação

Durante sua formação, os engenheiros recebem, em geral, um ensino focado no desenvolvimento de tecnologias que muitas vezes não levam em consideração os impactos socioambientais que podem ocasionar nas localidades em que forem implementadas.

Ainda que a valorização do estudo técnico de aspectos operacionais da engenharia seja notoriamente válida, em poucos momentos a perspectiva socioambiental ou mesmo econômica, num caráter macro e micro, são abordadas na formação de um engenheiro ou engenheira. Nesses termos, o potencial transformador de um engenheiro pode ser mitigado pela falta de perspectiva de aplicabilidade e possível impacto da tecnologia da qual ajudou a desenvolver ou implementar.

A motivação do presente trabalho foi analisar o papel da engenharia de um modo transdisciplinar, buscando exemplos de inovações que geraram impactos sociais positivos significativos que comprovam o importante poder transformador da engenharia.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Desde os primórdios, a humanidade vem utilizando a Engenharia - até mesmo antes desta nascer como matéria de estudo propriamente dita - para potencializar sua vida, moradia, transporte, alimentação etc. Os termos engenharia e engenheiro têm origem etimológica do latim “*ingenium*” que pode ser interpretado como talento, capacidade de invenção, aptidão para resolução de problemas (TELLES, 1997).

Faz parte do escopo de atuação do engenheiro a utilização e entendimento das melhores ferramentas e tecnologias para viabilização de soluções para as necessidades da sociedade (DAGNINO, 2008). O termo “tecnologia”, por sua vez, (OXFORD LANGUAGES, 2021) vem do grego “*tekhnología*”, advindo da junção do radical *tekhno* - que significa arte, ciência - com o radical *logus*, que significa estudo, conhecimento. Dessa forma, tecnologia pode ser definida como a arte ou ciência de obter o conhecimento. Portanto a Engenharia pode ser entendida como a aplicação do conhecimento humano no sentido de satisfazer suas necessidades, individuais e coletivas, o que se manifesta inúmeras vezes através de invenções.

Essas invenções geram impactos sociais, econômicos e ambientais, de forma diferente em grupos sociais diversos, de modo que podem ser positivos para uma classe e negativos para outras. Para David Noble (1997), a ação dos engenheiros na maior parte do século XX esteve a serviço majoritariamente de interesses econômicos, o que contribuiu com a segregação dos mais pobres, mesmo não sendo este o objetivo primário. Essa perspectiva contraria o conceito que a Engenharia estaria a serviço das necessidades coletivas. Isso se daria, segundo Noble, porque as soluções desenvolvidas ainda são de maioria focadas para aqueles que possuem mais poder, enquanto frequentemente se mostram desastrosas para o resto da sociedade (DAGNINO, 2008).

Entendendo a visão anteriormente trazida, o presente trabalho tem o intuito de destacar os benefícios e ganhos que a engenharia traz para a sociedade, principalmente através de soluções que visem a democratização do acesso ao desenvolvimento, em especial para aqueles que representam classes sociais economicamente menos favorecidas.

Duas importantes características do papel do engenheiro constam na própria definição do termo, a sua capacidade inventiva e de resolução de problemas. Essa relevância se dá uma vez que todos os impactos nascem a partir de necessidades apresentadas pela sociedade - leia-se, problemas – que por sua vez serão atendidas através de trabalhos inventivos. Segundo o Dicionário de Oxford (2012), uma invenção é “a descoberta ou criação, decorrente de estudos e/ou experimentos de alguma coisa que se presume ter utilidade social”, o que se aplica perfeitamente à visão da engenharia como um meio para o desenvolvimento social.

Não obstante, dentro desse contexto, um outro termo que se faz muito presente, e talvez ainda mais importante, é inovação. Muitas vezes confundida conceitualmente com invenção, há várias definições para o termo, que variam bastante dependendo do contexto em que se é afirmado. No entanto, a grande maioria se baseia acerca do critério de que inovações devem necessariamente agregar valor para o consumidor (caráter comercial) e para a sociedade (caráter de utilidade social), de modo que não há somente presunção de utilidade, mas a prova dela.

Isso fica claro nas definições do especialista em inovação Paul Hobcraft (*apud* Alexandre Spada, 2018), que define inovação como "o jeito fundamental no qual uma companhia traz constantemente valor para seus consumidores (...) e conseqüentemente seus *stakeholders*" (atores relevantes no contexto). Já Jorge Barba (*apud* Alexandre Spada, 2018), acredita que "a inovação é algo que agrega valor ao mundo. (...) se um produto ou serviço não melhora a vida das pessoas, não é inovação". Uma definição simples e poderosa é comumente atribuída ao Professor Silvio Meira, que diz que "a inovação é a criatividade emitindo notas fiscais".

A principal diferença entre inovação e invenção é que uma tem um caráter necessariamente de utilidade comercial e social enquanto a outra não. As invenções podem ou não ter utilidade social. A partir do momento que começam a ter características comerciais, socioeconômicas e/ou políticas, tornam-se inovações. No entanto, as inovações não necessariamente precisam ser advindas de invenções. Dessa forma, entendendo que as inovações tecnológicas abrangem um espectro mais amplo e comercial - e conseqüentemente também social - o presente estudo irá focar em inovações, em detrimento de invenções por si só.

Apesar das definições anteriores serem um tanto focadas no âmbito corporativo, é evidente que inovações, tecnológicas ou não, têm um importante papel no que diz respeito à agregação de valor para a sociedade. Por conta desses fatores, a presente monografia objetiva estudar como as inovações decorrentes da Engenharia podem beneficiar a sociedade em diversos âmbitos e como potencializar o desenvolvimento trazido por essas inovações, principalmente em países emergentes.

A fim de retratar historicamente como a Engenharia, e mais especificamente a Engenharia Mecânica, vêm impactando a sociedade como um todo, serão apresentados a seguir dois casos de invenções que se tornaram inovações de extrema importância para o cotidiano de um grande número de pessoas.

## 2.1 Algumas invenções da Engenharia Mecânica

Telles (1997) disserta que desde definição inicial do termo engenheiro pelos brasileiros, o trabalho exercido pelos mesmos é amplamente aproximado da criação, uso e manutenção de máquinas (em geral bélicas) ou engenhos (advindos dos antigos engenhos de cana-de-açúcar). Tal fato representa um importante recorte histórico do país, mas também um importante detalhamento das raízes que servem de fundação para os caminhos de desenvolvimento das engenharias como um todo.

A seguir serão apresentados alguns exemplos de invenções relacionadas à engenharia mecânica e seus impactos sociais.

### 2.1.1 Elevador

Como comumente ocorre com diversas invenções, *a priori* o elevador foi criado com um propósito inicial diferente do que se tornou sua principal aplicação atualmente. Ele foi inventado por Elisha Otis, colaborador de uma empresa norte-americana de estrados, em 1852. O inventor em questão era engenheiro mecânico e tinha o desafio de erguer os produtos (estrados) até os andares mais altos da fábrica, o que era feito na época de forma cansativa, perigosa e pouco eficiente. Assim, Otis criou o elevador, baseado em princípios básicos da engenharia e da física para solucionar suas necessidades.

Figura 1 – Gravura do primeiro elevador, 1854.



Fonte - Wikimedia Commons (2014)

A invenção inicial foi projetada como uma plataforma deslizante dentro de um poço, com contrapesos, concomitante a um sistema de catracas para impedir que o sistema geral colapsasse e fosse abaixo caso os cabos que seguravam a plataforma atingissem seu limite de ruptura.

O inventor, vendo um promissor potencial comercial em sua ideia, deixou a empresa de estrados e patenteou sua - agora - inovação. Segundo relatório anual de 2020 da Elevator Company, a companhia movimenta diariamente 2 bilhões de pessoas, através de seus mais de 2 milhões de elevadores e escadas rolantes, instalados em mais de 200 países e territórios, tendo movimentado uma receita em torno de 13,6 bilhões de dólares, ou seja, ainda é uma grande empresa. Essa inovação é importante até hoje e contribui muito com o modo de organização atual da sociedade em prédios e arranha-céus.

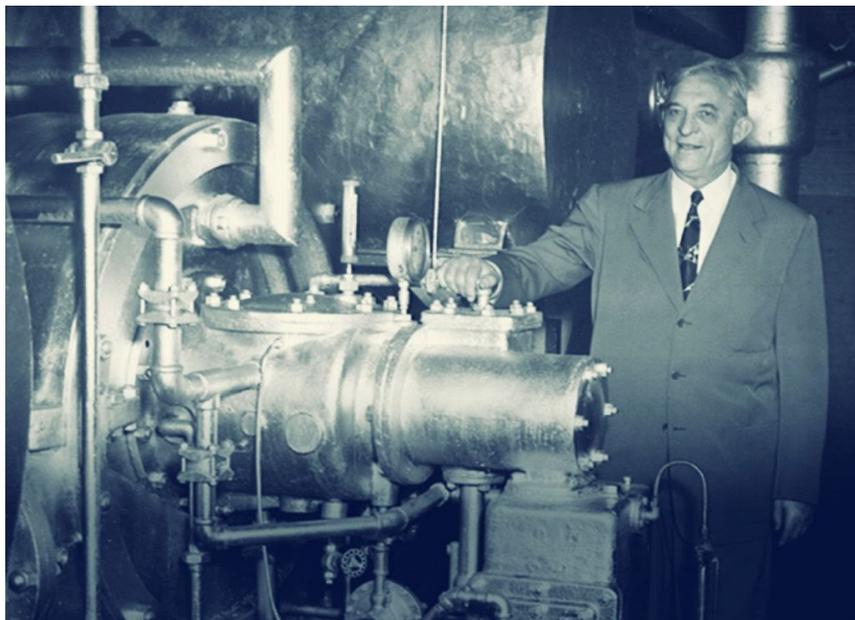
O elevador é um exemplo de uma invenção pontual, destinada a princípio a uma necessidade específica, que acabou sendo de extrema relevância à sociedade e ao modo como ela se organiza.

