

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO SOCIOECONÔMICO
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA E RELAÇÕES INTERNACIONAIS
GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS ECONÔMICAS

Mateus Victor Cassol Fronza

A inserção mundial na Indústria 4.0: o caso da indústria de semicondutores

Florianópolis

2022

Mateus Victor Cassol Fronza

A inserção mundial na Indústria 4.0: o caso da indústria de semicondutores

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em Ciências Econômicas do Centro Socioeconômico da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Ciências Econômicas
Orientador: Prof. Marcelo Arend, Dr.

Florianópolis

2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Fronza, Mateus Victor Cassol

A inserção mundial na Indústria 4.0 : o caso da
indústria de semicondutores / Mateus Victor Cassol Fronza
; orientador, Marcelo Arend, 2022.

73 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Sócio
Econômico, Graduação em Ciências Econômicas, Florianópolis,
2022.

Inclui referências.

1. Ciências Econômicas. 2. Indústria 4.0. 3.
Semicondutores. 4. Revolução Tecnológica. I. Arend, Marcelo.
II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em
Ciências Econômicas. III. Título.

Mateus Victor Cassol Fronza

A inserção mundial na Indústria 4.0: o caso da indústria de semicondutores

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Bacharel e aprovado em sua forma final pelo Curso de Ciências Econômicas

Florianópolis, 13 de julho de 2022.

Prof. Helberte João França Almeida, Dr.
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof. Marcelo Arend, Dr.
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Pablo Felipe Bittencourt, Dr.
Avaliador
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Fábio Pádua dos Santos, Dr.
Avaliador
Universidade Federal de Santa Catarina

*“Se as coisas são inatingíveis... ora!
Não é motivo para não as querer.
Que tristes os caminhos, se não fora
A presença distante das estrelas!”*

Mario Quintana

AGRADECIMENTOS

Acredito que cada pessoa tem o seu caminho. Cada vez que cruzamos ele com o de outra pessoa, trazemos um pouco dela e deixamos um pouco de nós. E assim foi a minha vida acadêmica nesses últimos anos.

Na forma mais atômica que posso começar, eu começo agradecendo a minha família: meus pais, Almir José e Rita de Cassya, assim como meu irmão Paulo Victor. Dos meus pais, agradeço todo o amor e inspiração que me deram, por sempre terem me apoiado nos meus sonhos (e para isso algumas vezes terem aberto mão dos deles) e acreditarem em mim (maior parte das vezes acreditam mais em mim do que eu mesmo). Do meu irmão, agradeço a confiança e o apoio, por ser meu primeiro melhor amigo (e que assim será até o fim da nossa estrada) e ter me apoiado desde o primeiro dia que falei que queria tentar cursar economia na UFSC.

Antes de ingressar na UFSC, eu tive muitos amigos que me apoiaram e me ensinaram muito, agradeço principalmente o Matheus Carturani e a Caroline. Ao Cartura, além das dicas acadêmicas eu agradeço por ser meu melhor amigo desde que somos crianças, ter você por perto foi um prazer. À Carol, agradeço a oportunidade de compartilharmos a nossa jornada, sem o apoio dela eu teria desistido de muitas coisas, seu bom humor e positividade que contagia a todos por perto. Realmente foi um privilégio estar próximo de alguém assim.

Agradeço também aos meus dois parceiros de convivência da faculdade: Vitor Marcelo e André. Tivemos anos de muita diversão, parceria e troca de conversas. Com certeza vocês deixaram tudo mais leve e possível, com o apoio mútuo e sempre tentando deixar o clima legal para que todos estivessem bem. Vocês marcaram minha vida e ficarão para sempre no meu coração.

Aos amigos da faculdade, principalmente da minha turma 18.1 e agregados, eu agradeço o privilégio dos debates acadêmicos e da partilha da jornada acadêmica. A minha vida foi mudada pela UFSC, e isso se deve muito a cada um de vocês, que me mostraram outras perspectivas e realidades, sempre digo que tive muita sorte em ter amigos como vocês (e continuo achando isso). Gostaria de deixar registrado a vocês o meu carinho e admiração, assim como o desejo sincero e honesto de todo sucesso do mundo para vocês: Cucco, Vitor Menega, Sarah, Renan, Vitão, João Doito, Adílio, Thiago Tuyu, Bruninho, Luke e demais. Também agradeço ao Eduardo Moreira, o Duds, por ser meu parceiro ao longo da faculdade inteira, com participação fundamental nesta jornada do Trabalho de Conclusão de Curso

(TCC) desde a matéria de Metodologia II, com certeza deixou o caminho muito mais leve e proveitoso.

