

## Metodologia Ágil Aplicada na Produção

**Bruno Cerqueira; Matheus Nicolas; Raially Leão; Thaina Lopes**  
**Orientador: Leandro Ferreira Gomes**

**Resumo:** O objetivo deste estudo é incentivar a utilização de métodos ágeis para o desenvolvimento de produtos físicos e linhas de produção. A metodologia ágil é um conjunto de técnicas e princípios utilizados para desenvolver sistemas complexos no menor tempo possível. Foi desenvolvida no ramo do software para acelerar entregas contínuas tendo foco principal o feedback rápido do usuário. Poucos estudos e empresas utilizam tais métodos no desenvolvimento de hardware ou produtos físicos. Empresas como Tesla e SpaceX conseguiram acelerar sua inovação e produção em curto espaço de tempo por princípios ágeis. Os melhores carros elétricos e foguetes do mundo são fabricados por essas empresas evitando o planejamento excessivo e demora de entrega. O foco está em testar e falhar múltiplos protótipos. Sucessivas iterações permitem avançar o produto com menor risco. O mesmo conceito é aplicado na linha de produção, que deve ser desenvolvida em conjunto com desenvolvimento do produto. A própria linha é iterada diversas vezes até encontrar a melhor solução para se produzir em larga escala. A flexibilidade de sucessivas correções e testes em um ritmo acelerado permite encontrar soluções eficazes que podem ser alteradas em qualquer momento. O presente trabalho é uma revisão da literatura sobre métodos ágeis aplicados a produtos físicos (hardware) e linha de produção. Foram coletados dados que demonstram a eficiência da Tesla e SpaceX em expandir suas operações e manter inovação de ponta. Conclui-se que os métodos ágeis permitem acelerar o desenvolvimento de qualquer produto físico, linha de produção, reduzindo os gastos e recursos humanos necessários.

**Palavras-chave:** *Metodologia; Ágil; Hardware, Linha de produção; Feedback; SpaceX, Tesla.*

### Agile Methodology applied in production

**Abstract:** The objective of this study is to encourage the use of agile methods for the development of physical products and production lines. The agile methodology is a set of techniques and principles used to develop complex systems in fast deadlines. It was developed in the software industry to accelerate continuous deliveries with a primary focus on fast user feedback. Few studies and companies use such methods in the development of hardware or physical products. Companies like Tesla and SpaceX were able to accelerate their innovation and production in a short time using agile principles. The best electric cars and rockets in the world are manufactured by these companies, avoiding excessive planning and delivery delays. The focus is on testing and failing multiple prototypes. Successive iterations allow you to advance the product with less risk. The same concept is applied to the production line, which must be design together with product development. The line itself is iterated several times until it finds the best solution for large-scale production. The

flexibility of successive corrections and tests at an accelerated pace allows you to find effective solutions that can be changed at any time. The present work is a literature review on agile methods applied to physical products (hardware) and production lines. Data has been collected that demonstrates the efficiency of Tesla and SpaceX in expanding their operations and maintaining cutting-edge innovation. It is concluded that agile methods allow accelerating the development of any physical product, production line, reducing the expenses and necessary human resources.

**Keywords:** Methodology; Agile; Hardware; Production Line; Feedback; SpaceX, Tesla.

## 1. Introdução

No mundo contemporâneo, empresas e organizações precisam se adaptar constantemente. Demanda por alta qualidade, custos baixos e entrega rápida de produtos ou serviços desafiam o modelo tradicional de agregar valor. O mundo globalizado é imprevisível, de tal forma que a flexibilidade é a principal vantagem competitiva. A metodologia Agile (ou ágil) pode ser definida com a capacidade de sobreviver e prosperar em um ambiente de mudanças contínuas e imprevisíveis por meio de reações rápidas e eficientes (Gunasekaran, 1999).

A metodologia Agile nasceu da engenharia de softwares para desenvolvimento de projetos rápidos utilizando menos recursos e pessoas. A metodologia Agile contrapõe a metodologia tradicional Waterfall (cascata). que segundo Casteren (2017), é caracterizada por planos rígidos de etapas lineares não paralelas. Considerando um produto genérico, por exemplo, primeiro são obtidos os seus requerimentos, em seguida é realizada uma análise de viabilidade, que será utilizada para projetar o produto, que então é produzido e finalmente testado. O problema é que cada etapa não ocorre sem a anterior ter sido concluída. O feedback do produto final é atrasado e equivale ao tempo de todas as etapas anteriores somadas.

O atraso no feedback aumenta o risco de o projeto falir, pois é bem provável que mudanças ocorram: o cliente tem necessidades que se alteram, simulações e análises muitas vezes não captam as complexidades reais, ou há problemas que somente serão descobertos quando o produto for testado. Assim, é mais vantajoso obter feedback rápido. A metodologia agile usa ciclos cujas etapas escritas anteriormente ocorrem de forma iterativa. Primeiro obtém-se um protótipo do produto em questão, com a sua funcionalidade mais elementar. O protótipo é testado e o feedback é utilizado em um novo ciclo de aprimoramento, adicionando ou corrigindo funcionalidades. Repete-se o processo e o avanço ocorre de forma incremental (Casteren 2017).

Embora nascida no mundo do software, a metodologia ágil pode ser estendida a qualquer negócio, seja de produtos físicos ou serviços. Denning (2018) informa que as maiores empresas do mundo funcionam sobre os princípios ágeis: Amazon, Apple, Facebook, Google, Microsoft, Airbnb, Etsy, Lyft, Menlo Innovations, Netflix, Saab,

Samsung, Spotify, Tesla, Uber, SpaceX e Warby Parker. A maioria dessas organizações venceram a competição por meio da rápida adaptação de seus produtos (ou serviços) às necessidades dinâmicas dos clientes finais. Buscaram evoluir seus processos de acordo com o feedback e ações frequentes, alterando sempre o curso de ação.

Uma análise quantitativa de projetos realizada por Serrador (2015) informa que há uma correlação positiva entre métodos ágeis e projetos bem-sucedidos. Utilizando dados de 1002 projetos de indústrias de diversos setores (construção, financeiro, produção, saúde, varejo, tecnologia, educação, telecomunicações, entre outros) em vários países, o autor concluiu que a metodologia aprimora o tempo, recurso e escopo de objetivos, sendo mais efetiva em aumentar a satisfação dos investidores.

Assim como os produtos, a produção é passível de processos ágeis. É possível iterar a linha produção de forma flexível e aprimorá-la incrementalmente. O ideal é que a produção em escala evolua conforme o avanço do produto e vice-versa. Normalmente, produzir em larga escala é mais complexo do que o problema de conceber o produto. A produção ágil é uma das estratégias operacionais que as organizações têm adotado para vencer incertezas ambientais (resultantes da recessão econômica global), diminuir o ciclo de vida do produto, problemas com fornecedores e tecnologias obsoletas (Dubey; Gunasekaran, 2015).

## **2. Justificativa**

A maior parte das empresas de produtos ou serviços físicos continuam a operar no modelo Waterfall. Diferente dos produtos e serviços digitais, esses negócios são extremamente sensíveis à toda cadeia de suprimentos. Dependem de fornecedores, armazenamento, maquinários e toda a logística para alcançar o cliente final.

O desenvolvimento de produtos físicos, geralmente, requer maior investimento inicial. Se o produto for desenvolvido incorretamente, é provável o negócio não sobreviver, principalmente se estiver em seus primeiros estágios. A incerteza e as variáveis que se alteram todos dias tornam impossível prever o sucesso de um produto qualquer no longo

prazo. Logo, é necessário buscar formas de desenvolvimento e inovação que envolvam menos riscos ou que permitam erros e correções sem o dispêndio de muitos recursos.

A metodologia Agile é comprovada no mundo dos softwares. O desenvolvimento de sistemas complexos funciona melhor por ciclos iterativos e avanços incrementais. É melhor aprender falhando rapidamente e se adaptar do que sofrer por paralisia de análise. O feedback constante do usuário ou cliente final fornece dados mais valiosos do que qualquer simulação ou meses de estudos. A empresa SpaceX, por exemplo, provou que é mais simples desenvolver foguetes falhando múltiplos protótipos do que lançar um produto perfeito na primeira tentativa. Hoje, sua linha de produção e foguetes são considerados os mais avançados do mundo.

O desenvolvimento de produtos físicos e da linha de produção por métodos ágeis podem alavancar a indústria brasileira, criando diferencial competitivo no cenário global. Os autores desse trabalho acreditam que é possível aumentar a produtividade e inovação simplesmente abordando os problemas de forma mais ágil e flexível. A utilização de inúmeros protótipos, experimentos, diminuição da burocracia ou medo de falhar e autonomia de equipes devem ser incentivados.

A metodologia nos permite mudanças em seus projetos desde o seu planejamento inicial, focando na melhoria contínua do processo sem precisar esperar o seu produto final. De acordo com o relatório CHAOS, nos mostra que o projeto utilizado nesta metodologia tem uma taxa de sucesso superior três vezes mais do que as metodologias convencionais, visando a valorização dos indivíduos e interações e não de seus processos e ferramentas em suas formas de aprimoramento.

### **3. Objetivos**

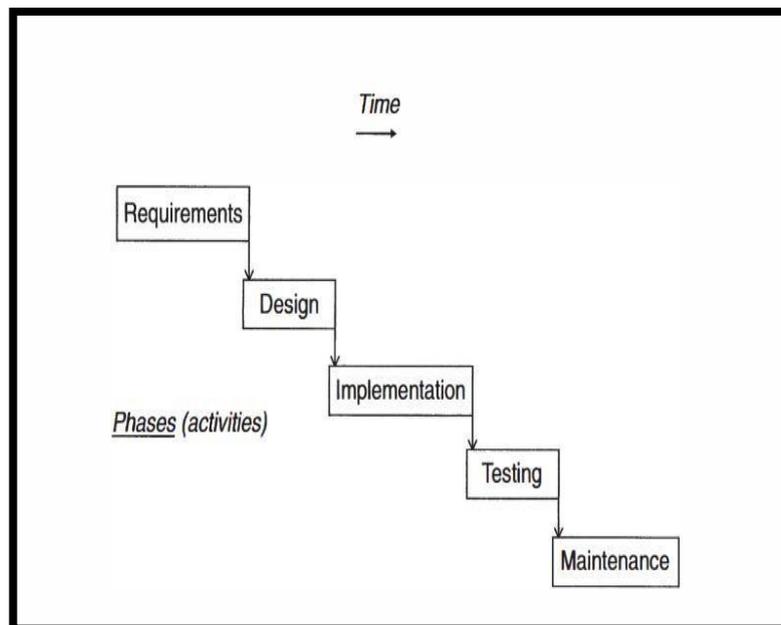
O presente trabalho tem por objetivo demonstrar a efetividade da metodologia Agile para o desenvolvimento de empresas que trabalham com produtos ou serviços físicos. Como objetivos específicos pretende-se identificar sucessos da metodologia Agile no desenvolvimento de produtos, e no desenvolvimento da linha de produção, informar como adaptar a metodologia Agile para o mundo físico e verificar como empresas de produtos ou serviços físicos dominaram seus setores utilizando a metodologia Agile

## 4. Revisão Bibliográfica

### 4.1 Modelo tradicional (Waterfall)

A metodologia mais tradicional de desenvolvimento de produtos é a Waterfall. As etapas do projeto são implementadas sequencialmente. Nenhuma etapa começa sem a anterior ter sido concluída. A primeira fase é a de concepção e objetivos do negócio. Posteriormente são definidas as especificações do produto, que é seguida pela a fase de projeto, fase de implementação, fase de teste e, por fim, manutenção. O problema é que mudanças são inevitáveis. Além disso, é difícil estimar com precisão quanto tempo uma etapa pode demorar (BRAUDE; BERNSTEIN, 2016)