### 2.1.2 Ar-condicionado

Similarmente ao que ocorreu na invenção do elevador, o Engenheiro Mecânico Willis Carrier, em 1902, colaborador de uma empresa Gráfica em Nova Iorque, ao se deparar com o problema de superaquecimento que uma das suas máquinas estava apresentando, utilizou os conceitos de termodinâmica aplicada para criar um sistema de refrigeração.

Por conta de sua invenção, notou-se um grande potencial econômico, que deu vida a uma das inovações mais utilizadas no cotidiano global, principalmente em localidades que enfrentam estações de calor intenso: o ar-condicionado.

Figura 2: Willis e uma máquina de refrigeração



Fonte - Williscarrier.com.

Apesar dos claros benefícios que tais inovações da engenharia mecânica trouxeram para a sociedade, é importante notar que, como várias outras invenções e inovações, democratizá-las é um desafio.

Estima-se que grande parte da África, Ásia e América do Sul, será alvo de relevantes alterações climáticas, levando a registros cada vez mais frequentes de temperaturas extremas nas próximas décadas (MMA, 2016; SCHIERMEIER, 2018), de forma que a necessidade de utilização do ar-condicionado tende apenas a crescer. Ante a natureza emergente dos referidos países, é imperioso analisar soluções que visem contemplar a realidade vivenciada por estes. A

critério de comparação, países como China e Estados Unidos possuem aproximadamente 1 e 2 aparelhos, respectivamente, por residência, enquanto no Brasil temos apenas 0,4 aparelhos. Cumpre destacar também que boa parte do território brasileiro se encontra em zonas tropicais do planeta, ao contrário de China e EUA (Ministério da Energia de Minas Gerais, 2018).

Sendo o Brasil um dos países que teria alta demanda dessa tecnologia, por conta das altas temperaturas, a média de 0,4 ar-condicionado por residência (ou seja, na melhor das hipóteses, 60% das moradias não têm acesso a ar-condicionado) indica que o benefício desta invenção não está sendo alcançado em seu máximo potencial e gerando os impactos que poderia gerar na sociedade.

Ante o exposto, observar-se-ão estratégias e casos de sucesso onde a partir da tecnologia os países emergentes podem desfrutar do impacto positivo - em alguns casos - e percorrer por um fenômeno específico, denominado como "*LeapFrogging*", como explicado a seguir.

## 2.2. "*LeapFrogging*" e seus impactos

Para evoluir a discussão acerca da inovação em países emergentes, é importante examinar o conceito "*LeapFrogging*". Segundo o *Center for Strategic and International Studies* (CSIS, 2020), o "*Leapfrogging*" é um fenômeno que ocorre quando uma nação transpassa os estágios tradicionais de desenvolvimento, pulando diretamente para as tecnologias mais recentes ou explorando um caminho alternativo de desenvolvimento tecnológico, que envolvem novos benefícios e oportunidades nunca pensadas anteriormente. Em outras palavras, executar um "*LeapFrogging*" – que do inglês vem do salto de um sapo – está relacionado com a utilização de tecnologias e inovações presentes, que possibilitam que se pule estágios que anteriormente eram considerados necessários para o desenvolvimento, indo “diretamente para o futuro”.

Uma boa maneira de ilustrar o "*LeapFrogging*" é através de exemplos práticos onde este ocorreu e o continente africano é repleto dos mesmos. A maioria dos países da África não conseguiu no início do século XXI criar uma malha de cabeamento telefônico relevante, de forma que grande parte do continente não tinha, até recentemente, acesso à telefonia.

A construção de uma malha de cabeamento telefônico paulatinamente, como ocorreu em grande parte dos países da Europa e América, não conseguiu ser feita até o presente momento eficientemente em boa parte dos países africanos. Não obstante, ao invés de seguir o que

foi “natural” para países de outros continentes, os países africanos em questão investiram fortemente diretamente na telefonia via satélite, assim dando acesso à população diretamente a celulares, ignorando de certa forma a telefonia fixa. Por isso o termo “*LeapFrog*”, é como se os países tivessem *pulado* essa etapa de desenvolvimento, e focado diretamente em uma tecnologia que possibilitou a resolução do mesmo problema de maneira mais eficiente (YAYBOKE, 2020).

Nesse sentido, o “*LeapFrogging*” representa um fenômeno onde a inovação é protagonista na resolução de problemas sem seguir uma linha tecnológica “evolutiva”. Isso é especialmente importante nas modernidades periféricas, que buscam atualizações diversas, mas não necessariamente tem a base tecnológica anterior.

Tais inovações serão estudadas no presente trabalho, uma vez que proporcionam enormes impactos no âmbito do desenvolvimento e democratização tecnológica para a população, principalmente em países emergentes, como o Brasil.

A terminologia de “*leapfrogging*” foi usada, de início, no contexto de teorias de crescimento econômico e estudos de inovação de organizações industriais, com base no que tange à competição entre empresas. Com a ótica mais a longo prazo, amplia-se o conceito para uma visão mais global, de forma a se comparar econômica e socialmente o desenvolvimento tecnológico de economias de países, estados e comunidades em face a melhoria da vida comunitária.

O termo está sustentado na teoria de Joseph Schumpeter (1992) e reinterpretação por Kattel e Burlamarqui (2015), desenvolvida para explicar as transformações que ocorrem no capitalismo, que, segundo ele, jamais seria estático, visto estar em constante progressão e desenvolvimento. Para Schumpeter, o processo de inovação é a força motriz do crescimento econômico, já que novos produtos são capazes de levar à falência tanto empresas antigas quanto modelos de negócios. “*Leapfrogging*”, assim, está vinculado à ideia de inovação, mas, quando um processo inovador encontra a tecnologia, existem as condições ideais para acelerar processos e fazer o salto desenvolvimentista acontecer.

Para fornecer um outro exemplo, a fim de haver melhor compreensão do termo, até o ano de 2007, no Quênia, a população convivia com várias dificuldades no acesso ao sistema financeiro, em todas as esferas, graças à precariedade do sistema bancário e a existência de uma malha ineficiente de caixas eletrônicos, que era composta por apenas 2698 caixas, para atender uma população de aproximadamente 36 milhões de habitantes. Isso gerava dificuldades desde a realização de pagamentos de faturas, transferências ou até a própria manutenção de uma conta corrente. No entanto, ao observar que uma considerável parcela da população queniana tinha acesso à celulares, foi construída uma plataforma, a M-PESA, que habilitava a execução de

tarefas simples – como um caixa eletrônico - através de qualquer celular pré-pago, sem necessidade de ter acesso a internet ou ser um *smartphone*. Em 2015 a M-PESA contava já com a participação do equivalente a 40% da população do país, sendo uma das principais companhias do Quênia. Novamente, foi apresentada pela M-PESA uma solução que possibilitou um caminho alternativo ao comum para transferências bancárias digitalmente (WATSON, 2008).

Considerando a realidade brasileira, segundo a ANATEL (2021) o Brasil fechou o ano de 2020 com 234 milhões de acessos móveis, em comparação aos 152 milhões de pessoas com acesso a internet (Comitê Gestor da Internet do Brasil, 2021). Isso ainda se agrava nas classes D e E onde apenas 64% das pessoas tem acesso a internet. Sendo assim, no comparativo entre pessoas com acesso móvel e pessoas com acesso a internet, pode-se concluir que uma solução nesse viés apresentado para transferências poderia fazer sentido.

Grupos como o Better than Cash estão construindo conjuntamente com os governos de países emergentes a transição para pagamentos eletrônicos. Essas ações acabaram por ocasionar a diminuição da circulação de moeda, ao invés da comunidade depender exclusivamente de dinheiro físico. As empresas inovadoras do Quênia disputam no momento quem será o próximo M-PESA.

A ideia trazida na discussão acerca do “*leapfrogging*” fica nítida quando analisada pela perspectiva de países em desenvolvimento. Em nível organizacional, a valorização de fatores subjetivos aponta para a melhoria de alternativas às soluções ortodoxas. Alguns casos de sucesso abrem margem para percepção de como tecnologias disruptivas podem fazer com que esses países cresçam de forma mais ágil no mesmo ritmo de nações desenvolvidas, o que possibilitaria galgar menores diferenças econômicas e sociais. Uma aplicação cotidiana de “*leapfrogging*” é quando as empresas buscam ferramentas com o intuito de saírem na frente dos seus concorrentes no que diz respeito às inovações tecnológicas.

A teoria indica que as empresas que detêm monopólios baseados em tecnologias existentes costumam ter menos incentivo para inovar do que os concorrentes em potencial e, portanto, podem perder seu papel de liderança quando inovações tecnológicas profundas são adotadas por novos negócios que estão prontos para assumir os riscos.

Quando, por acaso, as inovações tornam-se o novo paradigma tecnológico, diz-se que ocorreu o “*leapfrogging*”, ou no português, que aquela nova companhia realizou um “salto” à frente daquelas que detinham o monopólio de determinada produção. Mas isso não está limitado apenas às novas empresas, afinal o conceito também pode ser aplicado àquelas já estabelecidas no mercado concorrencial e que conseguem, mesmo assim, serem disruptivas e estabelecerem, então, novos padrões tecnológicos.

No estudo de tecnologias e inovações de caráter disruptivo, encontram-se padrões de características nas tecnologias e suas consequências no ambiente socioeconômico que as envolvem, muito bem descritos por Salim Ismail et al. (2015) em seu livro *Organizações Exponenciais*. Tais características são explicitadas pelo *framework* (meta-método) dos 6D's das tecnologias e organizações exponenciais, como melhor retratado na Figura 3.