Agradeço também ao Professor Marcelo Arend por ter me orientado no trabalho, desde a primeira conversa se colocou à disposição para me ajudar na elaboração desse projeto. Também agradeço aos demais professores da UFSC por transmitirem seus conhecimentos aos milhares de alunos que passaram (e ainda passarão) pelas fileiras da graduação de economia.

Agradeço ao Núcleo de Estudos de Economia Catarinense (NECAT), principalmente em nome do professor Lauro Mattei, por ter me dado a oportunidade de integrar o grupo. Com toda certeza foi um divisor de águas na minha vida acadêmica e profissional. Também agradeço ao Vicente e ao Vítinho pela partilha do dia a dia no núcleo, tomando mate e debatendo a economia. Sucesso para vocês, amigos!

Agradeço também ao meu amigo Allan Heil pelas inúmeras consultorias técnicas sobre os semicondutores, com direito a desenhos, infográficos e exemplos. Foi de grande valia para eu conseguir compreender a parte técnica do tema.

Por fim, agradeço à Universidade Federal de Santa Catarina através de seus funcionários por ter me dado o privilégio de estudar aqui. Com toda certeza é um dos maiores orgulhos da minha vida, no momento o meu caminho se encerra aqui na UFSC, mas com toda certeza sempre será a minha casa. Foram tantas oportunidades e vivências que tive aqui dentro que o sentimento que levo comigo, é de respeito e gratidão.

Torço, com todas minhas forças, para que mais pessoas tenham as oportunidades que eu tive. Que a defesa da universidade pública vire a bandeira da sociedade brasileira e que o ensino seja tratado e respeitado da forma que deve!

RESUMO

De tempos em tempos a forma que a sociedade se organiza é transformada. Para além da forma de produzir, novos hábitos são incorporados em detrimento de antigos. As grandes mudanças vivenciadas por todas as pessoas e setores da economia estão relacionadas com o estabelecimento de um novo paradigma tecno-econômico, processado através de uma revolução tecnológica. Junto de uma revolução que muda a forma que a sociedade se estabelece, há sempre um fator-chave que tem por característica o fato de ser um insumo amplamente usado na economia, de ter custo decrescente e ter uma oferta potencial para saciar a demanda no longo prazo. Desde a década de 1980, a economia global vem sendo transformada com o estabelecimento da Quinta Revolução Tecnológica (conforme aponta Carlota Perez), ancorada na microeletrônica e onde o produto chave são os chips semicondutores. A intensificação do progresso técnico em anos recentes levou a popularização na mídia especializada do termo Quarta Revolução Industrial, ou Indústria 4.0. Seja como for, sendo a intensificação da Quinta Revolução Tecnológica ou a irrupção de uma Quarta Revolução Industrial, o fato concreto é que os semicondutores se tornaram insumos essenciais para praticamente a totalidade do sistema produtivo das nações. A indústria dos semicondutores é a base para as demais: os chips são embarcados nos mais diversos processos produtivos, como computadores, *smartphones*, automóveis, bens de capital, no agronegócio e nos serviços. Também, os semicondutores são essenciais para as comunicações, elevando a eficiência do comércio internacional e do setor financeiro. Além disso, é um mercado extremamente potencial, com faturamento na casa de centenas de bilhões de dólares, com característica de ser uma indústria complexa: a indústria de semicondutores é uma indústria concentrada, de difícil entrada, de altos investimentos, com muita incerteza e muito dinâmica, ela está sempre na necessidade de se atualizar. Posto estas características, o presente trabalho tem por objetivo geral mostrar a estrutura desse segmento, ressaltando o desempenho mundial na Indústria 4.0 com ênfase nos semicondutores. Para tanto, será feita uma análise de desempenho da indústria mundial a partir dos dados sobre faturamento, vendas e transações do comércio internacional; seguido por uma análise dos principais *players* do mercado a partir da análise das informações sobre valor *market cap* das empresas, das vendas e receitas.

Palavras-chave: Indústria 4.0. Semicondutores. Revolução Tecnológica.