**Figura 1 – Modelo Waterfall**



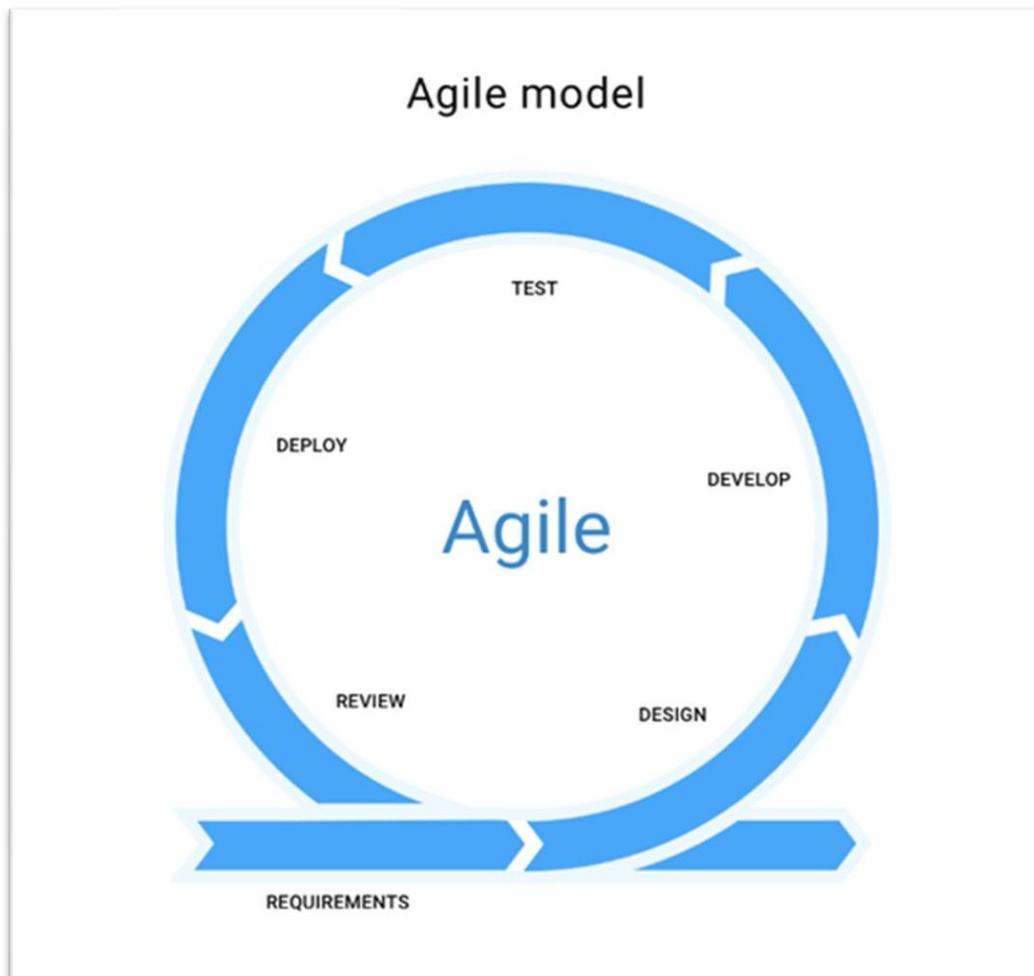
Fonte: BRAUDE; BERNSTEIN (2016)

## 4.2 Metodologia Agile

A metodologia Agile é a mais apropriada para programas e projetos que envolvem altos riscos de incerteza. Geralmente, um produto de alta complexidade nunca é completado antes de no mínimo dois, com mais frequência, quatro ciclos de iteração, e o sistema ou produto final é nunca terminado antes da segunda ou terceira parte do projeto. A gestão e engenharia ágil são descritas como altamente flexíveis para acomodar os longos períodos de incerteza e as frequentes mudanças. Gestores e engenheiros devem viver na mudança contínua por um longo tempo. Devem aumentar extensivamente as iterações, estarem atentos a muitas atividades de mitigação de riscos e adaptar para uma abordagem de “procura por problemas”. (2012 Huang; Darrin; Knuth).

A metodologia Agile utiliza ciclos iterativos e incrementais:

Figura 2 – Modelo Ágil



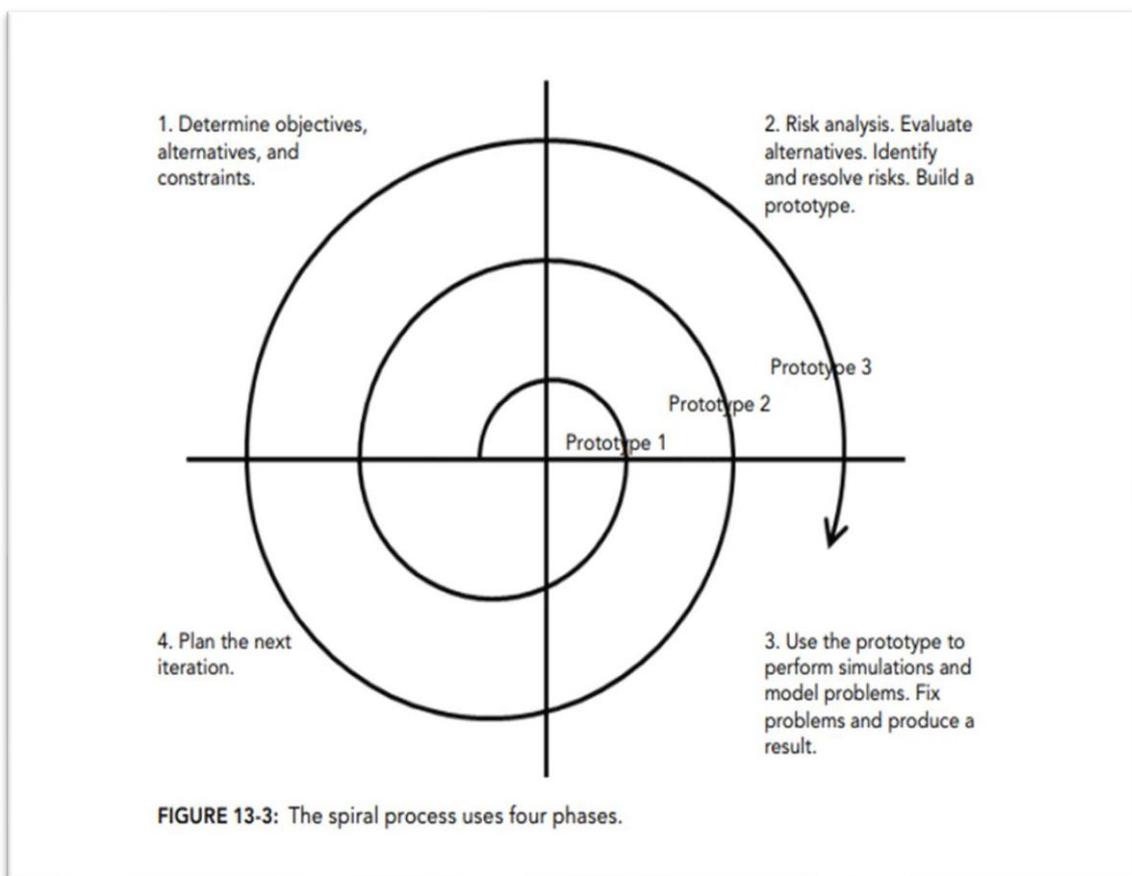
Fonte: VINTANK (2022)

### 4.3. Prototipagem rápida

A prototipagem rápida é o conceito mais importante do desenvolvimento ágil. Na primeira etapa (etapa de planejamento) são determinados os objetivos do ciclo atual. São definidas as alternativas e restrições. A segunda etapa consiste em avaliar os principais riscos, planejar e construir o mais rápido possível o primeiro protótipo. Esse protótipo é rudimentar e contém apenas as funções mais importantes do produto. (STEPHENS, 2015).

O protótipo, então, é testado na terceira etapa. O objetivo do teste é identificar o mais rapidamente os problemas do produto no “mundo real” e saber se o progresso está na direção correta. São realizados inúmeros experimentos, se possível com o usuário ou cliente final. Na quarta etapa é planejada a próxima iteração com o feedback obtido. Inicia-se um novo ciclo, um segundo protótipo é testado (modificação ou abandono do primeiro protótipo) e assim por diante (STEPHENS, 2015).

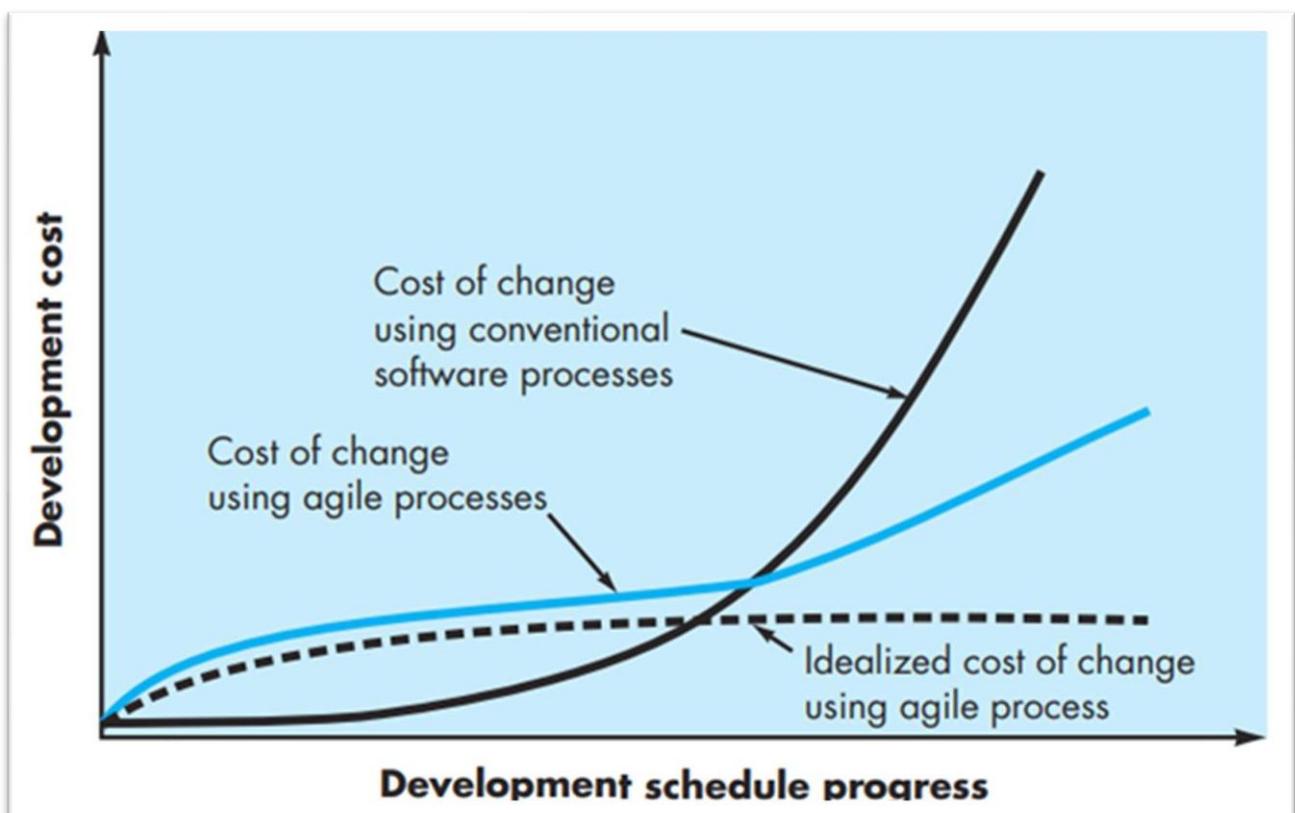
Figura 3 – Ciclo de protótipos



Fonte: STEPHENS (2015)

Segundo Pressman (2015), o custo de mudanças em desenvolvimento de softwares por métodos tradicionais aumenta de forma não linear conforme o projeto avança. O desenvolvimento por metodologias ágeis permite mudanças no futuro com menor custo de tempo e recursos. Considerando que a maioria dos produtos físicos requer geralmente maior investimento inicial do que softwares (maquinário, espaço, materiais etc), o custo de mudança pode ser muito alto, comprometendo o projeto. Assim como os softwares, o desenvolvimento incremental de um produto físico e sua produção é mais seguro e permite maior flexibilidade.