Figura 3: Os 6 D's das organizações exponenciais



Fonte: <https://blog.aaainovacao.com.br/os-6ds-do-crescimento-exponencial/>

Em suma, cada “D” da teoria citada representa uma fase pelas quais devem percorrer as tecnologias para que se obtenha um caráter exponencial, de modo que o principal detalhe de relevância para o presente estudo é o último D, a democratização. É de suma importância o entendimento que a fase final dessa teoria é atingida através de uma gradual evolução nas inovações postas no contexto de estudo, passando pela “Disrupção”, anteriormente citada, que diz respeito a utilização da inovação com a ruptura de modelos já existentes.

Em seguida há a fase de “Desmaterialização”, que diz respeito a descentralização de produção e acesso das invenções e inovações e a “Desmonetização”, ou seja, viabilização econômica da inovação em preços que tendem ao gratuito, para então chegar-se (ou tender-se) à democratização.

### 3. METODOLOGIA

Ao longo do desenvolvimento do trabalho, foram utilizadas primordialmente duas técnicas de pesquisa: a revisão bibliográfica e a análise de dados empíricos secundários. Sendo assim, primeiramente, foi realizada uma revisão de literatura. Com essa leitura, pretendeu-se compreender e explorar o conceito a partir do referencial teórico fundamentado no modelo de Joseph Schumpeter de “*leapfrogging*”. Em seguida foram buscados estudos de casos específicos de inovações que geraram impactos sociais positivos e abrangentes e nos quais esse modelo foi implementado

Assim, no desenvolvimento do presente Trabalho de Conclusão de Curso, buscou-se identificar documentos científicos divulgados por universidades e institutos de pesquisa no âmbito de inovações na engenharia que contemplassem os pré-requisitos estabelecidos. Também foi avaliada a extensão do impacto social gerado pelas inovações estudadas, se resultaram em transformações locais ou repercutiram em nível global no desenvolvimento das comunidades.

A fim de contextualizar a discussão de cada tema, a monografia é estruturada em formato de estudo de caso, método de pesquisa que utiliza de dados qualitativos, coletados a partir de eventos reais, com o objetivo de explicar, explorar ou descrever fenômenos atuais inseridos em seu próprio contexto. Destarte, a partir do estudo de cada caso, expõe-se e explica-se o impacto real ou potencial para comunidade e os princípios de confecção de cada inovação.

Para a realização da revisão bibliográfica foram selecionados dois casos, os quais estruturam a monografia. A partir desses casos, foram selecionados artigos científicos, capítulos de livro ou documentos que fornecessem informações acerca desses casos, tanto quanto ao que tange ao seu impacto quanto ao que tange ao seu desenvolvimento da tecnologia em si. Os critérios utilizados para a escolha dos casos partiram dos seguintes filtros:

- a) Casos que possuíssem impactos sociais significativos;
- b) Impacto, preferencialmente, na comunidade local;
- c) Perspectiva de impacto em nível global;
- d) Desenvolvimento direto e/ou indireto a partir da engenharia mecânica;
- e) Casos que são pautados em invenções de engenheiros;
- f) Casos que configurem inovações com potencial ou evidências de gerar ruptura nos paradigmas do contexto estudado.

Os estudos de caso abordados também têm o intuito de se encaixar e exemplificar o processo anteriormente descrito na meta metodologia dos 6 D's (Figura 3), esteja ele em andamento ou já finalizado, uma vez que se entende que a democratização – ou o caminho para ela – é a melhor forma de garantir que se haja impactos de uma dada inovação da engenharia na sociedade.

## **4. RESULTADOS**

A partir de tais pressupostos, foram selecionados dois casos para discussão no trabalho de conclusão de curso, os quais serão discutidos através dos seguintes pontos: entendimento do contexto e dimensão do problema às quais as inovações se propõem a sanar; caracterização e descrição das inovações desenvolvidas visando solucionar os problemas em questão; e conclusões e resultados do estudo de cada caso, sob a ótica do impacto social gerado ou esperado.

### **4.1. Caso 1: Kits solares para geração de energia de baixo custo**

#### **4.1.1. Contextualização do problema**

A utilização de energia elétrica é, sem nenhuma dúvida, uma das grandes necessidades do homem contemporâneo, configurando uma das características que compõem a dignidade humana. Governos, indústrias, hospitais, negócios, comércio, escolas, igrejas, em geral todas as instituições e inúmeras atividades do dia a dia são dependentes da utilização dessa tecnologia. Indubitavelmente, a energia elétrica viabilizou um enorme potencial de crescimento e desenvolvimento da sociedade que, da forma em que se configura hoje, é altamente dependente dela.

Entretanto, apesar do enorme papel que a utilização de energia representa nos dias atuais, um estudo efetuado em 2021 pela Agência Internacional de Energia (AIE), em conjunto com a Agência Internacional de Energia Renovável (Irena) e a Organização Mundial da Saúde (OMS), estimou que em torno de 759 milhões de pessoas no mundo ainda não têm acesso à energia elétrica, o que representa uma enorme parcela da população mundial, marginalizada de uma tecnologia que parece ser “básica” para grande parte do mundo, como citado anteriormente (IEA et al., 2021).

Em adição a isso, é evidenciado que a cada dia a necessidade do uso da mesma se maximiza. No Brasil, por exemplo existem projeções que indicam uma média de crescimento da demanda pelo consumo energético de ao menos 33% a cada 5 anos (EPE, 2016). O aumento da demanda por energia elétrica em todo o mundo também traz o agravante de que, em sua maioria, ela é gerada a partir de fontes não renováveis, que são responsáveis por impressionantes 98% da produção de toda a energia mundial (EPE, 2018).

Uma solução, já repercutida por inúmeros estudiosos, seria a de utilização de energias provenientes de fontes alternativas, como a eólica e a solar. Sobre o último ponto, Elon Musk, CEO da Tesla, trouxe à tona o dado de que a construção de uma planta de energia solar de 26 mil quilômetros quadrados, no deserto dos Estados Unidos, unida a uma gama de baterias para armazenar energia 24 horas por dia, 365 dias por ano, seria responsável pelo abastecimento da energia necessária para todo país. Em adição a esse fato, segundo as teorias de Andrew Smith, uma planta de painéis solares operando com eficiência de 21% numa área de 10 mil quilômetros quadrados seria responsável pela geração de em média 500 GW, o que representa mais que o consumo médio dos Estados Unidos, de 425 GW. Esses estudos indicam que energia solar tem potencial de ser não só a fonte de energia renovável mais barata do mundo, mas a fonte mais barata de toda a história, batendo o carvão e gás natural (SIMEPE, 2020).

Os dados anteriores e diversos outros alarmam para a grande relevância do estudo de viabilização de uma matriz energética pautada em energias renováveis, de baixo custo e amplo acesso à população inclusive de baixo poder aquisitivo. O fato é que ainda não há democratização completa da utilização de energia, ainda mais relevante quando estudado em determinadas localidades, dependendo do nível de desenvolvimento delas, à exemplo do continente africano, ou mesmo em algumas regiões do Brasil.

A falta de acesso da sociedade à energia na África subsaariana é um problema endêmico, são 600 milhões de pessoas sem nenhum acesso a energia elétrica e muito outros com acesso informal e/ou insuficiente, os países da região apresentam uma média de apenas 20% de acesso à eletricidade, de modo que 2 a cada 3 pessoas não têm acesso a esse tipo de serviço. Caso siga os meios de desenvolvimento empregados no passado por países desenvolvidos de outros continentes, estima-se que até 2040 ainda haverá meio bilhão de pessoas sem acesso a energia elétrica (Ávila et. al., 2017). Esse último dado reforça a importância em investir numa rota de desenvolvimento energético que melhor se aplique ao contexto africano, ou seja, utilizando inovações que possibilitem um caminho alternativo (um “*leapfrog*”) ao caminho traçado por outras nações, que nesse caso acarretaria investimentos enormes e retornos lentos.

Dado esse contexto, empresas e famílias muito comumente passaram a ter que recorrer a diferentes alternativas, como aos seus próprios métodos de geração de energia. Cerca de 6% da capacidade de geração de energia na África Subsaariana se origina de geração própria, enquanto nos países de baixa renda e na parte ocidental do continente, esse número é quase o dobro (BATINGE et al., 2016). A geração de energia própria, no entanto, especialmente por meio de combustíveis fósseis – como é feita em maior escala hoje – é insustentável como um

substituto de longo prazo, pois aumenta as despesas gerais, apresenta uma série de fatores contraditórios em âmbito ecológico e não apresenta um bom retorno sobre o investimento.

No Quênia, por exemplo, menos da metade da população está ligada à rede de distribuição de energia elétrica e milhões precisam comprar e queimar querosene de maneira autônoma para ter energia. Um queniano em média gastaria entre 25 e 50 centavos de dólar por dia em um lampião à querosene mal iluminado, resultando em um gasto de até 200 dólares por ano, o que representa mais de 20% do salário-mínimo médio anual do país (PREZIOSI, 2019).

A África subsaariana tem, apesar da situação descrita, um enorme potencial de geração energética, tanto renovável quanto fóssil. Em média estima-se que essa capacidade de produção gire em torno de 11000 GW, o que seria suficiente para abastecer 26 vezes os EUA, considerando dados apresentados anteriormente. Desses 11000 GW de potencial de geração, incríveis 10000 GW são correspondentes ao potencial de geração apenas a partir de energia solar.