ABSTRACT

From time to time the way society organizes itself is transformed. In addition to the way of producing, new habits are incorporated to the detriment of old ones. The great changes experienced by all people and sectors of the economy are related to the establishment of a new techno-economic paradigm, processed through a technological revolution. Along with a revolution that changes the way society is established, there is always a key factor that has the characteristic of being a widely used input in the economy, having a decreasing cost and having a potential supply to satisfy demand in the long term. deadline. Since the 1980s, the global economy has been transformed with the establishment of the Fifth Technological Revolution (as Carlota Perez points out), anchored in microelectronics and where the key product is semiconductor chips. The intensification of technical progress in recent years has led to the popularization in the specialized media of the term Fourth Industrial Revolution, or Industry 4.0. Be that as it may, whether it is the intensification of the Fifth Technological Revolution or the irruption of a Fourth Industrial Revolution, the concrete fact is that semiconductors have become essential inputs for practically the entire productive system of nations. The semiconductor industry is the basis for the others: chips are embedded in the most diverse production processes, such as computers, smartphones, automobiles, capital goods, agribusiness and services. Also, semiconductors are essential for communications, increasing the efficiency of international trade and the financial sector. Furthermore, it is an extremely potential market, with revenues in the hundreds of billions of dollars, with the characteristic of being a complex industry: the semiconductor industry is a concentrated industry, difficult to enter, with high investments, with a lot of uncertainty and a lot of dynamics, it is always in need of updating. Given these characteristics, the present work has the general objective of showing the structure of this segment, highlighting the global performance in Industry 4.0 with emphasis on semiconductors. To this end, a performance analysis of the world industry will be carried out based on data on billing, sales and international trade transactions; followed by an analysis of the main players in the market from the analysis of information on market cap value of companies, sales and revenues.

Keywords: Industry 4.0. Semiconductors. Technological Revolution.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - As etapas da cadeia produtiva dos semicondutores.....	33
Figura 2 - Crescimento do mercado de chips integrados, em taxa e valor absoluto (US\$) - 1978 - 2022.....	44
Figura 3 - Faturamento do mercado de semicondutores, valor absoluto em mil milhões (US\$) - 1978 - 2022.....	46
Figura 4 - Participação (%) no faturamento do mercado de semicondutores, por continente - 1978 - 2022.....	47
Figura 5 - Vendas (em bilhões de dólares) de semicondutores por segmento de produto, 2017 a 2020	49
Figura 6 - Demanda (em US\$ bilhões) por CIs separado por categoria de usuário final, 2019.....	50
Figura 7 - Percentual (%) de tipos de semicondutor por categoria agregada de usuário final, 2019.....	50
Figura 8 - Evolução das exportações dos produtos da SH 8542 por países, valor por milhares de dólares (US\$).....	52
Figura 9 - Evolução das importações dos produtos da SH 8542 por países, valor por milhares de dólares (US\$).....	53
Figura 10 - Evolução das exportações dos produtos da SH 8541 por países, valor por milhares de dólares (US\$).....	54
Figura 11 - Evolução das importações dos produtos da SH 8541 por países, valor por milhares de dólares (US\$).....	55
Figura 12 - <i>Boxplot</i> da receita das empresas de semicondutores, 2018.....	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Empresas de semicondutores com previsão de vendas maiores que US\$10 bilhões em 2021.....	57
Tabela 2 - Valor (US\$) <i>market cap</i> de empresas de semicondutores por país, 2022.....	58
Tabela 3 - As 10 maiores empresas de semicondutores em valor (US\$) <i>market cap</i> , 2022...	60
Tabela 4 - As maiores empresas de semicondutores por receita (US\$ bilhões), 2018.....	61

LISTA DE ABREVIATURAS

ABISEMI	Associação Brasileira da Indústria de Semicondutores
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CI	Circuito Integrado
CNI	Confederação Nacional da Indústria
DAO	Discretos, analógicos e optoeletrônicos e sensores
DARPA	Defense Advanced Research Projects Agency
DH	<i>Design House</i>
DIT	Divisão Internacional do Trabalho
DOD	Department of Defense
DSP	<i>Digital Signal Processor</i>
IA	Inteligência artificial
IDM	<i>Integrated Device Manufacturers</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
IoS	<i>Internet of Services</i>
IEDI	Instituto de Estudos para o Desenvolvimento Industrial
ITRI	Industrial Technology Research Institute
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
OSD	<i>Semiconductor optoelectronic, sensor, and discrete</i>
MEI	Ministry of Electronics Industry
MPU	<i>Microprocessor Unit</i>
MCU	<i>Microcontroller Unit</i>
PIB	Produto Interno Bruto
RCA	Radio Corporation of America
TICs	Tecnologia da Informação e Comunicação
TI	Texas Instrument
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
TSMC	Taiwan Semiconductor Manufacturing Company
UMC	United Microelectronics Corporation
SEI	Secretaria Especial de Informática
SEMATECH	Semiconductor Manufacturing Technology
SH	Sistema Harmonizado
SEG	Shenzhen Electronics Group