Figura 4 – Gráfico mudança de custo



FONTE: PRESSMAN (2015)

O quadro resume as diferenças básicas entre o método tradicional e ágil:

Quadro comparativo entre métodos ágeis e waterfall

**Tabela 1 – Pesquisa qualitativa versus pesquisa quantitativa**

<b>Parâmetro</b>	<b>Métodos Tradicionais</b>	<b>Métodos Ágeis</b>
Facilidade de modificação	Difícil	Fácil
Abordagem de desenvolvimento	Preditivo	Adaptativo
Abordagem de desenvolvimento	Preditivo	Adaptativo
Orientação de Desenvolvimento	Orientado pelo Processo	Orientado pelo Cliente
Tamanho do Projeto	Grande	Pequeno ou Médio
Escala do Planejamento	Longo Prazo	Curto Prazo
Estilo de Gestão	Comando e Controle	Liderança e Colaboração
Aprendizado	Aprendizado contínuo conforme desenvolve	Aprendizagem é secundária ao desenvolvimento
Documentação	Alta	Baixa
Tipo de Organização	Receita Alta	Receita Baixa ou Média
Número de Colaboradores na Organização	Grande	Pequeno ou Médio
Orçamento	Elevado	Baixo
Número de equipes	Múltiplos	Um time por projeto
Tamanho da equipe	Médio	Pequeno

**Fonte: Adaptado de Alsaqqa, Sawalha, Abdel-Nabi (2020)**

Um dos métodos mais usados na metodologia Ágil é o Desenvolvimento Orientado por Testes ou TDD (Test Driven Development). É baseado em construir pequenos testes automatizados e iterativos de programas, escrevendo código que passa no teste e deixar o aprimoramento do código para uma etapa posterior. O TDD é o oposto do desenvolvimento tradicional, onde os testes são apenas realizados após o código ter sido escrito. A ideia surgiu em 2003 por Kent Beck, mas já era utilizada desde 1950 pela NASA no projeto Mercúrio. Seguindo o método TDD a taxa de falhas e problemas tende a cair, aumentando a qualidade do produto (SAMER SAWALHA, HIBA ABDELNABI, 2020)

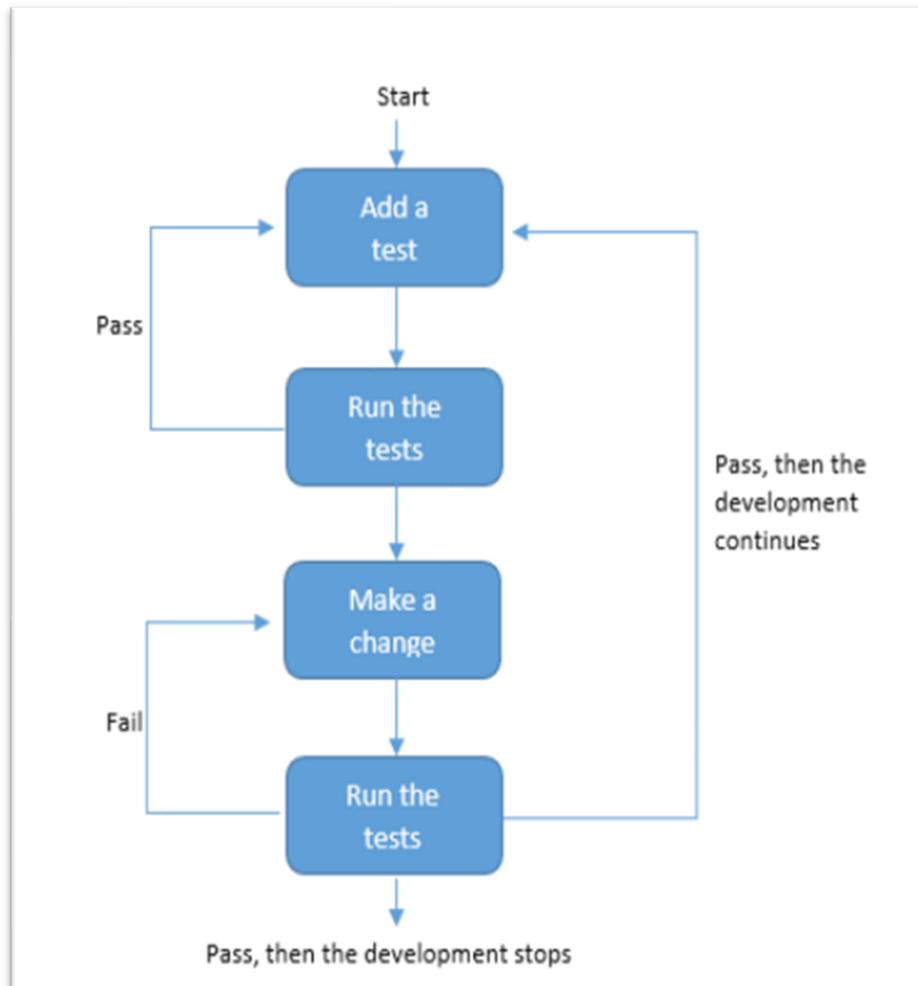
Segundo Anwer (2017) o TDD tem duas regras principais:

- Se um teste falhar, escreve o código para resolvê-lo
- Não faça duplicações do código

A ideia é transferível para produtos físicos: se o protótipo falha um teste, deve ser encontrada uma solução imediatamente (modificações no protótipo ou criação de um novo

protótipo). Devem-se evitar duplicações o máximo possível. Isso é feito através de partes reutilizáveis ou com múltiplas funções. O diagrama ilustra o TDD (SAMER, SAWALHA, HIBA ABDELNABI, 2020):

**Figura 5 – Diagrama de desenvolvimento direcionado por testes**



**Fonte: SAMER, SAWALHA, HIBA ABDELNABI (2020):**

As vantagens do TDD são (Anwer, F, 2017):

1. Uma vez que o teste é feito enquanto se desenvolve o produto as falhas e problemas são detectados mais cedo, além de saber exatamente onde ocorrem.
2. Dividir o produto final em pequenas partes, o que o torna o desenvolvimento mais fácil. O engenheiro está focado em resolver um único problema em cada iteração;
3. O teste iterativo aumenta a qualidade geral porque toda parte do produto é testada no seu desenvolvimento;
4. Restruturação do código (ou produto) levará a um melhor design e facilita a integração de todas as funcionalidades;

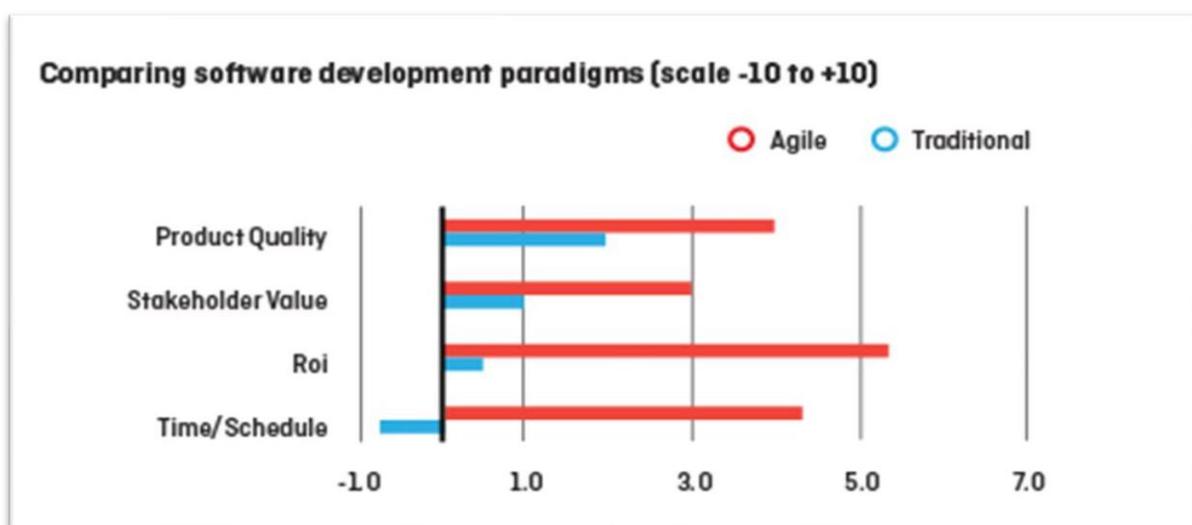
5. Desenvolver pequenas funcionalidades em cada iteração reduz a complexidade do projeto total.

Desvantagens (Anwer, F, 2017):

1. Os desenvolvedores de produto necessitam mais habilidade e conhecimento para definir os testes. A definição do problema e teste deve ser exata;
2. É difícil realizar testes em produtos que necessitam de sincronização de funcionalidades e partes;
3. O TDD leva a uma documentação não detalhada, pois utiliza apenas os casos de teste para desenvolvimento. A documentação real acaba sendo realizada apenas na fase de manutenção do produto ou quando o mesmo está consolidado;
4. O TDD pode consumir tempo se os testes falham repentinamente;
5. O TDD não é guiado por princípios de gestão de produto ou pessoas, apenas foca nas atividades de desenvolvimento.

Em 2013, a empresa de pesquisas no setor de tecnologia, Ambysoft, concluiu que a estratégia Agile tinha uma taxa de sucesso de 64% quando comparada a metodologia Waterfall (49%). A pesquisa foi conduzida por meio de entrevistas.

Figura 6 – Comparação de diferentes paradigmas de desenvolvimento



Fonte: AMBYSOFT (2020)

O gráfico faz um comparativo entre qualidade do produto (Product Quality), valor para os Stakeholders (Stakeholder Value), retorno sobre investimento (ROI) e tempo/cronograma

(Time/Schedule). Nota-se a o impacto sobre o tempo e retorno do investimento são significativamente maiores.

Embora a essência da metodologia Agile esteja no desenvolvimento de produtos, pode ser utilizada também na gestão de pessoas. No mundo do software nota-se que a hierarquia e burocracia dentro das organizações são um dos maiores empecilhos na velocidade do projeto. O método Scrum surge para melhorar a interação dos colaboradores. O desenvolvimento é dividido em “sprints” (iterações com duração de uma a quatro semanas). As equipes tendem a ter o menor número de pessoas possíveis para economizar recursos e complexidade de funções. A comunicação presencial é enfatizada e todos devem ter conhecimento de cada parte do processo (RODRIGUEZ et al. 2018).

Abrahamsson (2017) resume os principais pontos da metodologia Agile:

- a. O produto é dividido em partes menores e compreensíveis, que podem ser facilmente compartilhadas entre as equipes, aumentando a comunicação e conhecimento de todos;
- b. Transparência – Toda a equipe tem visibilidade total do desenvolvimento do produto, além do feedback dos usuários;
- c. As reuniões são com menor duração possível. O objetivo principal de uma reunião deve ser a tomada de decisões em vez de apenas transmitir informação;
- d. As equipes devem ter autonomia para se organizarem. As pessoas não devem ser divididas por área de expertise, mas sim na parte do produto em que estão trabalhando;
- e. O processo deve ser o mais simples possível;
- f. Todos os colaboradores devem responsabilizar pela qualidade do produto final;
- g. Quaisquer atividades que atrasem ou prejudiquem o sprint devem ser evitadas.

## **5. Metodologia**

A revisão de literatura é um tipo de pesquisa que reúne referências teóricas, artigos e dados para fundamentar o assunto abordado. Geralmente contribui reunindo as informações e elucidando o consenso geral do que já foi pesquisado por outros autores. Auxilia a delimitação do campo de investigação para futuras pesquisas.

A revisão abordada foi “Metodologia Ágil na Linha de Produção”. Como há poucas pesquisas sobre tal metodologia na área de produtos físicos e produção, reuniu-se informações de empresas que operam com sucesso usando tais princípios. Comparações foram feitas com outras empresas nos mesmos setores usando a metodologia tradicional (Waterfall).