Os principais problemas que levam ao difícil acesso à energia na África estão relacionados tanto à parte de geração quanto de distribuição. Acima de tudo, há uma má gestão do setor energético no continente, de modo que se observam gastos de bilhões de dólares vinculados a subsídios para empresa petrolíferas e de distribuição, as quais não conseguem recuperar os custos envolvidos nem suas operações – operam com fluxo de caixa negativo sem considerar os subsídios – configurando uma zona pouquíssimo atrativa para investimentos, assim, pouco agregando ao desenvolvimento energético da região (Africa Progress Panel *apud* Ávila et al., 2015). Agregada à má gestão, a distribuição é amplamente dificultada graças à baixíssima malha de fiação no continente, e a um enorme problema de geração. De acordo com Ávila et al. (2017, p. 34), em trabalho em que comenta a situação do sistema energético africano:

Dentre a falta de capacidade de produção para fornecer energia às regiões ligadas à rede, a ausência de infra-estruturas adequadas para fornecer energia, a má manutenção das centrais de produção, desafios regulamentares que impedem o fluxo constante de receitas para manter e investir em nova capacidade de produção, bem como o facto de a população que reside nas zonas remotas estar muito dispersa. Esta falta de planeamento sistemático no sector da energia resultou num sistema com elevadas perdas de transmissão e distribuição (uma média de 18% na região, excluindo a África do Sul) (AIE, 2014) e criou uma elevada dependência de barragens de grande dimensão e de dispendiosos geradores a diesel.

Dado esse contexto, torna-se extremamente relevante o foco e procura por soluções que de maneira sistemática possam mitigar e/ou solucionar os problemas de geração e distribuição

energética, visando democratização do acesso a essa tecnologia por parte da população. Dado isso, algumas empresas nos últimos anos trouxeram interessantes soluções com um potencial de driblar a realidade existente e reescrevê-la. O estudo de uma dessas soluções será discutido a seguir.

#### **4.1.2. Solução inovadora e seus impactos**

Considerando que um dos principais fatores que levam à baixa disseminação da energia elétrica na África subsaariana está relacionado à falta de fiação elétrica adequada, a descentralização da produção de energia se configura como uma solução em potencial.

Além da descentralização, um outro fator que se destaca mediante o contexto é a utilização de energias renováveis, mais especificamente a solar, uma vez que existe um grande potencial de geração dessa energia na África Subsaariana (cerca de 110000GW, como comentado anteriormente).

Como afirmam ÁVILA e colaboradores (2017, p. 43), o problema do baixo acesso à energia elétrica na África poderia ser mitigado através de:

1. “políticas que incentivem a implantação das energias renováveis e desencorajem o desenvolvimento de novos combustíveis fósseis;
2. mecanismos de financiamento inovadores que permitam que as soluções descentralizadas prosperem e sejam integradas na futura expansão da rede;
- [...]
5. políticas que incentivem e apoiem sistemas de energias renováveis descentralizados, que permitem 100% de acesso a electricidade acessível e fiável;”

Conhecendo o pouco alcance da energia elétrica na África, empresas como a D-Light e a M-Kopa passaram a fabricar kits solares voltados à geração de energia para as mais variadas aplicações, como: televisores, ventiladores, rádios, telefones celulares, iluminação interna, bombas de água e muito mais, conforme apresentado na Figura 4. Kits específicos para geradores, geladeiras e freezers também são disponibilizados, de modo que grande parte das atividades domésticas que exigem energia elétrica podem ser viabilizadas pela geração e armazenamento dos Kits.

Figura 4 – Kit de bombeamento de água



Fonte: EURACTIV.com

Outro grande problema na produção de energia na África está no custo atrelado a mesma. Dessa forma, o preço/MW de uma determinada fonte de energia está diretamente relacionado ao potencial de democratização dessa tecnologia. Os kits solares desenvolvidos tiveram uma redução de custo considerável de 2010 a 2019, e a tendência é que o barateamento da tecnologia ainda continue ocorrendo nos próximos anos.

A D-Light começou em 2007, vendendo lanternas solares na Índia, mas seus fundadores rapidamente viram um grande mercado potencial na África Oriental. Atualmente, mais de 123 milhões de pessoas tiveram as suas vidas impactadas energeticamente por conta do acesso de produtos apenas dessa empresa, distribuídas em mais de 80 países. A corporação tem grandes operações na Nigéria e parceiros na Costa do Marfim, Gana e Namíbia. O produto mais básico - e mais vendido - que a D-Light oferece é uma lanterna que custa cerca de 4 dólares. Nos dias atuais é possível obter um Kit que gere energia elétrica para Luzes, Rádio e Caixa de som para uma moradia de em torno de 30 m<sup>2</sup> por em média 10 dólares (D-LIGHT, 2021).

Os clientes normalmente pagam um depósito de cerca de US\$20 por uma TV movida a energia solar, seguido de pagamentos diários de cerca de 55 xelins quenianos (50 centavos de dólar), normalmente pagos por meio de seus telefones. O período de pagamento geralmente dura entre 12 e 18 meses. As taxas de inadimplência estão abaixo de 5%. O mais impressionante da forma de viabilização dessa solução é que ela se tornou possível também por conta de outro exemplo de inovação que acarretou “*leapfrog*”, uma vez que se não houvesse a facilidade de

pagamento, relacionada à inovação desenvolvida pela M-kopa, como descrito anteriormente na fundamentação teórica, dificilmente seria possibilitada a capilarização da solução.

É importante dimensionar o quão relevante significa possibilitar o acesso a energia elétrica para 123 milhões de pessoas ao redor de 80 países africanos e asiáticos. Um comparativo relevante pode ser retomado com o dado que em 2017 na África existiam cerca de 600 milhões pessoas sem acesso a energia, e as projeções indicavam que seguindo os caminhos convencionais de desenvolvimento energético dos países desenvolvidos, em 2040 o número esperado seria de 500 milhões de pessoas. A inovação dos Kits de energia solar driblou o desenvolvimento incremental convencional e em menos de 15 anos possibilitou acesso à energia e transformação da vida de 123 milhões de pessoas. Trata-se, portanto, de um verdadeiro exemplo de inovação que mudou os paradigmas da realidade atual, ou seja, causou disrupção. Além da disrupção, quando comparada à forma de produção convencional de energia, a tecnologia dos kits solares tem um caráter de desmaterialização, devido à sua relativa simplicidade e facilidade da portabilidade da solução. Em adição, o gráfico anteriormente apresentado na Figura 5 indica desmonetização através do barateamento da tecnologia, o que abre o caminho para a última etapa dos 6 D's das organizações exponenciais, conforme apresentado na Figura 3: a democratização. E claro, já que oferece um caminho alternativo para o desenvolvimento energético, pode-se dizer que é um início de um possível “*leapfrogging*” no meio energético para a África.

Os Kits hoje são responsáveis pela recuperação de 25 milhões de toneladas de dióxido de carbono, viabilizando uma economia total para seus clientes de 4,5 bilhões de dólares – com custos relacionados a energia – e hoje, surpreendentemente já configuram uma potência instalada de 12,3 GW (D-LIGHT, 2021).

Para caracterizar profundamente a solução, exemplificada mais uma vez na Figura 5, retrata-se abaixo um breve apurado sobre as características positivas da solução, considerando os problemas listados anteriormente (D-Light, 2018):

i) Eficiência econômica: Mais barato do que eletricidade de rede e geração própria com Diesel e Querosene, representando cerca de 57% do preço equivalente ao que seria gasto em eletricidade na rede elétrica (caso houvesse acesso);

ii) Escalabilidade e acesso: permite entrada fácil em zonas rurais e de difícil acesso, problema anteriormente comentado sobre o continente africano; e, maior confiabilidade de produção em comparação às gerações autônomas de energia através de combustíveis fósseis ou mesmo à eletricidade em rede, dada a grande perda na transmissão.

Figura 5: Kit solar e medidor



Fonte: [https://www.dlight.com/wp-content/uploads/social\\_impact.png](https://www.dlight.com/wp-content/uploads/social_impact.png)

## 4.2. Caso 2: *Nano Membrane Toilet* (Vaso de nano membrana)

### 4.2.1. Contextualização do problema

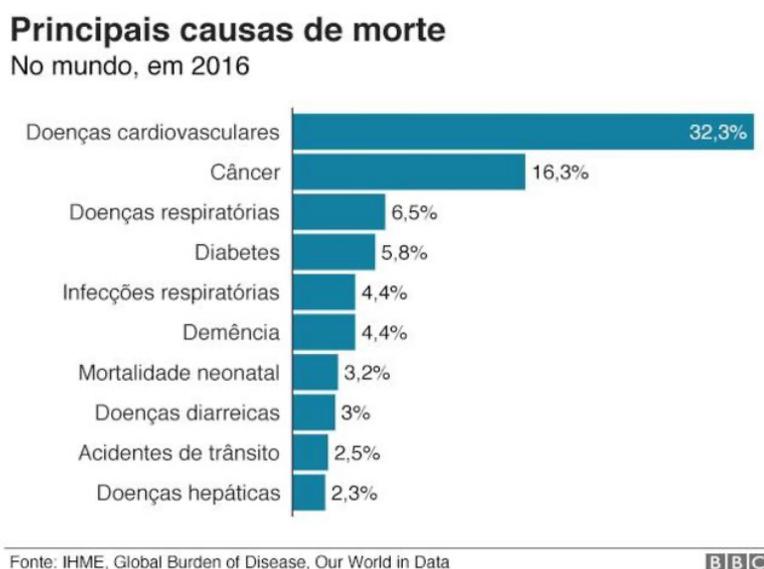
Em contraponto com o primeiro caso de estudo, evidenciar-se-á uma invenção mais recente, que ainda não demonstrou seu potencial máximo de impactos transformativos na sociedade. Não obstante, pelas evidências que serão posteriormente abordadas, a tecnologia em questão é uma forte candidata a tornar-se uma inovação com potencial de gerar *leapfrogging* no saneamento e tratamento de água.