SIA Semiconductor Industry Association
WSTS World Semiconductor Trade Statistics

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 TEMA E PROBLEMA	15
1.2 OBJETIVOS	19
1.2.1 Objetivo geral	19
1.2.2 Objetivos específicos	19
1.3 JUSTIFICATIVA	19
1.4 METODOLOGIA DA PESQUISA	23
1.4.1 Definição da estratégia metodológica	23
2 AS REVOLUÇÕES TECNOLÓGICAS E A INDÚSTRIA 4.0	25
2.1 AS REVOLUÇÕES TECNOLÓGICAS E OS PARADIGMAS	26
2.2 A CATEGORIZAÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0	30
2.3 A INDÚSTRIA DE SEMICONDUTORES	32
2.3.1 O processo produtivo	33
3 DINÂMICA DA INDÚSTRIA DE SEMICONDUTORES NO MUNDO	37
3.1 O HISTÓRICO DA INDÚSTRIA DE SEMICONDUTORES	38
3.1.1 Os Estados Unidos	39
3.1.2 Japão	40
3.1.3 Coreia do Sul	41
3.1.4 Taiwan	42
3.1.5 China	42
3.2 O DESEMPENHO DA INDÚSTRIA DE SEMICONDUTORES	44
3.2.1 Faturamento	45
3.2.2 Vendas	49
3.2.3 Comércio Internacional	52
3.3 OS <i>PLAYERS</i> GLOBAIS	56
3.3.1 As maiores empresas do mundo	57
3.3.2 Desafios globais	64
CONSIDERAÇÕES FINAIS	67
REFERÊNCIAS	70

1 INTRODUÇÃO

Para o primeiro capítulo deste Trabalho de Conclusão de Curso, será apresentada a problemática acerca do tema através da primeira seção. Através dela é introduzido o tema e a conjuntura, bem como uma breve noção do que será debatido ao longo do estudo.

Após isso, são apresentados os objetivos gerais e específicos do estudo, seguido pela justificativa do trabalho.

1.1 TEMA E PROBLEMA

A economia está em constante mudança. A todo momento são produzidas novas descobertas que alteram tanto quantitativamente quanto qualitativamente a sociedade, essas mudanças nos afetam diametralmente pois novos processos e produtos são criados e remodelados, assim mudando nossa forma de convivência.

Ciente que o mundo está trabalhando o mais rápido possível na busca de inovações, é possível notar que os carros estão cada vez mais completos, com diversas tecnologias complementares à sua função como meio de transporte. Também é possível notar que não é raro ter um novo produto integrado à internet ou a presença de robôs para automatizar tarefas domésticas, ou ainda que soluções para empresas sejam feitas por inteligência artificial (IA). Todas essas tecnologias mencionadas são produtos e serviços integrantes do que seria a Quarta Revolução Industrial, ou Indústria 4.0.

A Indústria 4.0 tem ficado mais conhecida nos últimos anos. As indústrias - brasileiras e dos demais países do globo - sabem do movimento que se alastra pela sociedade e reconhecem que será necessário a adequação a novos padrões e métodos de produção caso queiram seguir operantes e ativas. Essa percepção se materializa no fato de que nos últimos anos têm saído cada vez mais estudos a fim de compreender o momento no âmbito nacional (IEDI, 2018; CNI, 2016) bem como no âmbito global (HERMANN, PENTEK, OTTO, 2015; NEUGEBAUER *et al.*, 2016).

Como nível mundial, a Indústria 4.0 angaria mais e mais atenções, tanto é que em 2016 as lideranças do mundo foram até Davos, na Suíça, para debater sobre essa nova temática. O evento da ocasião foi o Fórum Econômico Mundial e teve a presença de Klaus Schwab - fundador do European Symposium of Management, que se tornou o Fórum Econômico Mundial -, que usou da ocasião para colocar a Indústria 4.0 como tema dos debates. Na oportunidade - e em trabalhos posteriores -, ele falou sobre a mudança de paradigmas que a economia passa e sobre como esse movimento se trata de uma mudança das indústrias que passarão a assimilar um novo paradigma científico-tecnológico, que ocasionará

impactos radicais sobre a forma de produzir, de consumir, na forma de sociabilidade bem como nas instituições e nos Governos (SCHWAB, 2016). Esse novo momento que a economia está atravessando trata-se de uma descontinuidade à forma de produção vigente e conta com uma rápida assimilação de tecnologias aplicáveis em quase todas as áreas, conforme afirmam Wolf e Oliveira (2016).