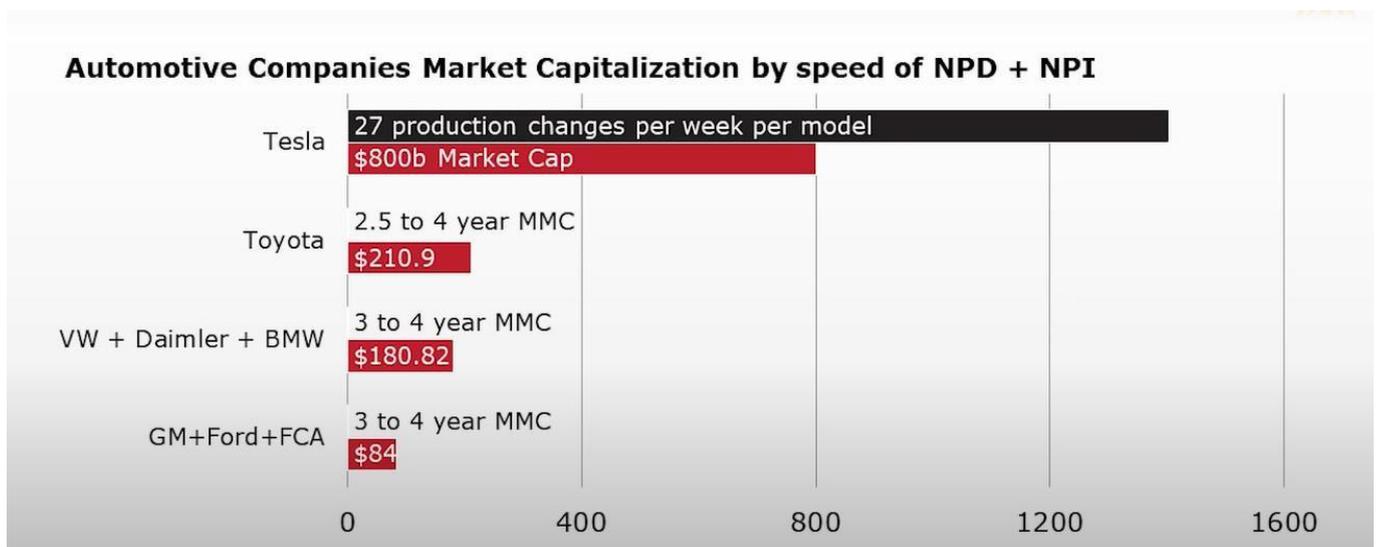
Buscou-se dados das empresas Tesla e SpaceX de 2003 até o presente para fazer as comparações, respectivamente, nos setores automobilístico e aeroespacial. Por fim, reuniu-se as principais recomendações para implementação dos métodos ágeis na linha produção e desenvolvimento de produtos.

## 6. Resultados

### 6.1. Tesla

O gráfico abaixo demonstra a correlação entre capitalização de mercado e velocidade de inovação. Empresas grandes como Toyota, BMW, GM, FORD, Volkswagen embora há muito tempo consolidadas, realizam poucas iterações por ano. Toyota por exemplo, realiza grandes modificações nos seus produtos entre 2 a 4 anos. Tesla costuma realizar em média 27 alterações no hardware e software por semana. A inovação ocorre literalmente a cada 3 horas.

Figura 7 – Capitalização de Mercado por velocidade desenvolvimento e introdução de produtos



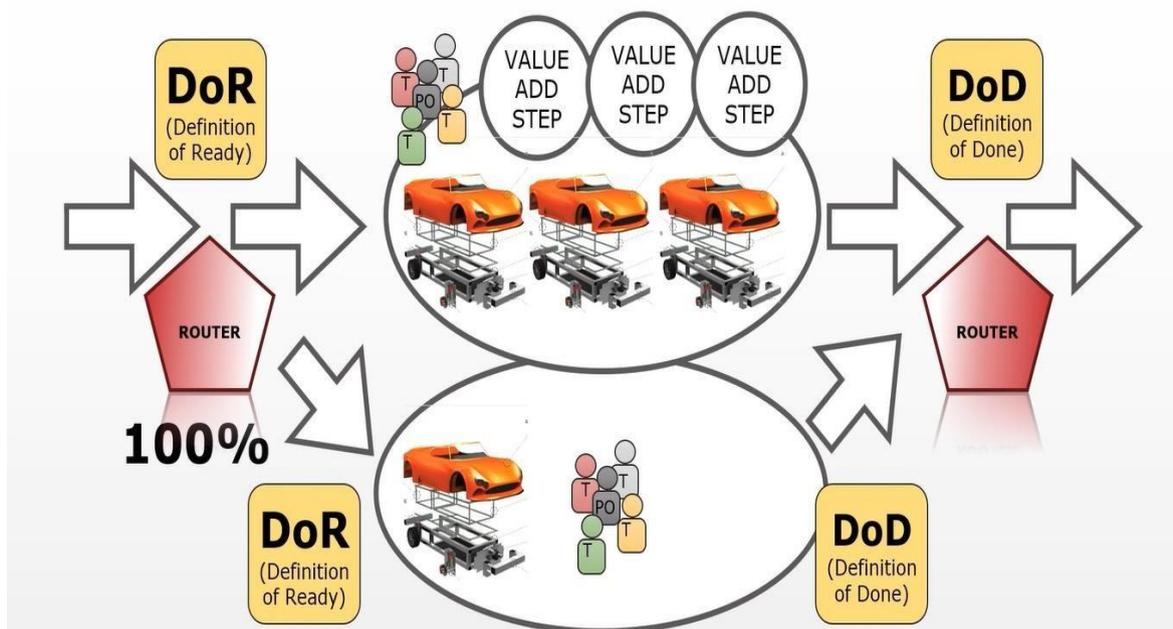
Fonte: JUSTICE (2022)

No longo prazo o que realmente traz diferencial competitivo é a velocidade de inovação. Empresas como a Tesla acreditam que o avanço em uma tecnologia qualquer é simplesmente o número de iterações vezes o progresso entre cada iteração. Portanto, quanto mais iterações ocorrem, maior a inovação. O resultado encontrado para uma dada tecnologia nessa empresa é o chamado NPI (*New Product Introduction*):

Figura 8 – Diagrama de Introdução de novo produto (NPI)



## Agile NPI (New Product Introduction)



Fonte: JUSTICE (2022)

A metodologia Agile é aplicada em ciclos de 3 horas. Todos os produtos são monitorados por softwares de Machine Learning que recebem dados em tempo real do que os usuários preferem no produto em um dado instante. Essas informações são transmitidas para os colaboradores no DOR (Definição de Pronto) que saberão em que partes do carro trabalhar. Geralmente os colaboradores compartilham o problema e as coordenadas de onde estarão na planta da fábrica para mais pessoas se juntarem. Ou seja, os colaboradores tem a autonomia de escolherem o problema e formar equipes sem a burocracia. O importante é que, a cada segundo que se passa na fábrica, valor esteja sendo agregado.

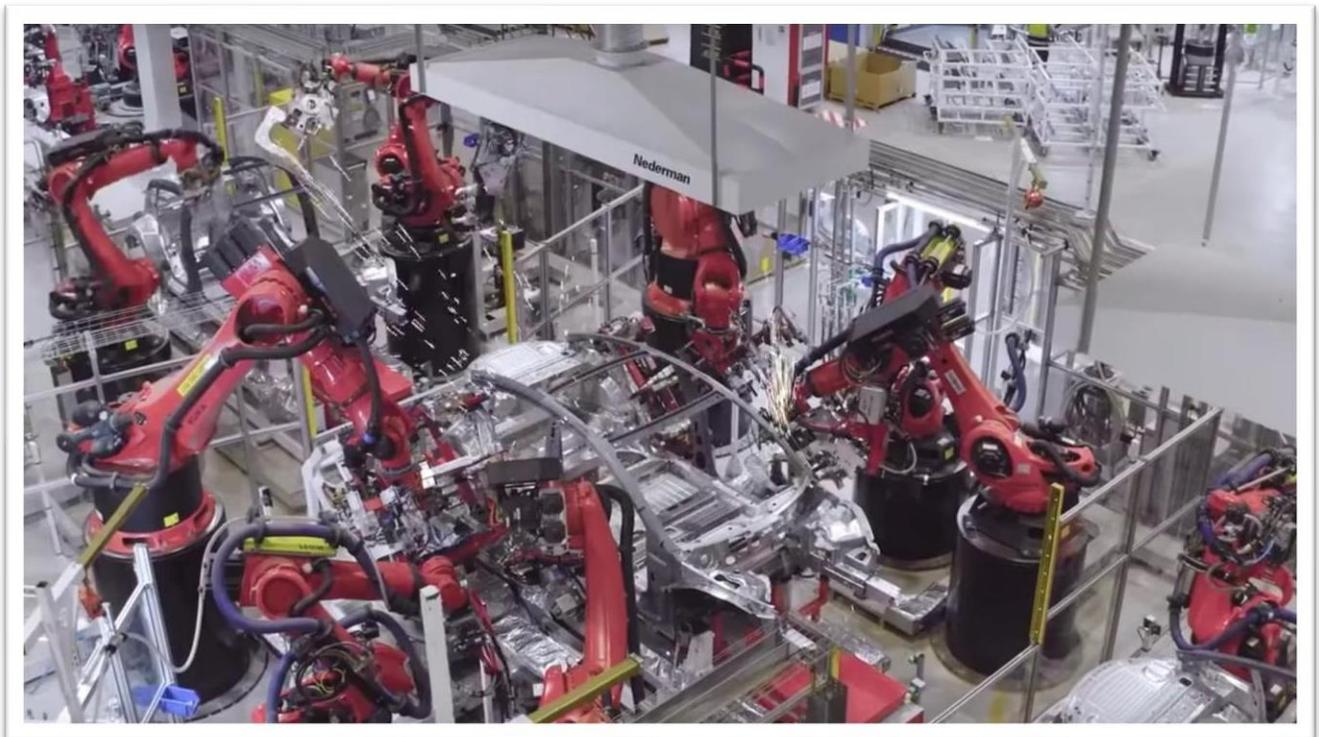
O DOR informa o problema a ser trabalhado, geralmente o colaborador tem acesso a um protótipo para testar sua ideia ou fazer as modificações necessárias. Por exemplo, se um dado instante o software que informa o DOR diz que os usuários preferem um banco mais confortável, uma equipe prontamente se formará, um protótipo será retirado da linha de montagem e se iniciará iterações no banco do automóvel. As coordenadas são transmitidas para todos os colaboradores e quem se interessar poder contribuir no problema. Às vezes existem equipes diferentes, em pontos diferentes, trabalhando no mesmo problema em diferentes protótipos.

O sistema DOD (Definição de Feito) informa que uma iteração foi concluída. Se o problema for resolvido, o carro pode ser vendido no mesmo instante de tal forma que a maioria dos usuários de um Tesla não compartilham o mesmo modelo de carro. Em um mesmo dia pode existir dezenas de versões diferentes para um dado modelo.

Os “Routers” são softwares roteadores que criam versões diferentes do mesmo carro para que os colaboradores tenham acesso aos protótipos corretos para testarem suas ideias. Um router faz divisões no Inputs (entradas) e as reagrupa no Output (saída) para que exista controle do que foi mudado em cada carro, por quem foi mudado, o que foi mudado etc. É o mesmo conceito de versão de controle na engenharia de softwares.

Outro ponto importante para metodologia Agile é a automatização. É importante automatizar sempre que possível tarefas repetitivas ou que não envolvam criatividade. A imagem demonstra parte de uma unidade Gigafactory em Shangai. Máquinas autônomas de última geração auxiliam os funcionários a fazer as modificações rapidamente e com segurança. Cada robô da planta está equipado com softwares de Machine Learning para se auto aperfeiçoarem na tarefa além de aprender os padrões dos colaboradores.