O saneamento básico é uma questão de extrema importância para todos, inclusive figurando como um dos critérios do Índice de Desenvolvimento Humano (IDH). Tomando o Brasil como exemplo, cerca de 40% dos municípios não têm acesso a nenhum tratamento de esgoto (PNSB, 2017), e esse número fica muito mais alarmante quando se considera a região Norte, por exemplo, onde apenas 16,2 % dos municípios têm acesso a qualquer tipo de saneamento básico (IBGE, 2020). Em adição a isso, grande parte da população depende dos subsídios governamentais para ter acesso à água, dada a incapacidade econômica de custear tarifas de água, o que também torna o cenário pouco atrativo a investimentos privados. Isso fica muito evidente

quando se nota que em apenas 3,6% dos municípios que têm acesso ao saneamento básico – portanto 1,44% dos municípios em geral – a água tratada é proveniente de empresas privadas (IBGE, 2020).

Em 2015 quatro bilhões e meio de pessoas no mundo não tiveram acesso ao saneamento básico, das quais 892 milhões praticaram defecação à céu aberto (UNICEF et al., 2017). Privação ao saneamento básico é responsável por uma série de fatores péssimos para a sociedade e o meio ambiente, tais como a poluição de lençóis aquáticos subterrâneos (GRAHAM, 2013), ausência de crianças na escola – e conseqüentemente evasão escolar – (CURTIS et al., 2000), aumento significativo nas possibilidades de assédio e estupro (SCLAR et al., 2017) e diversas outras coisas, que incidem diretamente como sérios inibidores para o desenvolvimento humano (JAHAN, 2016). Fato é, incide diretamente nas condições de dignidade de vida humana, mas também impactam diretamente a saúde e mortalidade da sociedade. Uma pesquisa de 2016, feita pelo Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME et al., 2016) apontou que cerca de 3% das causas de mortalidade no mundo estão relacionadas a doenças diarreicas, como pode ser melhor visto na Figura 6, abaixo.

Figura 6: Principais causas de morte no mundo



Fonte: <https://www.bbc.com/portuguese/internacional-47471602>

Doenças diarreicas, mais especificamente a Doença Diarreica Aguda (DDA) é a doença que mais aflige a humanidade, atingindo em média 4 bilhões de pessoas anualmente, das quais em média 1,8 milhão de pessoas – normalmente crianças – morrem anualmente (BATISTA,

2016). A caráter comparativo, no ano de 2020, a doença respiratória COVID-19, foi responsável pela morte de cerca de 1,8 milhão de pessoas, segundo o Our World Data (2021). As doenças diarreicas são causadas em decorrência do acesso a água inadequada para consumo humano e da falta de saneamento básico. Dessa forma, pode-se dizer que 3% das causas de morte estão relacionadas ao saneamento básico e acesso a água.

Uma importante análise da Figura 6 é relacionada ao entendimento de que das principais causas de morte, as mais evitáveis dizem respeito justamente às doenças diarreicas. Por serem mortes evitáveis, é natural que os países com baixo índice de IDH, que normalmente são os países mais pobres, acumulem a maior parte dos casos dessas mortes, de modo que nesses, a DDA é a terceira causa mais comum de mortes em crianças de até 5 anos, apenas atrás das causas neonatais e da pneumonia.

Para melhor descrição do problema é útil separar em dois blocos o saneamento básico, sendo o primeiro a forma de coletar dejetos e o segundo o tratamento do esgoto. A maioria dos países com alto índice de desenvolvimento, utilizam a solução que usualmente se observa para o saneamento básico, que de maneira resumida é pautada nos seguintes componentes: Vasos, para coleta dos dejetos humanos; uma complexa rede de canos de esgoto, que são responsáveis pela comunicação de todos os vasos com as centrais de tratamento; e por fim, a central de tratamento de esgoto, local onde ocorre o processo responsável pelo tratamento dos dejetos e transformação dos mesmo em água limpa.

Da mesma forma que no caso estudado anteriormente, o que se observa nos países que sofrem desse problema atualmente é uma movimentação para solucionar os problemas com base em casos de sucesso dos países mais desenvolvidos. Entretanto, enormes diferenças no contexto, como a densidade populacional, a geografia local, a facilidade de acesso em áreas rurais e urbanas, e muitos outros, inviabilizam ou dificultam muito que as soluções já aplicadas funcionem de maneira factível tecnicamente e principalmente viável monetariamente, principalmente considerando que grande parte do desenvolvimento urbano – por exemplo as favelas – não foi planejado para comportar as soluções de saneamento tradicionais.

No Brasil, 47% da população não tem acesso a rede de esgoto e são obrigadas a utilizar maneiras alternativas para lidar com os dejetos, 16% das pessoas não tem acesso à água e somado a tudo isso, apenas 46% do esgoto é de fato tratado devidamente (SNIS, 2018). Esses números comprovam que há deficiência tanto no recolhimento, como no tratamento do esgoto, assim, torna-se extremamente relevante o foco e procura por soluções que de maneira sistemática possam mitigar e/ou solucionar os problemas mencionados, considerando as condições de cada contexto.

Dado isso, algumas empresas e pesquisadores nos últimos anos trouxeram interessantes soluções com um potencial de viabilizar diferentes caminhos. O estudo de uma solução, será discutido a seguir.

#### **4.2.2. Solução inovadora e seus impactos**

Ao analisar o problema levantado anteriormente e os objetivos de democratizar a solução com o intuito de combatê-lo, algumas soluções foram criadas. As que foram melhor sucedidas seguem alguns critérios em comum. Como apontado anteriormente, o fato de 47% da população brasileira não ter acesso direto à rede de esgoto evidencia um fato que é comum aos países em desenvolvimento – que coincidentemente é similar ao problema retratado no caso anterior – a dificuldade de criação de uma rede capilarizada o suficiente para atingir a maioria da população, nesse caso uma rede de esgotos. Portanto, a primeira premissa na construção das soluções é que não se poderia trabalhar com sistemas apenas centralizadores, é necessário o desenvolvimento de soluções modulares e independentes. Em adição a essa primeira premissa, para democratização do acesso a solução, é necessário que as mesmas sejam de baixo custo, necessitem do mínimo possível de recursos para sua operação – como água e energia – e idealmente sejam autossustentáveis não necessitando de sistemas externos para seu funcionamento ou finalização do ciclo. Quanto maior a auto sustentabilidade da solução, maior é o potencial de impacto que ela pode gerar (HENNINGGS et al., 2019).

Esta invenção foi feita idealizada por pesquisadores da universidade de Cranfield, visível na Figura 7 abaixo, na África do Sul. Seu principal objetivo é da viabilização da coleta e tratamento de urina e fezes humanas sem utilizar nenhum tipo de energia ou água de fontes externas, ou seja, um sistema completamente modular, independente da conexão com esgotos centralizados e autossustentável.

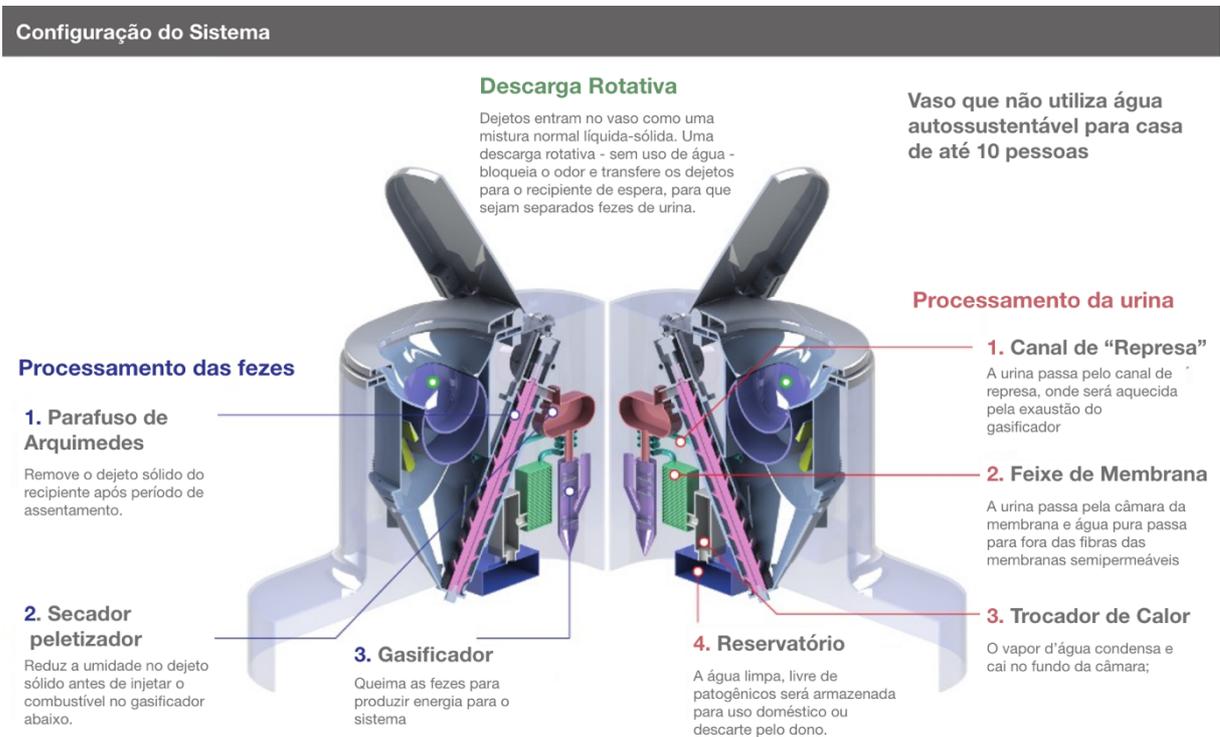
Figura 7: Visão geral do vaso



Fonte: <http://www.nanomembranetoilet.org>

O mecanismo de funcionamento dessa inovação é simples, entretanto muitíssimo poderoso. O mesmo pode ser dividido em algumas etapas, descritas a seguir, bem resumidas pela Figura 8.