Desta forma, o movimento da Quarta Revolução Industrial é praticamente como uma avalanche, isto é, algo irreversível e de difícil contenção. À medida que esse movimento chega aos países, é preciso entender a forma que se encaixa à realidade de cada país, pois mesmo que os produtos da Indústria 4.0 cheguem em cada nação, a forma que ela irá se inserir na economia difere, e isso é relevante para compreensão da conjuntura. Mais especificamente para o caso do Brasil, é preciso lembrar que “a economia brasileira não ingressou de forma dinâmica na Revolução Industrial 3.0” (VIEIRA; OURIQUES; AREND, 2020, p. 20), que foi a revolução por volta dos anos 1970 e esteve muito ligada ao papel do computador, o que possibilitou uma armazenagem de dados e controle de processos produtivos (MOREIRA JR, 2020), ou seja, houve uma mudança qualitativa nos serviços de Tecnologia da Informação e Comunicação (TICs).

Cientes da revolução atual, diversos países já lideram o processo da revolução em curso há muito tempo, vide que Vieira, Ouriques e Arend (2021) demonstram em seu artigo: na Alemanha, onde surgiu o termo Indústria 4.0, já começou a discussão em 2011; o Japão elaborou planos para esse tipo de indústria em 2016 para formar a “Sociedade 5.0”; a Coreia do Sul já preparou o arranjo institucional ainda antes do século XXI mas em 2016 também lançou um projeto para se preparar para o novo mundo que surgia; em 2014, os Estados Unidos de Obama aprovaram um projeto no Senado para se preparar para a nova conjuntura que estava por vir, intitulada de “Manufatura Avançada”.; a França lançou em 2013 o “Nova França Industrial”, buscando ser líder de inovação no futuro; o Reino Unido lançou em 2017 o projeto de inovação industrial para guiar seu governo; por fim, a China lançou o projeto *Made in China 2025* com objetivo final de fazer o país ser a referência no setor de manufatura em 2049.

Para a nova realidade industrial, os países se inseriram de maneiras distintas - dado às políticas e a conjuntura global para cada nação -. No caso brasileiro, Moreira Junior (2020) e Vieira, Ouriques e Arend (2020) bem observam que o Brasil se intensificou nos produtos de mão de obra e recursos naturais, na produção de *commodities*, e há anos se afasta da industrialização de alta densidade tecnológica, ao passo que a nova conjuntura exige exatamente uma indústria de ponta para poder acomodar a tecnologia incorporada.

Somado a todo esse papel que as nações desempenham no mundo, uma gama de produtos soma ao debate: os semicondutores, que poderiam ser chamados de indústria das indústrias pois por chips, com vários componentes dentro dele, são feitos processamento de dados e armazenamentos (CEITEC, 2021). Através dos chips e demais produtos semicondutores há um ramo de alto potencial para gerar vantagens competitivas aos países, dado o ritmo das inovações geradas. Sendo a força motriz da evolução essa integração dos variados componentes semicondutores em um único produto: o circuito integrado (CI) - também chamados de chip - e traz as mais variadas possibilidades de utilização (GUTIERREZ; LEAL, 2004). Freeman e Perez (1988) mostram haver inovações (mudanças tecnológicas) que promovem mudanças que afetam algumas empresas, outras mudanças que afetam setores da economia, mas o caso dos chips é dos casos que mudam a economia, os efeitos são de tal abrangência que afetam mais do que um setor ou segmento. Estes são os casos das mudanças de paradigmas tecno-econômicos, e o seu fator-chave são os CIs.

A importância dessa indústria pode ser medida pelo impacto nos demais ramos, visto que a influência que ela tem “sobre a produtividade de todos os demais setores da economia, uma vez que a crescente capacidade de processamento e armazenamento foi acompanhada por custo decrescente” (FILIPPIN, 2020, p. 109). Portanto o insumo fica mais acessível para o amplo uso. Esta queda se dá porque através da mudança de paradigmas ocorre uma mudança na estrutura de custos relativos dos possíveis insumos da economia (FREEMAN; PEREZ, 1988).