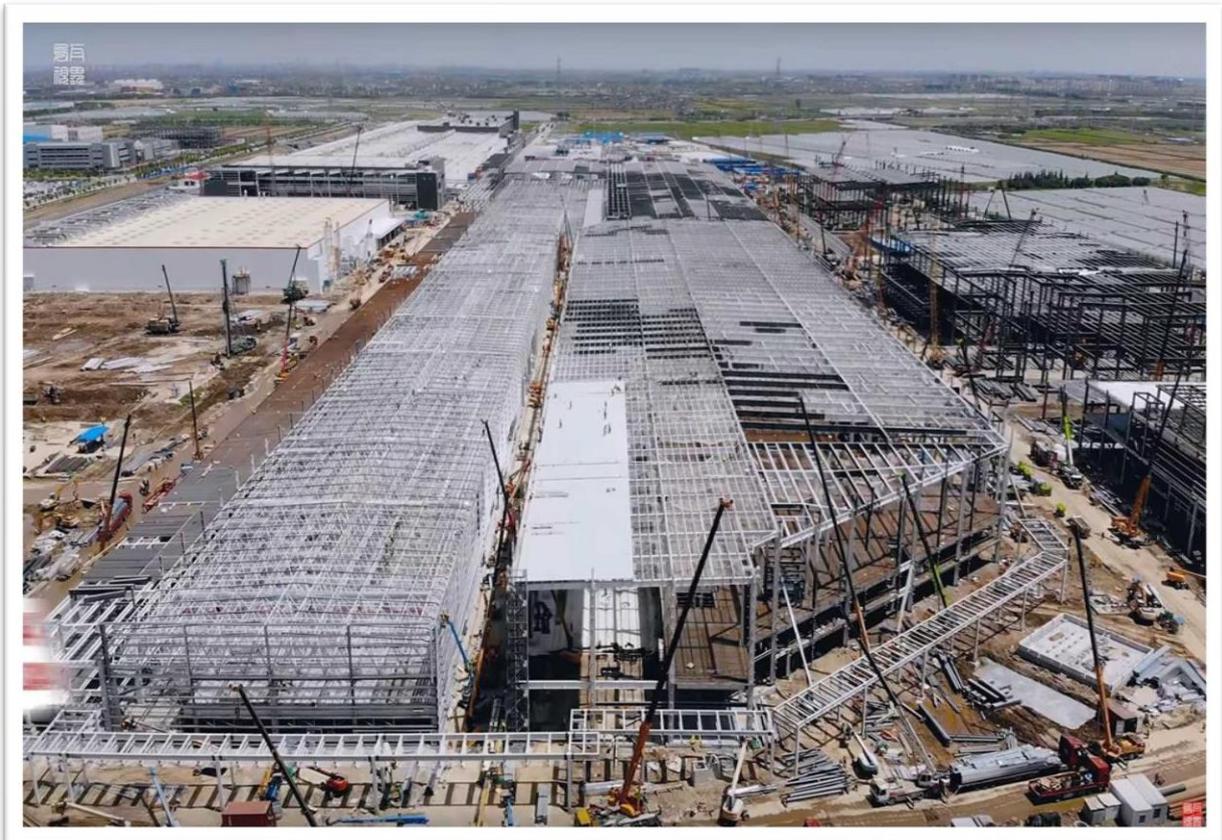
**Figura 9 - Braços mecânicos e automatizados na Gigafactory shangai**



Fonte: ELECTREK (2020)

Não somente a linha de montagem e os produtos são abordados com a metodologia Agile, mas as próprias plantas de uma Gigafactory são iteradas para otimizar o tempo de construção, o espaço e o gasto de recursos. A imagem abaixo demonstra a construção da Gigafactory Shanghai

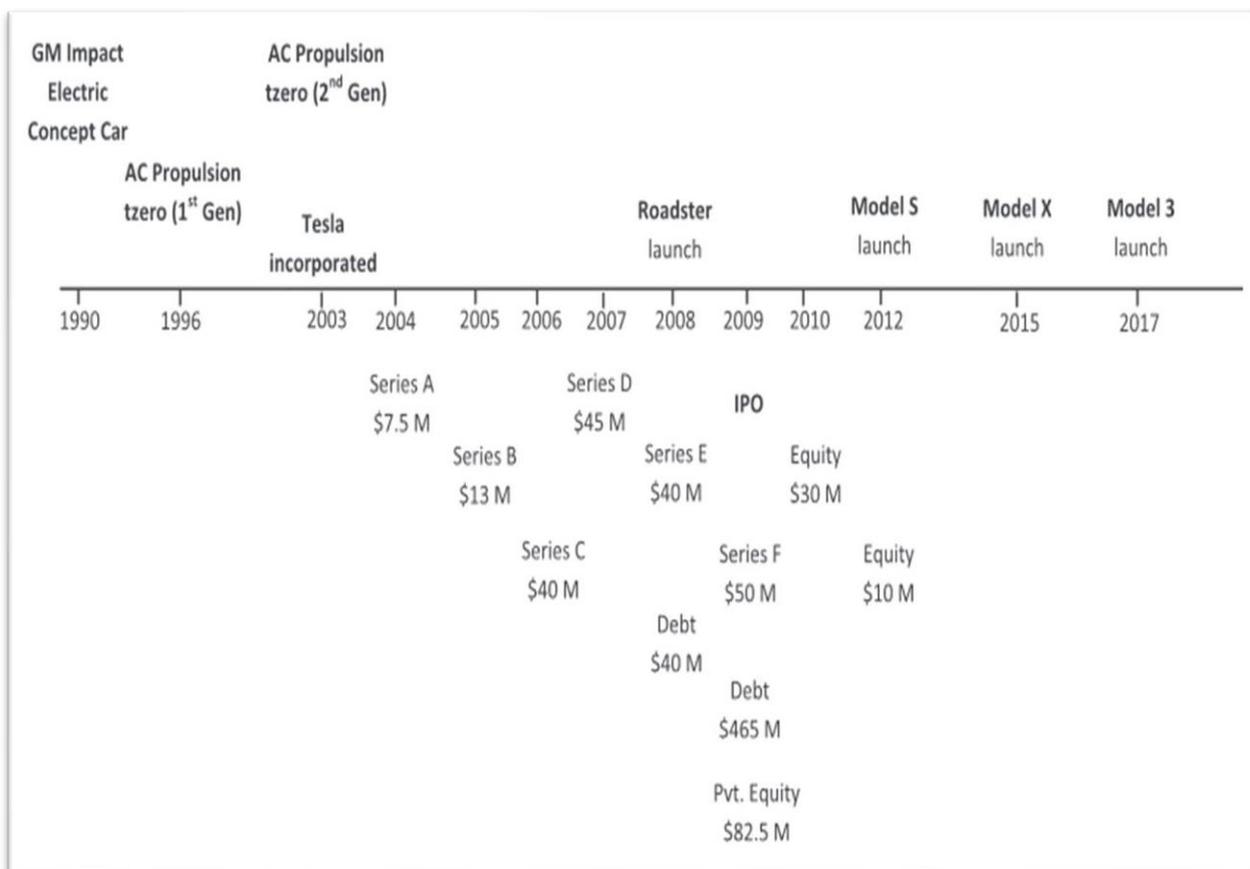
**Figura 10 – Construção da Gigafactory Shanghai**



**Fonte: INSIDEEVS (2020)**

A construção começou em 29 de dezembro de 2018. As “BluePrints” foram feitas com o objetivo de acelerar o máximo possível a construção de cada unidade. A técnica de construção modular é um dos principais fatores: colunas, vigas, paredes e telhados são fabricados e transportados para o local já prontos. As equipes trabalham conectando cada parte. Uma Gigafactory é projetada para ter a capacidade de produzir 450.000 unidades por ano. Para confirmar a velocidade de inovação proporcionada pela metodologia agile, foi coletado o gráfico seguir de um Estudo de Caso realizado em 2019 pela *School of Business, University of the Fraser Valley* (Universidade do Fraser Valley):

**Figura 11 – Desenvolvimento, débito e equidade de automóveis elétricos Tesla x**

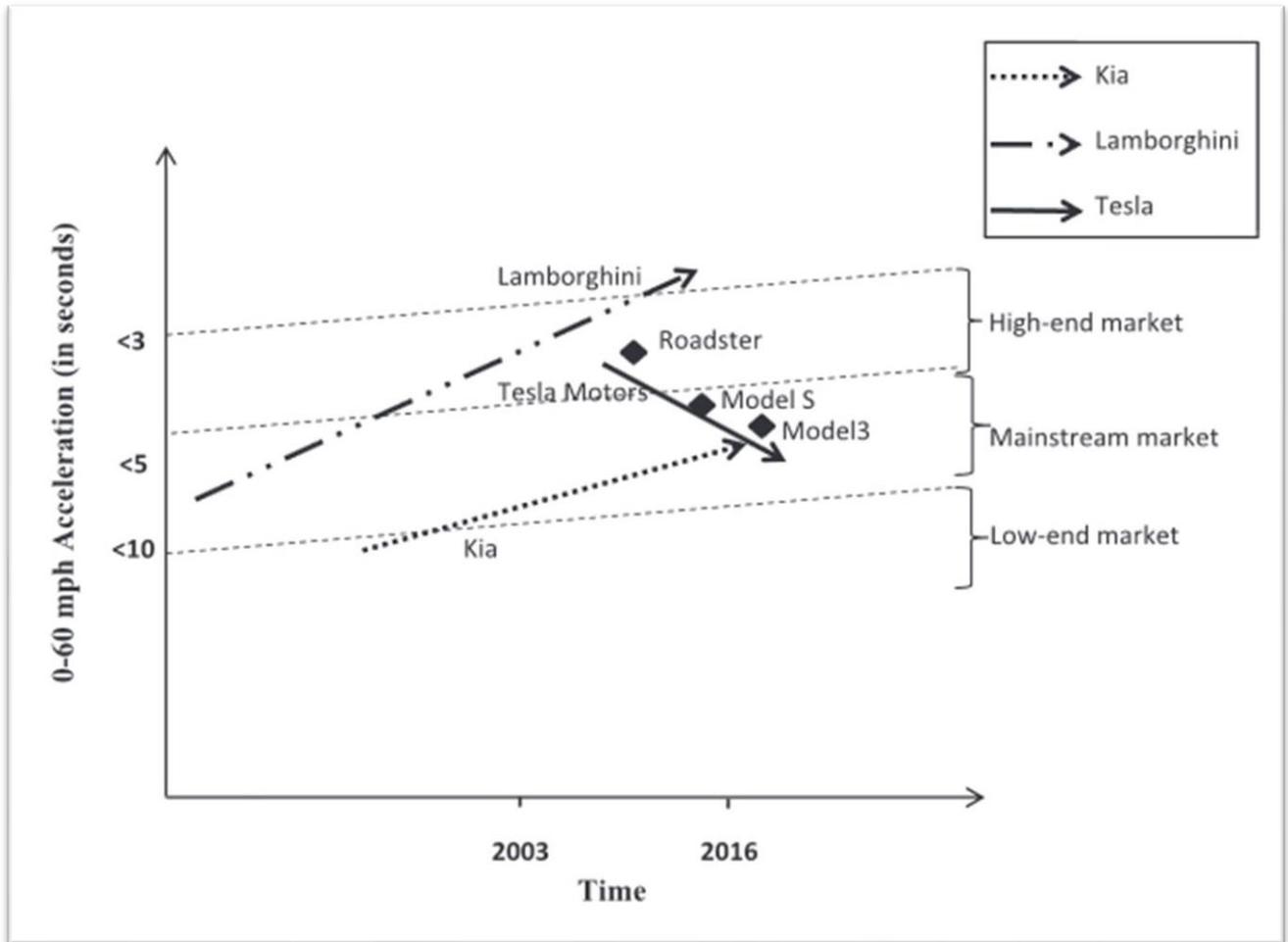


**Fonte: THOMAS E MAINE (2019)**

Esse gráfico mostra o desenvolvimento, custos e comercialização de diferentes modelos de automóveis Tesla. É interessante notar que as operações da Tesla iniciaram em 2003. O primeiro carro é lançado em 2008 (*Roadster*). Em 2017 a Tesla já produz os carros mais avançados do mundo (*Model 3*). Nesse mesmo intervalo a companhia aprendeu iterar diversa vezes sobre as tecnologias e modelos. Operou no débito até 2009 para depois se tornar a maior montadora de carros do planeta.

Outro gráfico retirado do mesmo estudo compara a aceleração de 0 a 60 mph (aproximadamente 100 km/h) da Kia, Lamborghini e Tesla:

Figura 12 – Comparação de aceleração entre Tesla, Kia e Lamborghini ao longo dos anos



Fonte: THOMAS E MAINE (2019)

Primeiro ponto a notar é que o primeiro Tesla (*Roadster*) já tem uma aceleração bem próxima de um Lamborghini em 2008. A Tesla começou a operar inicialmente no mercado *high-end* porque era garantido que clientes com poder de aquisição mais alto comprariam um carro elétrico eficiente. A linha *Model* herdou a tecnologia iterada do *Roadster* e continuou mantendo o alto desempenho no mercado *mainstream* (consumidor com poder de aquisição médio).

O gráfico abaixo compara o *market share* (fatia de mercado) de diversas montadoras no ano de 2019:

Tabela 2 – Valor de Mercado de empresas automobilísticas

Empresa	Valor de Mercado em Bilhões de Dólares (2019)
Toyota	230.95
Tesla	102.66

Volkswagen	89.68
General Motors	49.88
Honda	49.71
Daimler	48.29
BMW	45.66
Ford	36.32
Nissan	24.08
FCA	21.09

Fonte: Thomas e Maine (2019)

O desenvolvimento rápido de tecnologias e inovação é o principal fator para a Tesla com menos de duas décadas vencer empresas com décadas de atuação.