Figura 8: Configuração do Sistema



Fonte: Adaptado pelo autor de <http://www.nanomembranetoilet.org>

**Etapa de Descarga:** Ao finalizar, o usuário fecha a tampa do vaso, que através de um sistema de correias e engrenagens permite a rotação de um mecanismo. Com a rotação dele se possibilita a descida do conteúdo para um tanque sem a utilização de água nem energia (uma vez que a energia é advinda do movimento de fechar a tampa) simultaneamente bloqueando o odor e visibilidade dos dejetos. Parte do mecanismo pode ser visualizado na Figura 9, de modo que a engrenagem na parte inferior esquerda da imagem está conectada ao mecanismo de rotação e despejo.

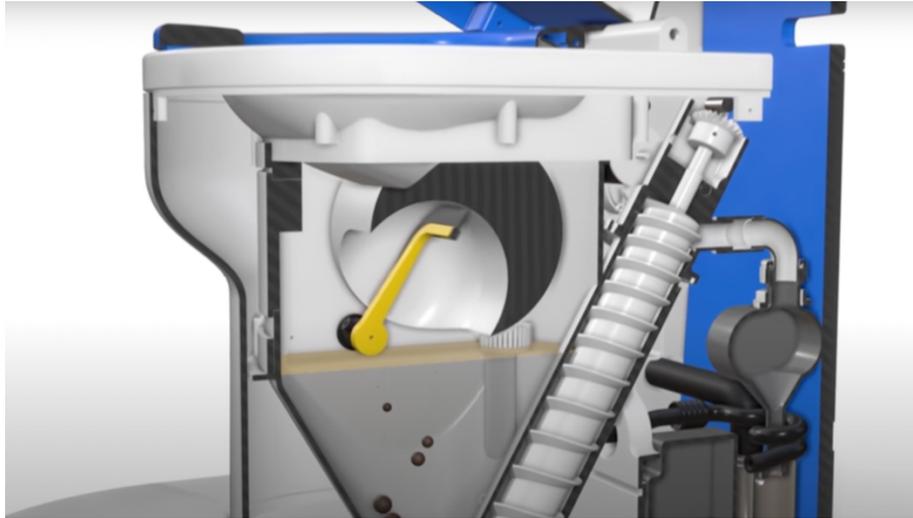
Figura 9: Sistema de descarga mecânica



Fonte: <http://www.nanomembranetoilet.org>

**Etapa de Separação:** Na descida do conteúdo ao tanque, o local de despejo do conteúdo é limpo por uma paleta (em amarelo na Figura 10), que tem seu movimento interligado com a movimentação do mecanismo de despejo das fezes e urina. No tanque, através de decantação, a parte líquida do conteúdo fica em cima e a parte sólida embaixo. A partir de um parafuso de Arquimedes, a parte sólida é separada pouco a pouco da líquida e toma caminho para uma câmara de combustão.

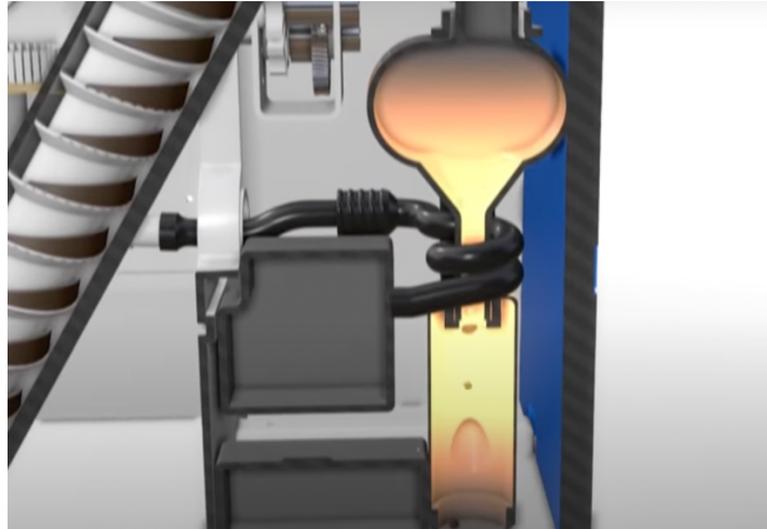
Figura 10: Sistema de Separação



Fonte: <http://www.nanomembranetoilet.org>

**Etapa de combustão:** Antes de chegar de fato na câmara de combustão, o bolo fecal, agora separado, passa por uma etapa de secagem, onde é retirado o máximo possível de umidade dele, para que possa seguir para a câmara de gaseificação e combustão. Através de um mecanismo de iniciação, o bolo fecal seco é utilizado como combustível e gera energia (em forma de calor para o sistema). Através das combustões, foi metrificado a geração de uma potência de 820W de aquecimento no processo. O produto da combustão são cinzas, depositadas em um compartimento, que possibilita seu descarte semanalmente. Há casos de teste onde o calor produzido também alimenta um motor Stirling, conectado a um alternador linear, para produzir eletricidade, e os resultados apontam a geração de uma potência elétrica 27W a uma frequência de 23.85Hz (SOWALE, et al., 2018). Visível na Figura 11, abaixo.

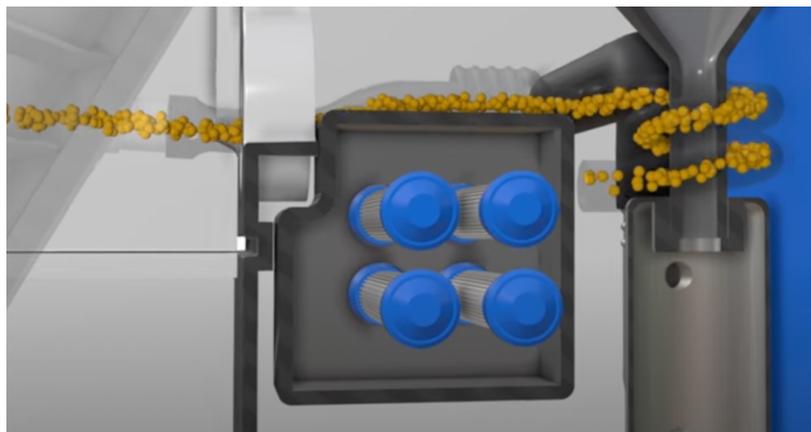
Figura 11: Combustão das fezes



Fonte: <http://www.nanomembranetoilet.org>

**Etapa de aquecimento:** O calor gerado na combustão das fezes é direcionado, por meio da exaustão dos gases a um espiral que atinge uma temperatura média de 390 graus celcius (SOWALE, et al., 2018), que aquece, e por ele é conduzida por diferença de pressão a urina. Na espiral, a urina é aquecida, e então direcionada para a câmara das nanomembranas, como se pode ver na Figura 12.

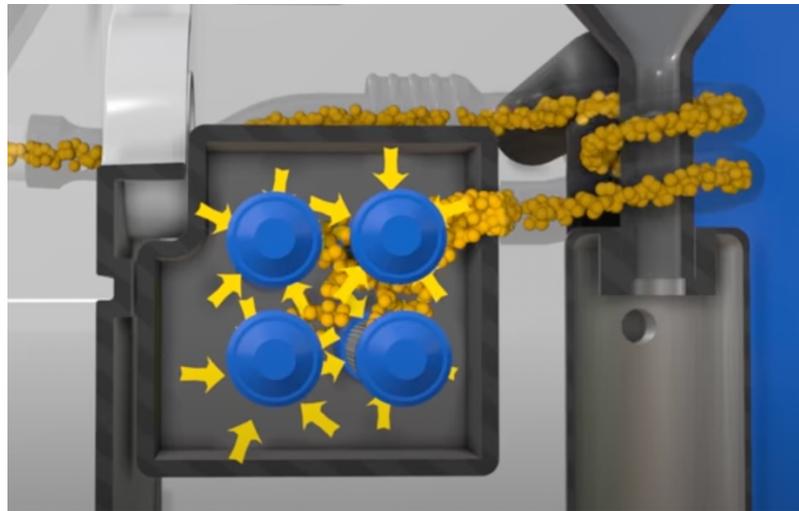
Figura 12: Aquecimento da urina



Fonte: <http://www.nanomembranetoilet.org>

**Etapa de filtração:** As nano membranas são semipermeáveis, de modo que a urina, entra em contato com elas possibilitando a filtração de impurezas. Nesse processo, o líquido continua a ser aquecido, e há ao mesmo tempo a filtração e evaporação da água, agora livre de patógenos. Visível na Figura 13.

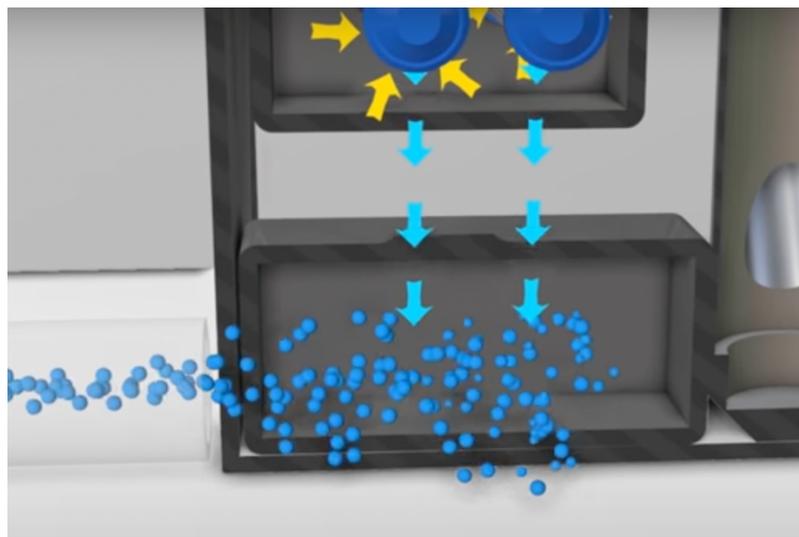
Figura 13: Filtração por nano membranas



Fonte: <http://www.nanomembranetoilet.org>

**Etapa de condensação:** Ao fim da filtração, o vapor d'água é conduzido por um gás inerte a um trocador de calor, que é uma câmara térmica isolada do processo em temperatura ambiente, onde lentamente condensa e é conduzido para um tanque de armazenamento. A água limpa – vista abaixo na Figura 14 - pode ser utilizada para atividades domésticas com limpeza.