Em relação ao valor, o impacto do mercado da indústria de semicondutores é num valor acima de US\$500 bilhões e empresas do ramo, como a Taiwan Semiconductor Manufacturing Company (TSMC) e a NVIDIA, figuram entre as empresas com maior valor de mercado do mundo.

Diferentemente dos grandes players globais, o Brasil tem uma atuação modesta no ramo dos semicondutores. Arend e Fonseca (2012) apresentam que os neo-schumpeterianos relacionam a não inserção dos países de forma dinâmica na atual revolução tecnológica está fortemente relacionado tanto ao nível de desenvolvimento, quanto para o atraso tecnológico e para o baixo dinamismo de longo prazo das economias nacionais. No caso brasileiro, Viera, Ouriques e Arend (2020) já apresentam que o país ingressa de forma pouco dinâmica na revolução anterior (terceira revolução) e os dados a seguir apresentam não haver grande avanços no ramo de semicondutores (parte da Quarta Revolução Industrial), que para Carlota Perez (2009) é central na atual revolução tecnológica vigente: tanto o papel dos CIs como dos microprocessadores.

No Brasil, havia 42 instituições atuando nas mais diversas etapas da cadeia de semicondutores (FILIPPIN, 2020). Em valores, a expectativa segundo a ABISEMI - Associação Brasileira da Indústria de Semicondutores - (2020) era que o setor fechasse o ano de 2020 com crescimento de 4% a 5% acima do ano anterior, quando faturou R\$3 bilhões. Em comparação, o mundo fechou 2020 com faturamento na casa dos US\$436 bilhões. Portanto, a indústria brasileira é ainda incipiente em comparação à realidade global.

O setor de semicondutores é peça chave da Indústria 4.0. É um setor que fomenta o dinamismo da economia e será vital às indústrias. Para compreender como o mundo está lidando e como integra esta revolução tecnológica, este trabalho propõe uma investigação em cima da seguinte questão: qual o formato da estrutura contemporânea da indústria mundial de semicondutores na Indústria 4.0?

Posto que os dados recentes mostram que a economia brasileira ingressou de modo pouco dinâmico na Terceira Revolução Industrial (VIEIRA; OURIQUES; AREND, 2020) e sendo que a dado ponto a quarta revolução é uma intensificação da terceira, a hipótese de trabalho é a de que a dinâmica inovativa no setor de semicondutores vem se intensificando de maneira acelerada na economia mundial, e que sua estrutura se mantém altamente concentrada em um número reduzido de players internacionais. Nessa dinâmica, os países periféricos manterão seu atraso tecnológico e produtivo.

Para desenvolver o trabalho, no primeiro capítulo é apresentada uma breve descrição da Indústria 4.0 e do ramo dos semicondutores. Na primeira parte se desenvolve através de uma introdução contendo o histórico do ramo até os dias atuais, seguido pelos objetivos do estudo e da justificativa do trabalho. A última parte dentro desse capítulo apresenta a metodologia do TCC, traz as características de ser de natureza que explora o campo da ciência aplicada, com objetivos de ser pesquisa exploratória, usando de abordagem qualitativa e quantitativa e procedimentos através de pesquisa bibliográfica

O segundo capítulo apresenta um estudo sobre as revoluções tecnológicas até chegarem à Quinta Revolução Tecnológica, isto é, a revolução atual. Aqui é apresentado tanto pela ótica de revoluções tecnológicas quanto por revoluções industriais, sendo a Indústria 4.0 a atual, que pode ser interpretada como uma intensificação do progresso inovativo da Quinta Revolução Tecnológica. Para prosseguir o estudo, também é feita a categorização da categoria Indústria 4.0 e passada ao estudo da indústria de semicondutores, analisando o processo produtivo e o detalhamento das etapas da cadeia.

No terceiro capítulo é feito um estudo dos dados da indústria dos semicondutores. Para prosseguir através dele são apresentados conforme os resultados dos países e empresas

perante o faturamento, as vendas e o comércio internacional. Seguido pelo estudo dos *players* globais, numa análise detalhada dos valores de faturamento, no valor das empresas do *market cap* e das receitas. Finalizado com os desafios globais que se erguem perante as indústrias do ramo.

Por fim, são feitas as considerações finais acerca do tema e dos resultados obtidos após o estudo.