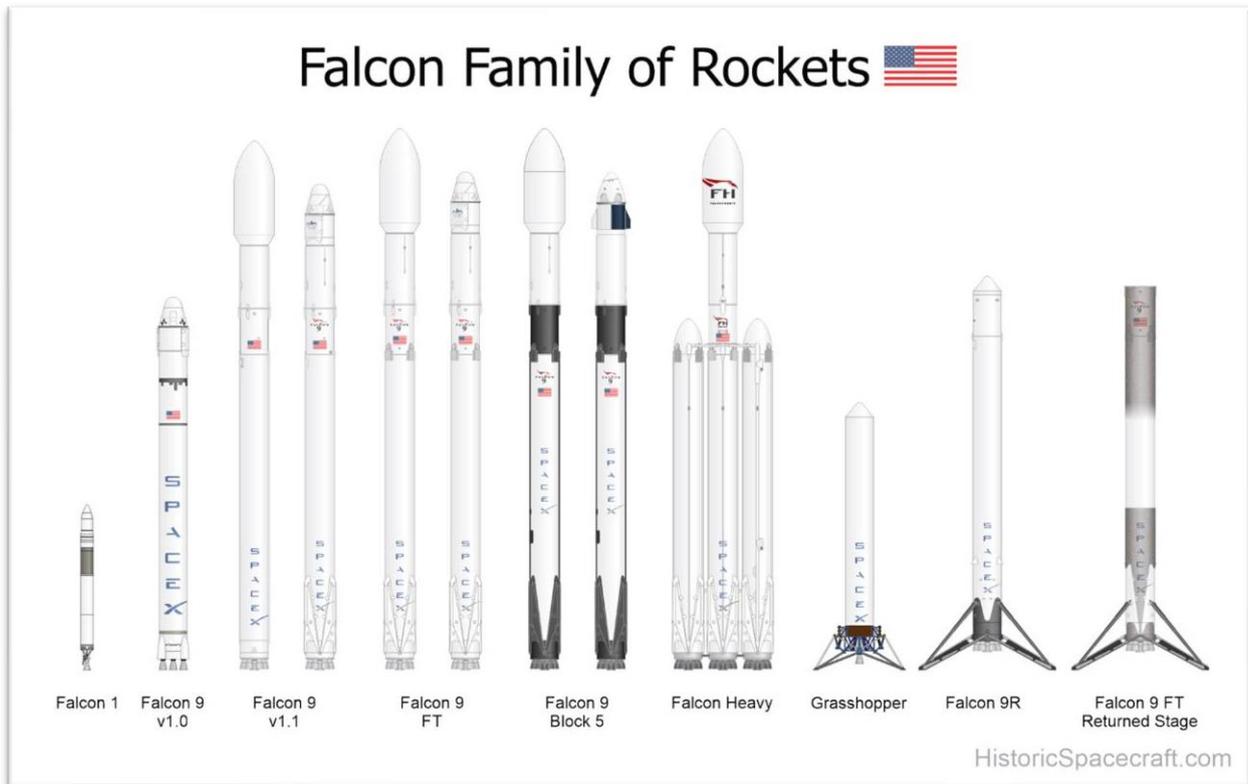
## 6.2. SpaceX

A *SpaceX* fornece uma poderosa comprovação do que o desenvolvimento rápido e ágil pode proporcionar. Adotou a mentalidade de fazer e falhar rapidamente para aprender em velocidades sem precedentes. Quando foi fundada em 2002, com o objetivo de realizar foguetes para chegar em Marte, o mundo não acreditava que uma empresa privada podia fabricar foguetes de última geração. Realmente foi isso que aconteceu até 2008 com o primeiro lançamento bem-sucedido do Falcon 1. Até então a empresa havia falhado 3 foguetes e estava beira da falência.

As três primeiras tentativas forneceram dados para construir foguetes melhores com menor custo. O CEO da empresa, Elon Musk, empregou a metodologia Ágil e começou a desenvolver diversos protótipos e testá-los ao limite. Entendeu-se que é possível fabricar foguetes de última geração com bem menos recursos do que a NASA. Em 2017, após sucessivas iterações, a *SpaceX* conseguiu aterrissar na vertical pela primeira vez um foguete: Falcon 9.

A figura abaixo ilustra o desenvolvimento da linha Falcon:

Figura 12 – Desenvolvimento da Família de Foguetes Falcon

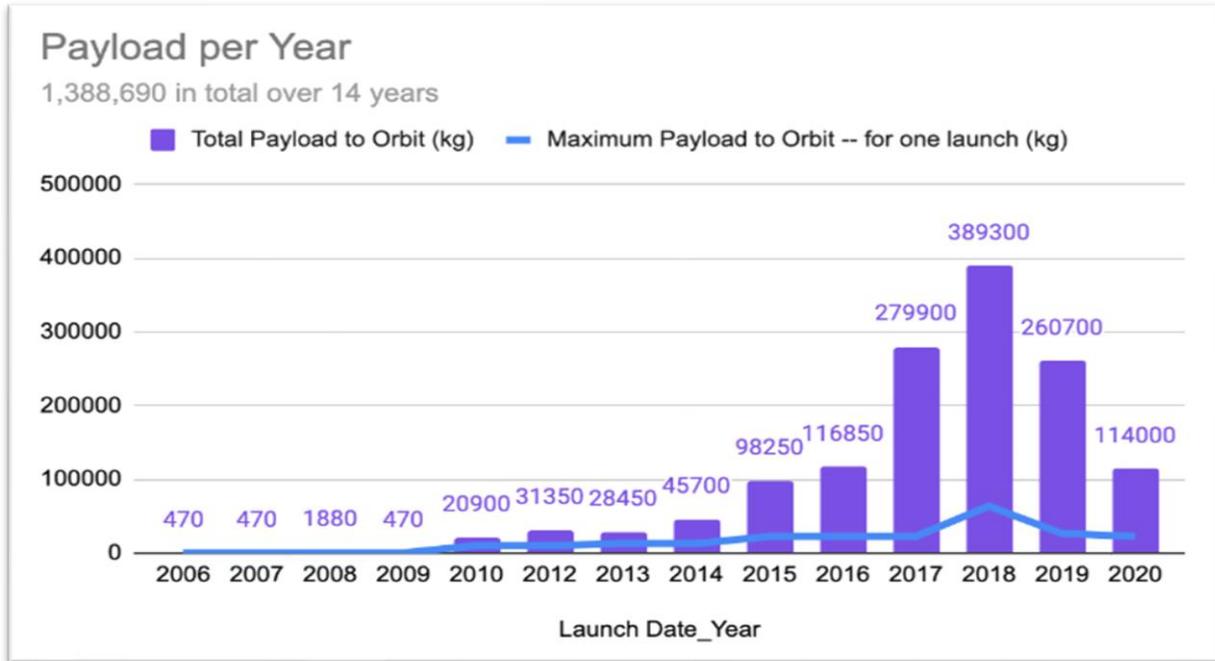


Fonte: SPACEX (2022)

Foram necessárias 12 iterações (2006-2017) até chegar no Falcon 9 com capacidade de pouso na vertical. No entanto, todas as partes dos foguetes foram iteradas dezenas a centenas de vezes para cada versão de um Falcon.

O gráfico abaixo da *Intersect Labs* mostra avanço da carga útil (Payload) por ano. Carga útil é o peso que o foguete consegue colocar em órbita e um ótimo indicador de desempenho. Notar que nos anos iniciais (2006 – 2010) a carga útil não ultrapassa 100 toneladas por ano. No entanto, sucessivas iterações permitiram em 2018 colocar em orbital um total de 389300 kg. Nenhuma organização fez o mesmo no mesmo período.

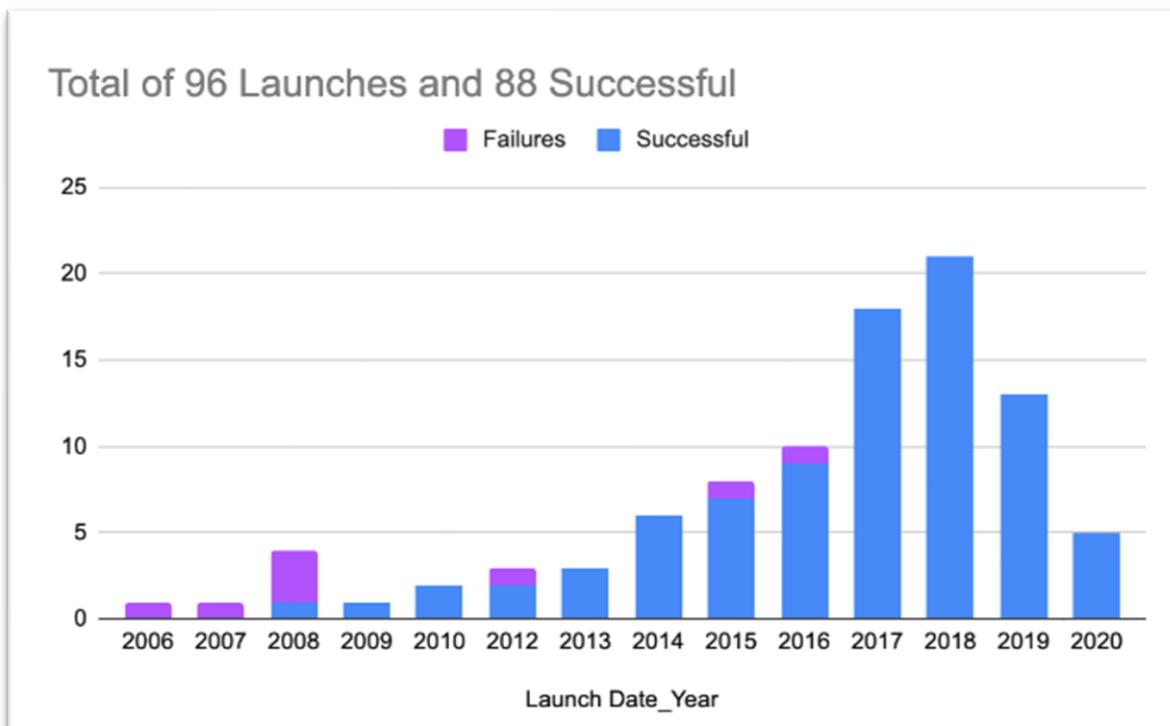
**Figura 13 - Payload (Carga Útil) por ano da SpaceX**



Fonte: INTERSECTLABS (2022)

Outro gráfico interessante é o seguinte:

**Figura 13 - Histograma de sucessos e falhas de lançamentos da SpaceX**

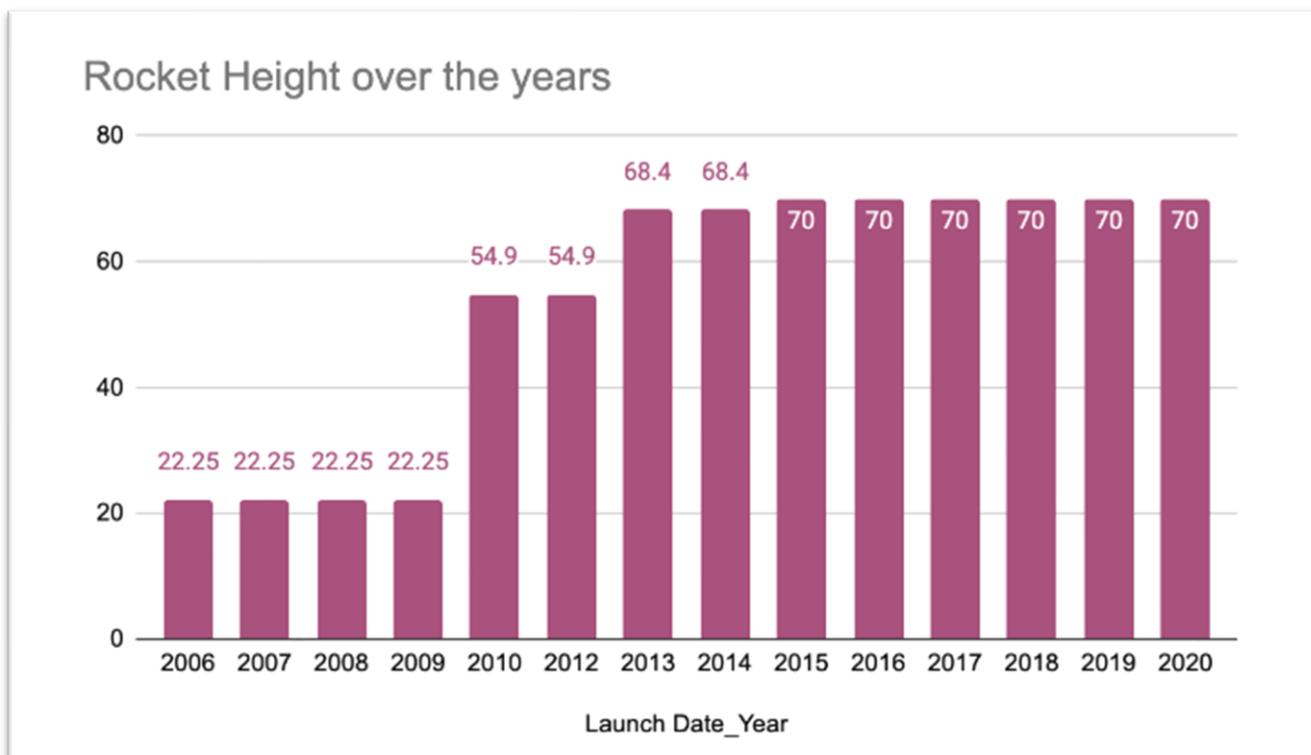


Fonte: INTERSECTLABS (2022)

Esse gráfico demonstra o total de 96 lançamentos e apenas 8 falhas. O sacrifício inicial de protótipos e sucessiva aprendizagem compensa no longo prazo.

A altura dos foguetes (metros) convergiu para 70 m após sucessivas iterações. Novamente, há um rápido desenvolvimento dos produtos após as primeiras iterações.

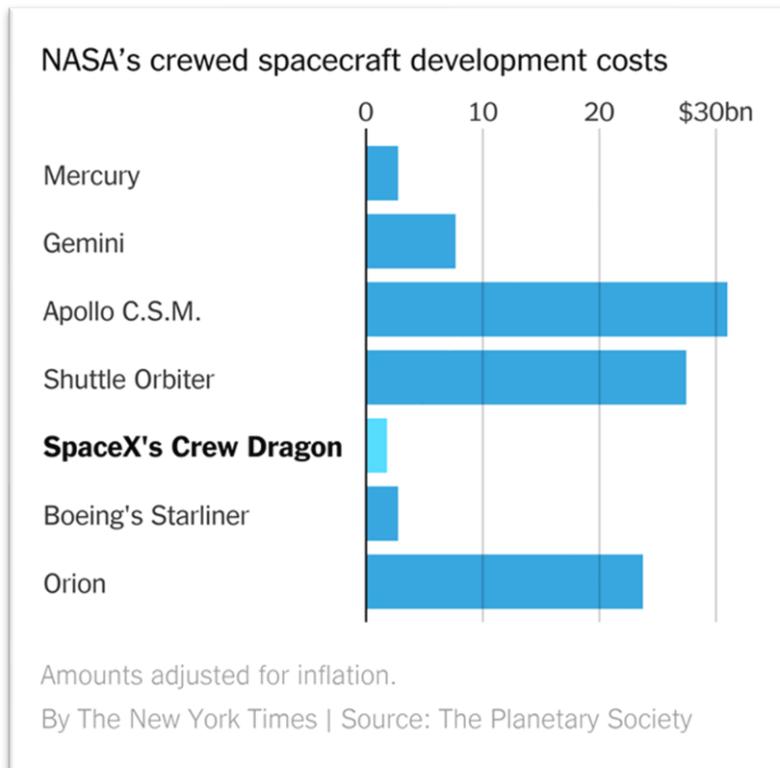
**Figura 13 - Variação da altura dos foguetes (SpaceX) ao longo dos anos**



**Fonte: INTERSECTLABS (2022)**

Por fim, o gráfico fornecido pelo New York Times, informa o custo do desenvolvimento de naves tripuladas por diversos programas da NASA (2020). Enquanto muitos passam dos 20 bilhões de dólares, a *SpaceX* conseguiu reduzir o custo em praticamente 25%.

**Figura 14 – Custo de desenvolvimento de naves tripuladas**

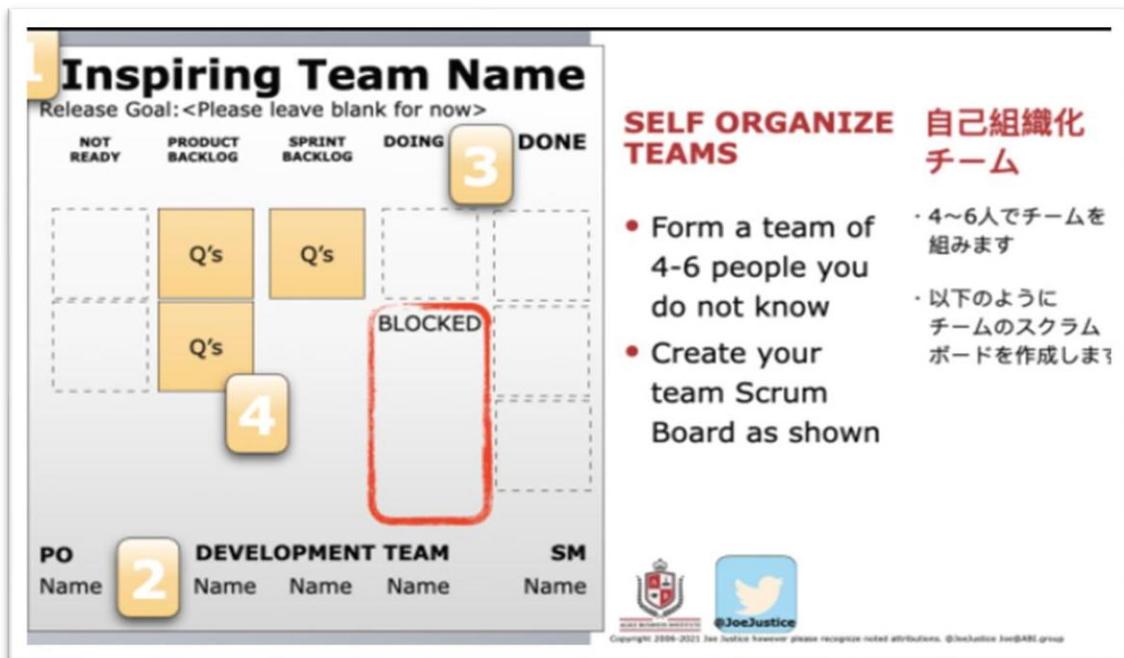


**Fonte: JORNAL NEW YORK TIMES (2022)**

## **6.1 Como aplicar a metodologia ágil à linha de produção e inovação de produtos**

Provavelmente, o melhor relato de como aplicar a metodologia ágil para produtos físicos e linha de produção é descrito por Joe Justice em seus livros *Scrum Master* e *Scrum(2020) for hardware*. Joe Justice trabalhou na Tesla durante quatro anos além de ter formado a empresa WikiSpeed, que venceu a BMW em uma competição de protótipos de carro. O primeiro passo é implementar o Scrum:

Figura 15 – Quadro Scrum para organização de times e tarefas



Fonte:JUSTICE (2021)

Scrum basicamente é uma forma de trabalhar. É uma forma de organizar grupos de pessoas para realizar uma tarefa. Os grupos devem ser autônomos e pequenos, focados em resolver problemas específicos. Se objetivo é melhorar um carro, por exemplo, os problemas são quebrados em partes e cada grupo ataca determinada parte.

O objetivo de manter os grupos pequenos é manter o foco e evitar dispersão de informação. Deve ser utilizado ciclos curtos (*Sprints*) de no máximo uma semana para a resolução de um dado problema. O quadro acima ilustra um Sprint. Disponibilizar informação visual dessa forma permite as pessoas saberem:

- 1) O que está sendo feito;
- 2) O que foi feito;
- 3) Quem está fazendo o quê.

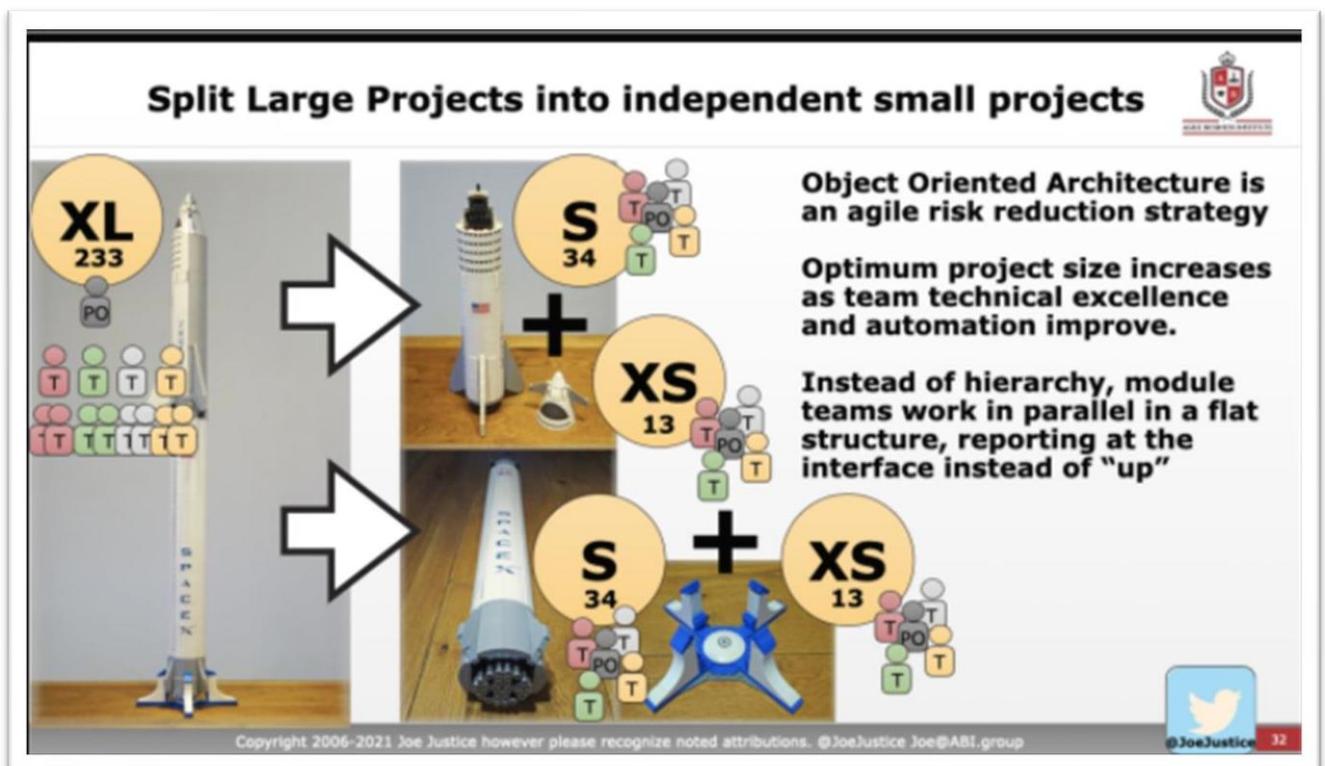
Assim, no fim do ciclo, é possível revisar de forma precisa o que deve ser feito num ciclo posterior. Embora cada equipe trabalhe em um problema separadamente, todos os times devem ser incentivados a trocar informação e ideias. É estritamente importante que as interações ocorram pessoalmente. A troca de informação verbal, presencial, é diversas

vezes mais eficiente que o uso de e-mails ou reuniões quando o foco é a velocidade desenvolvimento.

O segundo passo é dividir projetos grandes em partes menores. Arquitetura orientada ao objeto é a estratégia ágil de reduzir riscos. Com a divisão de partes, vem a divisão de equipes. Não existe hierarquia ou divisão por área de atuação. É adaptada a ideia de times modulares que trabalham em paralelo. Por exemplo, desenvolver um foguete envolve diversos pontos de riscos e sistemas complexos: motores, estrutura, *boosters*, softwares de controle, design da estrutura, materiais, sistema de reentrada, sistemas de segurança e testes.