Figura 14: Condensação



Fonte: <http://www.nanomembranetoilet.org>

**Etapa de manutenção:** O sistema, apesar de altamente eficaz, ainda necessita de manutenção trimestral para a troca das membranas, que são nesse período de tempo trocadas e levadas para reparação e reciclagem.

Além de ser altamente sustentável, essa inovação é bastante acessível financeiramente. O modelo de negócios hoje estabelecido pela companhia que fornece o produto é baseado no pagamento por uso, de modo que é cobrado 5 centavos de dólar por dia, por usuário, melhor dito, é cobrado em média 1,5 dólar mensalmente por usuário (La Brosse et al., 2019). A critério de comparação, em média um brasileiro dá descarga 5 vezes ao dia, ou seja, 120 vezes ao mês, sendo em cada descarga são utilizados aproximadamente 12 litros de água (IBGE, 2020).

Dessa forma, ao trocar a utilização de um modelo de vaso comum para essa solução, mensalmente uma pessoa economizaria 1.800 litros de água. A água tem um valor médio no Brasil de R\$ 3,97/ metro cúbico (ABCON; SINDCON, 2021), portanto, uma pessoa gasta mensalmente R\$ 7,15 apenas com o consumo de água das descargas, valor que – a depender da cotação do dólar – tende a ser próximo do 1,5 dólar mensais da solução, que pode ser até mais barata.

Os impactos dessa solução ainda são tímidos, uma vez que sua produção ainda é feita em baixíssima escala. Não obstante, numa perspectiva de negócios, a sua produção e escala é considerada como completamente viável, tanto em termos dos custos exigidos, receita projetada – portanto sustentabilidade econômica do projeto – e, mais importante, com relação à quantidade de pessoas que podem ser beneficiadas, que somando suas zonas de atuação atuais – África do Sul, Nigéria, Quênia, Senegal – levam à possibilidade de atendimento de mais de 80 milhões de pessoas (LA BROSSE et al., 2019).

Para caracterizar profundamente a solução, retrata-se abaixo um breve apurado sobre as características positivas da solução, considerando os problemas listados anteriormente:

i) Eficiência econômica; escalabilidade e acesso: permite entrada fácil em zonas rurais e de difícil acesso, problema anteriormente comentado sobre o continente africano e zonas urbanas de alta densidade populacional;

ii) Modularização e autossuficiência: ela percorre pelos dois estágios do saneamento básico, a coleta dos dejetos e seu tratamento;

iii) Independência de recursos externos para seu funcionamento: não só não necessita de água e energia, como produz no processo tanto água quanto energia.

Os testes com os primeiros usuários do produto foram extremamente positivos, apontando uma altíssima satisfação e execução satisfatória de todas as propostas de valor oferecidas (HENNINGSS et al., 2018). Analisando a solução sob a perspectiva de tecnologias exponenciais,

podemos observar que ela tem um caráter disruptivo quanto à forma que oferece saneamento; ela tem um caráter de desmaterialização, quando se analisa sob a ótica da simplicidade material, portabilidade da solução e sua característica modular, e consegue oferecer uma alternativa barata (desmonetização), autossuficiente e democrática aos meios convencionais, tendo realmente um caráter que aponta para cada vez mais democratizar o acesso, sendo assim uma inovação que pode ser considerada uma ótima candidata a revolucionar o sistema de saneamento básico, principalmente nos países mais necessitados.

## 5. CONCLUSÕES

Ante a análise dos casos expostos, resta claro que a engenharia tem um papel histórico no desenvolvimento e transformação da sociedade, conforme analisado através das invenções citadas, como o elevador e o ar-condicionado além dos incontáveis exemplos que fazem parte do dia-a-dia da sociedade em geral.

A partir dos estudos de caso abordados no presente documento, fica claro que a engenharia atuando de forma inventiva para solução de problemas, considerando as especificidades locais, tem um grande poder. Outrossim, de maneira ainda mais importante, a formação e invenção contínua para gerar inovações, se provou, através dos dois casos de estudo, não só uma ferramenta, mas uma necessidade para evolução contínua da sociedade, levando em conta as especificidades de cada contexto.

Por conta da utilização dos painéis solares hoje, mais de 100 milhões de pessoas que não teriam acesso a energia podem desfrutar da mesma, de uma maneira econômica e acima de tudo sustentável. Esses impactos podem ser resumidos da seguinte forma:

i) Eficiência econômica: Mais barata do que eletricidade de rede e geração própria com Diesel e Querosene, representando cerca de 57% do preço equivalente ao que seria gasto em eletricidade na rede elétrica (caso houvesse acesso), resumindo uma economia de mais de 4,5 bilhões de dólares para os seus clientes;

ii) Escalabilidade e acesso: permite entrada fácil em zonas de difícil acesso, de modo que em menos de 15 anos, apenas uma empresa já possibilitou acesso à energia e transformação da vida de 123 milhões de pessoas, e gera maior confiabilidade de produção em comparação às gerações autônomas de energia;

iii) Impacto positivo no meio ambiente enquanto mantém produção eficiente: Kits hoje são responsáveis pela recuperação de mais de 25 milhões de toneladas de dióxido de carbono e já configuram uma potência instalada de 12,3 GW.

Tendo em vista o outro caso estudado, por conta dos vasos de nano membrana, os países que mais sofrem com mortes por diarreia, que poderiam ser evitadas, podem ter acesso a uma tecnologia econômica, escalável, sustentável e mais, que não só não usa água e energia, como as geram. Essas inovações potencializam o desenvolvimento da humanidade, mas acima disso, possibilitam uma vida digna e isso só é possível porque desde seu cerne nascem com o intuito de serem democráticas.

Por não necessitar de recursos consideráveis, nem gerar resíduos tóxicos, a solução é altamente sustentável, além disso essa inovação é bastante acessível financeiramente. Isso dá ênfase importante a inovação não só na parte técnica da solução, mas na visibilidade do modelo de negócios sugerido, baseado no pagamento por uso, de modo que em média, comparativamente à utilização de um vaso sanitário com descarga d'água no Brasil, a solução dos vasos tende a ser financeiramente ainda mais viável, isso sem levar em consideração que não seria necessária a interferência governamental e aplicação de complexas redes de esgoto – que não são levadas em consideração nos cálculos financeiros.

Apesar dos impactos dos vasos ainda serem tímidos, dada a produção ainda em baixíssima escala, já se tem como palpável a expansão da mesma, para a possibilidade de atendimento de mais de 80 milhões de pessoas em poucos anos.

A partir do estudo dos grandes problemas abordados, conclui-se que as inovações com caráter disruptivo e exponencial, não só maximizam o potencial de quem as utiliza, mas geram novos caminhos de desenvolvimento, que podem vir a propiciar experiências de “*leapfrogging*” para países e continentes, ou seja, saltos de desenvolvimento que levam a soluções mais rápidas e assertivas, pulando etapas.

O pensamento, financiamento e estímulo para a criação de soluções exponenciais, democráticas e inovadoras deve ser cada vez mais estimulado, valorizando especificamente a multidisciplinariedade do processo a partir do entendimento socioeconômico e ambiental de que esta é indiscutivelmente necessária para essas criações, até porque os casos estudados não só se mostraram impactantes socialmente, mas configuram também negócios sustentáveis.

## REFERÊNCIAS

ABCON; SINDCON – Tarifa de água de companhia privada é mais cara que a pública as vezes – São Paulo – CNN -2021. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/business/tarifa-de-agua-de-companhia-privada-e-mais-cara-que-publica-as-vezes/>. Acesso em 28 de Out de 2021.

ANATEL – Número de acessos moveis no brasil cresce e fecha 2020 com 234 milhões – Brasília – Repórter Agência Brasil – 2021. Disponível em <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2021-04/numero-de-acessos-moveis-no-brasil-cresce-e-fecha-2020-com-234-milhoes>. Acesso em 4 maio 2021.

ÁVILA, N.; CARVALLO J.P.; BRITTANY, S.; KAMMEN, D.M. O desafio energético na África subsaariana: Gui para defensores e decisores políticos. 2017. Disponível em: <https://s3.amazonaws.com/oxfam-us/www/static/media/files/oxfam-RAEL-energySSA-pt1-port.pdf>. Acesso em 2 de Maio de 2021.

BATINGE, B.; MUSANGO, J.K.; BRENT, A.C. Leapfrogging to renewable energy: The opportunity for unmet electricity markets - South African Journal of Industrial Engineering. 2016. Disponível em: [http://www.scielo.org.za/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2224-78902017000400004](http://www.scielo.org.za/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-78902017000400004). Acesso em 7 de Maio de 2021.

BATISTA, C.S. Doenças diarreicas agudas relacionadas ao saneamento básico no Estado de Pernambuco no período de 2008 a 2014. 2016. Disponível em: <https://pesquisa.bvsa-lud.org/portal/resource/pt/biblio-995088>. Acesso em 9 de Nov de 2021.