1.2 OBJETIVOS

Para esta seção será apresentado o objetivo geral do trabalho e em seguida os objetivos específicos a serem atendidos.

1.2.1 Objetivo geral

Compreender a estrutura da indústria mundial de semicondutores e o desempenho dos principais *players* globais.

1.2.2 Objetivos específicos

- Descrever as revoluções tecnológicas mundiais até a chegada da Quinta Revolução Tecnológica, aproximando o conceito de Indústria 4.0 com a abordagem neo-schumpeteriana de paradigmas tecno-econômicos;
- Discorrer sobre os conceitos e processos produtivos da indústria de semicondutores;
- Discutir as características essenciais da indústria mundial de semicondutores.

1.3 JUSTIFICATIVA

O ramo dos semicondutores é um tema antigo no mundo. Em 1947, os transistores foram criados por físicos norte-americanos, nos anos 1960 a indústria já estava operando-tendo empresas como a Motorola e Fairchild Semiconductors-e nos anos 1980 já somavam mais de 65 empresas. Por volta dos anos 1980 também é quando o Japão assume a liderança mundial dessa indústria, retomada pelos EUA nos anos 1990-quando também emergem as empresas sul-coreanas no mercado (FILIPPIN, 2020).

No Brasil, Filippin (2020) demonstra serem dois momentos distintos: *i)* nos anos 1970, quando o mundo falava desse tema e o Brasil também dava seus passos, implementando políticas nos anos 1980, porém logo foi deixado de lado; *ii)* o retorno da importância da temática por volta dos anos 2000.

No decorrer dos anos de 1970 vários países começaram a entrar nesta cadeia e o Brasil foi um deles, mas como mostra Filippin (2020) logo foi descontinuada e deixada de lado, os

dados da autora mostram que os anos de 1980 havia mais de 20 firmas no Brasil, porém mais focadas em montagem final e testagem, sendo que a Secretaria Especial de Informática (SEI) selecionou 3 grupos nacionais para serem apoiados: Docas (fundou a empresa Elebra Microeletrônica), Itaú (fundou a Itautec Componentes) e Sharp (fundou a SID Microeletrônica). A ideia é que elas focassem na elaboração dos CIs, mas apenas a SID conseguiu realizar um ciclo completo no país, hoje em dia as três empresas não têm mais atividades (MELO; RIOS; GUTIERREZ, 2001 *apud* FILIPPIN, 2020).

No segundo momento, foram feitos e implementados planos e projetos para o setor passasse a ser considerado como estratégico, de modo que o país apresentou certo grau de evolução (FILIPPIN, 2020)

Para a Indústria 4.0, mais especificamente no ramo de semicondutores, há países fazendo as conexões entre grandes quantias monetárias, grandes industriais e a universidade, a fim de achar um novo produto que os traga à liderança e possibilite um novo monopólio tecnológico, assim possibilitando a exploração da descoberta e obtendo sozinho os ganhos do novo produto descoberto por mais tempo, conforme Moreira Junior (2020) defende.

Desta forma, a Quarta Revolução Industrial - e mais especificamente a indústria de semicondutores - é de vital importância para entender a dinâmica que cada país desempenhará neste novo momento. Essa indústria é essencial para o funcionamento de grande parte das descobertas atuais: para os robôs que auxiliam as tarefas domésticas, para os robôs que auxiliam as empresas, para os computadores conseguirem processar o *Big Data*, para a construção e execução da IA, para os carros autônomos e afins.

Para a indústria brasileira, é de vital importância também comprar esse produto, pois muito do que é produzido e consumido aqui também levam chips - ou outros dispositivos. Um exemplo simples são os carros: diversas linhas de montagem do setor tiveram que ser paradas ou readaptadas para poder seguir a produção devido à ausência de chips no mercado, é o caso do Reino Unido onde a produção de veículos foi 29% abaixo do nível pré-pandêmico, sendo que uma das causas da redução na produção é a falta de chips semicondutores no mercado (CARROLL, 2020). Assim, um conglomerado de indústrias que consigam suprir a demanda e as eventuais ausências desse componente é de grande valia.