Os protótipos são desenvolvidos e cada parte dessa é testado por diversos times simultaneamente. Em um mesmo dia na SpaceX, testa-se um motor até sua falha, a coifa do foguete, os softwares de segurança etc. Às vezes, múltiplos testes desse são realizados para um mesmo problema. Hoje é possível assistir ao vivo a SpaceX testando em média 3 motores *Raptor* na parte da manhã.

Figura 16 – Divisão de projetos em partes menores com times paralelos



Fonte: JUSTICE (2021)

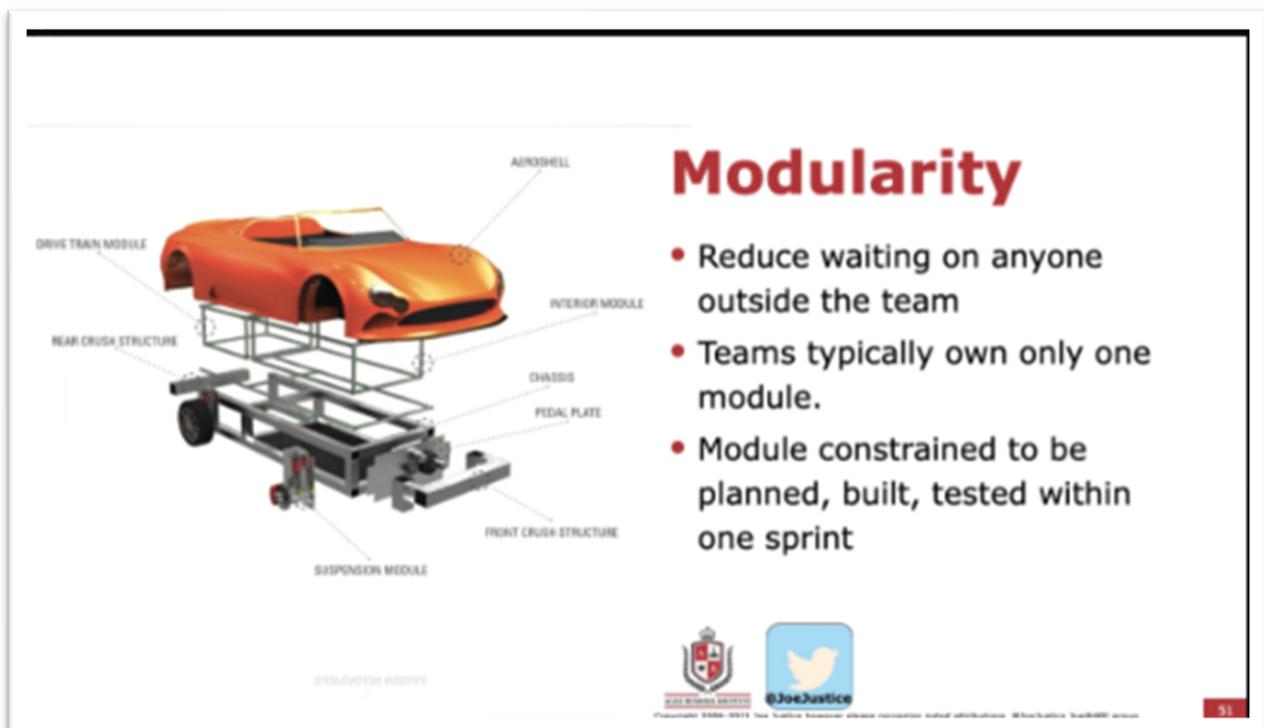
A imagem fornecida por *Justice* ilustra o processo de “quebrar” o foguete em partes menores e mais simples. Em um primeiro protótipo, é testado o foguete com o motor desenvolvido, além da coifa. Um time é responsável pelo desenvolvimento desse foguete

e teste. Um segundo time trabalha em outro protótipo do mesmo foguete, utilizando um material diferente para testar a resistência à criogenia. Um terceiro time trabalha no sistema de reentrada. Todos esses times comunicam em tempo real os avanços e problemas que ocorrem. Um time de softwares trabalha desenvolvendo aplicações web que permitem sincronizar todo o trabalho.

Ao mesmo tempo que cada time desse desenvolve uma parte do produto, outro time é responsável por desenvolver a linha de produção. O maior problema da maioria das empresas não está na criação do produto, mas como fazer a produção em larga escala com custo aceitável. A equipe de motores diz o que necessita da produção ao mesmo tempo que a produção adapta a linha para atender tais pedidos. A linha de produção é um protótipo sempre em avanço.

A imagem abaixo reforça o conceito de modularidade:

**Figura 17 – Modularidade no desenvolvimento**



Fonte: JUSTICE (2021)

A modularidade é importante porque:

1. **Reduz o tempo de espera** de qualquer colaborador fora da equipe - As outras equipes podem trabalhar em outra parte do produto sem ter que esperar o trabalho finalizado de outra equipe. Exemplo: em um carro modular, cada parte é encaixável e pode ser trocada rapidamente. Se um time está trabalhando no motor, ele não precisa esperar o time do chassi ter finalizado sua parte. O chassi e o motor podem ser testados independentemente.
2. **Cada time trabalha em um único módulo** - Trabalhar em um problema por vez aumenta o foco e a velocidade de testar múltiplas soluções
3. **O módulo é restrito a ser planejado, construído, testado em um único sprint** – evita a paralisia de escolha ou perfeccionismo. Uma solução eficiente e rápida é superior a uma solução perfeita e demorada na maioria dos casos. O objetivo é ter um protótipo simples para dada parte. Se a solução falhar ou não for boa o suficiente, será revisada e iterada no próximo sprint. Colocar um prazo curto para design, implementação e teste aumenta a probabilidade de encontrar soluções criativas.

Um ponto muito importante é a flexibilidade do ambiente de trabalho. O ambiente deve ser aberto e adaptável a necessidade dos colaboradores. Observar a figura abaixo também retirado do livro Scrum Master:

**Figura 18 – Ambiente Scrum da SAAB Aeronautics**



**Fonte: JUSTICE (2021)**

Essa figura ilustra uma sala de operações da SAAB Aeronautics, Suécia. É muito importante notar que a sala é aberta e todos os colaboradores não estão divididos em cubículos. A equipe de engenharia mecânica trabalha ao lado da elétrica. O protótipo se localiza no meio da sala e não em outra unidade ou galpão. As mudanças são feitas em tempo real e observados por todos na sala.

Se uma ideia surge, ela pode ser comunicada diretamente para equipe. Se há necessidade de uma alteração em um sistema elétrico para acomodar alguma parte mecânica, é comunicada diretamente. O protótipo é testado ali mesmo. Em uma empresa que opera no modo *Waterfall*, isso não corre: cada equipe estaria em outro departamento, as peças estariam em um galpão isolado. As equipes não se comunicariam pessoalmente e é improvável existir um protótipo que se altera diversas vezes no dia ou na semana.

## 7. Conclusão

A metodologia ágil é conjunto de princípios e mentalidade para resolver problemas complexos em ambientes incertos. Embora famosa no mundo do software, ainda é pouco utilizada no desenvolvimento de produtos ou serviços físicos. O avanço científico ocorre de forma incremental através de inúmeras experiências, tentativas e erros. Iterar produtos físicos (hardwares) e desenvolvê-los de forma incremental é a forma menos arriscada e com maior potencial de aprendizagem. Nesse trabalho, foram reunidas informações sobre a SpaceX e Tesla para relacionar o sucesso dessas empresas com a forma que atuam. Apresentou-se dados dos avanços dos automóveis elétricos *Model* por inúmeras iterações e o desenvolvimento rápido da linha *Falcon* da SpaceX. Além disso, foi abordado como as próprias fábricas e linha de produção são iteradas para acelerar o desenvolvimento de um produto e produzir em larga escala. A técnica Scrum para hardware, a organização de times sem hierarquia ou burocracia na tomada de decisões e prototipagem rápida são os principais resultados para implementação de tal metodologia. Conclui-se que os métodos ágeis permitem desenvolver mais rápido produtos e a linha de produção com redução de custos e riscos.

## 8. Referências bibliográficas

AJITHA, P. V.; NAGRA, A. An Overview of Artificial Intelligence in Automobile Industry – A Case Study on Tesla Cars. **Solid State Technology**, v. 64, n. 2, p. 11, 2021.

ALSAQQA, S.; SAWALHA, S.; ABDEL-NABI, H. Agile Software Development: Methodologies and Trends. **International Journal of Interactive Mobile Technologies (iJIM)**, v. 14, p. 246, 10 jul. 2020.

BRAUDE, E. J.; BERNSTEIN, M. E. **Software engineering: modern approaches**. [s.l: s.n.].

CASTEREN, W. V. The Waterfall Model and the Agile Methodologies : **A comparison by project characteristics** - short. 2017.

**CICLOS de Vida do Software**. [S. l.], 1 out. 2019. Disponível em: <https://www.devmedia.com.br/ciclos-de-vida-do-software/21099>. Acesso em: 25 maio 2022.

DENNING, S. Succeeding in an increasingly Agile world. **Strategy & Leadership**, v. 46, n. 3, p. 3–9, 21 maio 2018.

DUBEY, R.; GUNASEKARAN, A. Agile manufacturing: framework and its empirical validation. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 76, n. 9–12, p. 2147–2157, fev. 2015.

GUNASEKARAN, A. Agile manufacturing: A framework for research and development. **International Journal of Production Economics**, v. 62, n. 1–2, p. 87–105, maio 1999.

**Historical Data Analysis: SpaceX progress through data**. Disponível em: <<https://www.intersectlabs.io/post/historical-data-analysis-looking-at-past-spacex-missions>>. Acesso em: 4 jun. 2022.

HUANG, P. M.; DARRIN, A. G.; KNUTH, A. A. **Agile hardware and software system engineering for innovation**. 2012 IEEE Aerospace Conference. **Anais...** Em: 2012

IEEE AEROSPACE CONFERENCE. Big Sky, MT: IEEE, mar. 2012. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/6187425/>>. Acesso em: 29 mar. 2022

JUSTICE, Joe. **Scrum Master: The Agile Training Seminar For Business Performance..** 1. ed. Phil Klein: [s. n.], 2021.

LAMBERT, F. **Tesla releases impressive look inside Gigafactory Shanghai, with its hundreds of robots****Electrek**, 8 abr. 2020. Disponível em:

<<https://electrek.co/2020/04/08/tesla-look-inside-gigafactory-shanghai-robots/>>. Acesso em: 4 jun. 2022

MANGRAM, M. E. The globalization of Tesla Motors: a strategic marketing plan analysis. **Journal of Strategic Marketing**, v. 20, n. 4, p. 289–312, jul. 2012.

PRATES, Gláucia. **Ecnologia da informação em pequenas empresas: fatores de êxito, restrições e benefícios**. [S. l.], 26 dez. 2003. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rac/a/vpfnQdJRT5CtbBpN7b7XP9r/?lang=pt>. Acesso em: 30 maio 2022.

PRESSMAN, R. S. **Software engineering: a practitioner's approach**. Eighth edition ed. New York, NY: McGraw-Hill Education, 2015.

**SCRUM O guia definitivo da metodologia ágil**. [S. l.], 5 dez. 2019. Disponível em: <https://artia.com/scrum/>. Acesso em: 27 maio 2022.

SERRADOR, P.; PINTO, J. K. Does Agile work? — A quantitative analysis of agile project success. **International Journal of Project Management**, v. 33, n. 5, p. 1040–1051, jul. 2015.

**SpaceX**. Disponível em: <<http://www.spacex.com>>. Acesso em: 4 jun. 2022.

STEPHENS, R. *Beginning Software Engineering*. p. 482, 2015.

**Tesla Giga Shanghai Construction Progress May 13, 2020: Video**. Disponível em: <<https://insideevs.com/news/423227/tesla-giga-shanghai-progress-may-13-2020/>>.

Acesso em: 4 jun. 2022.

THOMAS, V. J.; MAINE, E. Market entry strategies for electric vehicle start-ups in the automotive industry – Lessons from Tesla Motors. **Journal of Cleaner Production**, v. 235, p. 653–663, out. 2019.