BURLAMAQUI, L.; KATTEL, R. Development as leapfrogging, not convergence, not catch-up: towards schumpeterian theories of finance and development. 2015. 112 f. (tese de doutorado de Economia) – Departamento de evolução Econômica, UFRJ; Ragnar Nurkse School of innovation and Governace; Tallinn University of Technology, Brasil, Estônia, 2015. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/304985073\\_Development\\_Theory\\_Convergence\\_Catch-Up\\_or\\_Leapfrogging\\_A\\_Schumpeter-Minsky-Kregel\\_Approach](https://www.researchgate.net/publication/304985073_Development_Theory_Convergence_Catch-Up_or_Leapfrogging_A_Schumpeter-Minsky-Kregel_Approach). Acesso em 11 Abr 2021.

COMITÊ GESTOR DE INTERNET DO BRASIL - Brasil tem 152 milhões de pessoas com acesso à internet - Brasília – Repórter Agência Brasil – 2021. Disponível em: <https://agencia-brasil.ebc.com.br/geral/noticia/2021-08/brasil-tem-152-milhoes-de-pessoas-com-acesso-internet>. Acesso em 30 Ago 2021.

CURTIS et al, 2000 CURTIS, V.; CAIRNCROSS, S.; YONLI, R. Review: domestic hygiene and diarrhoea - pinpointing the problem Tropical Med. Int. Health, 5 (2000), p. 22-32. Disponível em: 10.1046/j.1365-3156.2000.00512.x. Acesso em 28 de Out de 2021.

D-LIGHT. Social Impact Report. 2021. Disponível em <https://www.dlight.com/social-impact/>. Acesso em 10 Nov 2021.

D-LIGHT. The Case for Governments to promote off grid energy. 2021. Disponível em: <https://www.dlight.com/wp-content/uploads/2018/09/ODI-The-Case-for-Governments-to-Promote-Off-Grid-Energy-2018.pdf> . Acesso em 10 Nov 2021.

DAGNINO, R.;NOVAES, H. T. O papel do engenheiro na sociedade. Revista Tecnologia e Sociedade [en linea]. 2008, v. 4(6), p. 95-112. ISSN: 1809-0044. Disponível em <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=496650325006>. Acesso em 31 de Out de 2021.  
EPE – Matriz energética e elétrica – Brasília -2017. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em 14 Ago 2021.

EPE; MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Projeção da demanda de energia elétrica, 2017. p. 9-40. Disponível em: [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-245/topico-261/DEA%20001\\_2017%20-%20Projeções%20da%20Demanda%20de%20Energia%20Elétrica%202017-2026\\_VF%5B1%5D.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-245/topico-261/DEA%20001_2017%20-%20Projeções%20da%20Demanda%20de%20Energia%20Elétrica%202017-2026_VF%5B1%5D.pdf). Acesso em 3 Ago 2021.

EPE; MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Uso de Ar Condicionado no Setor Residencial Brasileiro: Perspectivas e contribuições para o avanço em eficiência energética, 2018. p. 1-40. Disponível em:[https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-341/NT%20EPE%20030\\_2018\\_18Dez2018.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-341/NT%20EPE%20030_2018_18Dez2018.pdf). Acesso em 3 Ago 2021.

GRAHAM, J.P.; POLIZZOTTO, M.L. Pit latrines and their impact on groundwater quality - a systematic review Environ. Health Perspect. 2013, p. 521-530, Disponível em: [10.1289/ehp.1206028](https://doi.org/10.1289/ehp.1206028). Acesso em 1 de Nov de 2021.

HENNINGS et al. Field testing of a prototype mechanical dry toilet flush. 2019. p 1-23. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969719307077>. Acesso em 4 de Nov 2021.

IBGE- Pesquisa nacional de Saneamento Básico 2017- Rio de Janeiro – 2020. Disponível em <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101734.pdf>. Acesso em 10 Nov de 2021.  
IEA; IRENA; UN DESA; OMS - Tracking SDG 7: The Energy Progress Report 2021. 2021. Disponível em: <https://www.aldo.com.br/blog/acesso-a-energia/>. Acesso em 23 Set 2021.  
INVENÇÃO In: Oxford Languages, 2021. Disponível em: <https://languages.oup.com/google-dictionary-pt/> . Acesso em 26 Out 2021.

IHME; Global Burden of Disease; Our World in Data. Principais causas de morte no mundo. 2016. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/internacional-47471602>. Acesso em 2 de Nov de 2021.

ISMAIL, Salim; MALONE, Michel S., GEEST, Yuri Van. Organizações Exponenciais. Por que elas são 10 vezes melhores, mais rápidas e mais baratas que a sua (e o que fazer a respeito). Edição digital. HSM do Brasil, 2015.

JADHAV, A.; WEITZAMN, A.; SMITH-GREENAWAY, E. Household sanitation facilities and women's risk of non-partner sexual violence in India. BMC Public Health, 2016. p. 1-10. Disponível em: 10.1186/s12889-016-3797-z. Acesso em 28 de Out de 2021.

JAHAN, S. Human Development Report. 2016. Disponível em: <https://ideas.repec.org/p/ess/wpaper/id12021.html>. Acesso em 28 de Out de 2021.

LA BROSSE et al. NANO MEMBRANE TOILET BUSINESS EXPLOITATION PLAN. 2019. Disponível em: <http://www.nanomembranetoilet.org/downloads/final-nmt-report-output-1.pdf>. Acesso em 23 de Out de 2021.

OTIS WORLDWIDE CORPORATION. Annual Report, 2020. Disponível em: [https://www.otisworldwide.com/annualreport2020/assets/files/Otis\\_2020\\_Annual\\_Report.pdf](https://www.otisworldwide.com/annualreport2020/assets/files/Otis_2020_Annual_Report.pdf). Acesso em 12 Set 2021.

OUR WORLD IN DATA - Mortes COVID. 2021. Disponível em: <https://ourworldindata.org/coronavirus-data>. Acesso em 12 Nov de 2021.

PNSB - Quantidade de municípios com acesso a tratamento de água- Rio de Janeiro – Editora Globo – 2017. Disponível em: <https://valor.globo.com/brasil/noticia/2020/07/22/quase-40porcent-dos-municipios-nao-tem-servico-de-esgoto-por-rede-coletora-aponta-ibge.ghtml>. Acesso em 10 Nov 2021.

PREZIOZI G. Conhecendo a realidade do Quênia e Uganda. 2019. Disponível em: <https://www.historiaspelomundo.com.br/index.php/lugares/234-conhecendo-a-realidade-do-quenia-e-da-uganda>. Acesso em 23 Set 2021.

SCLAR, et al. Effects of sanitation on cognitive development and school absence: a systematic review. Int. J. Hyg. Environ. Health, 2017, p. 917-927. Disponível em: 10.1016/j.ijheh.2017.06.010. Acesso em 28 de Out de 2021.

SIMEPE – População do mundo poderia ser abastecida com o uso de energia solar -Rio de Janeiro – G1 Globo – 2020. Disponível em: <https://g1.globo.com/rj/sul-do-rio-costa-verde/especial-publicitario/simepe/energia-limpa/noticia/2020/12/28/populacao-do-mundo-poderia-ser-abastecida-com-o-uso-da-energia-solar-diz-elon-musk.ghtml>. Acesso em 3 Ago 2021.

SNIS. Porcentagem de pessoas com acesso a rede de esgoto. 2018. Disponível em: <https://g1.globo.com/economia/noticia/2020/06/24/raio-x-do-saneamento-no-brasil-16percent-nao-tem-agua-tratada-e-47percent-nao-tem-acesso-a-rede-de-esgoto.ghtml>. Acesso em 12 Nov de 2021.

SOWALE et al. Thermodynamic analysis of a gamma type Stirling engine in an energy recovery system. 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890418303145>. Acesso em 28 de Out de 2021.

SPADA, A. O que é inovação: o conceito na visão de 15 especialistas. 2018. Disponível em <https://alexandrespada.com.br/o-que-e-inovacao/>. Acesso em 26 de Out 2021.  
TECNOLOGIA *In*: Oxford Languages, 2021. Disponível em: <https://languages.oup.com/google-dictionary-pt/> . Acesso em 26 Out 2021.

TELLES, P. C. S. Os termos engenheiro e Engenharia. Revista Militar de Ciências e Tecnologia. Rio de Janeiro v.56 p. 85-86, 1997. Disponível em: [http://rmct.ime.eb.br/arquivos/RMCT\\_3\\_tri\\_1997/termos\\_engenheiro\\_engenharia\\_origem.pdf](http://rmct.ime.eb.br/arquivos/RMCT_3_tri_1997/termos_engenheiro_engenharia_origem.pdf). Acesso em 8 ago. 2021.

WATSON, J. Technology leapfrogging: a review of the evidence, University of Sussex, Sussex Energy Group, 2008. (Science and Technology Policy Research) – University of Sussex, 2008. Disponível em [https://www.researchgate.net/publication/292265366\\_Technology\\_leapfrogging\\_a\\_review\\_of\\_the\\_evidence\\_University\\_of\\_Sussex\\_Sussex\\_Energy\\_Group](https://www.researchgate.net/publication/292265366_Technology_leapfrogging_a_review_of_the_evidence_University_of_Sussex_Sussex_Energy_Group). Acesso em 4 maio 2021.

WHO; UNICEF - Progress on Drinking Water, Sanitation and Hygiene - 2017. Disponível em: [10.1111/tmi.12329](https://www.who.int/data/directory/0200000263). Acesso em 12 Nov de 2021.

YAYBOKE, E.; CSIS. The Need for a Leapfrog Strategy, 2020. Disponível em: <https://www.csis.org/analysis/need-leapfrog-strategy>. Acesso em 2 Abr 2021.