Das empresas mais atuais no Brasil, o trabalho de Filippin (2020) mostra uma relação de 39 empresas atuantes no país. Dentre elas, são 12 *design house* (DH), 15 firmas de *back-end*, 4 firmas *fabless* e 8 *integrated device manufacturers* (IDM) ou empresas *fabless with manufacturing capabilities*. Na seção sobre a indústria de semicondutores há uma parte sobre o processo produtivo, ali será desenvolvido o significado de cada modelo de negócio,

por hora é válido ter em mente que: DH são empresas focadas em design de chips, *back-end* são firmas de manufatura, *fabless* são empresas que fazem parte do processo de manufatura, IDM são empresas que fazem todo o processo produtivo e *fablite* são empresas que fazem o processo produtivo por completo, mas em alguns casos terceirizam a produção.

Entre as IDM ou *fabless with manufacturing capabilities* apenas a Ceitec é pública, as demais são empresas privadas com fins lucrativos. São elas: BrPhotonics, S4 Solar, Semikron, Sunew, Techno-Cells, TSA Microeletrônica e Unitec.

Para a BrPhotonics Produtos Optoeletrônicos S.A, há diversas notícias que havia encerrado suas atividades em 2018 após liquidar os ativos. No entanto, o CNPJ da empresa está ativo e tem como um de seus sócios a Idea!, empresa DH de Campinas. As demais estão ativas, com destaque para a Ceitec que no momento vive um debate sobre se irá ser liquidada ou não.

No ramo das empresas *fabless*, as quatro empresas ainda estão ativas e as 4 são do setor privado, com a diferença que duas não tem fins lucrativos: Santa Maria Design House, ligada à Universidade Federal de Santa Maria, e o Centro de Pesquisas Avançadas Wernher Von Braun; e duas tem fins lucrativos: SiliconReef e ExcelChip.

Para a ABDI, o modelo *fabless* é um ramo complexo de entrar, pois segundo eles em “países como o Brasil, com incentivo tardio à indústria de semicondutores, podem existir barreiras fortes para empresas do tipo *fabless* atuarem em mercados que propiciam ganhos elevados de escala.” (ABDI, 2014, p. 131).

Entre as empresas de *back-end*, há diversas empresas que não são brasileiras, além disso, todas da relação são empresas privadas com fins lucrativos. As puramente brasileiras da relação são: LC Eletrônica, Globo Brasil, Cromatek e BRC: Brasil Componentes. Também há as empresas brasileiras com parceria com algum outro país: Adata Integration (Brasil e Taiwan), Gigastone (Brasil e Taiwan), HI Micron (Brasil e Coreia do Sul). E por fim as empresas estrangeiras em território brasileiro: ViV Brasil (de Portugal), Smart Modular (EUA), Gemalto (Países Baixos), First Solar (EUA), Cal-Comp (Taiwan), BYD Energy do Brasil (China). A empresa HBS (High Bridge Semicondutores) que é dos Países Baixos tem situação cadastral inapta e a empresa Morpho (da França) está com a situação cadastral baixada.

Por fim, o ramo de DHs conseguiu estabelecer algumas empresas. Houve um apoio do PNM Design que contribuiu para a criação de um ecossistema fragmentado, e era composto por empresas com um número reduzido de colaboradores. Outro grande incentivador foi o programa “Programa CI-Brasil”, que em 2014 contava com 22 empresas parceiras, sendo dos

mais variados modelos de negócios que envolviam design de chips (ABDI, 2014; FILIPPIN, 2020).

Ainda assim, a ABDI (2014, p. 137) conclui que:

Em geral, os benefícios econômicos e financeiros provenientes das estratégias diversas adotadas pelas design houses foram baixos e inconstantes, imperando lógica baseada na sobrevivência frente a uma dinâmica de mercado bastante adversa.

Entre as empresas, há muitas que têm relação com o governo ou não apuram lucro. O CPqD, Instituto Eldorado, LSI-TEC e Senai Cimatec são instituições privadas sem fins lucrativos. A Chipus Microeletrônica, DFChip, Idea! Electronic Systems, NXP e Perceptia, são empresas privadas com fins lucrativos. Dentre elas, a Perceptia não foi encontrada informação se ainda atua no Brasil e a NXP saiu do país em 2021.

Por fim, há as instituições públicas: Lincs – Centro de Tecnologias Estratégicas do Nordeste; e a CTI.

Apesar do elevado número de empresas de *back-end* e DHs no país, os dois setores não bastam para o desenvolvimento do ecossistema, é preciso que se tenha mais agregação de valor bem como mais empresas nos variados ramos. Melo, Rios e Gutierrez (2001) salientam a importância de que o investimento não seja somente nas DHs e no *back-end*, pois só elas não garantem a resolução dos desequilíbrios da balança comercial do segmento. Além disso, os autores salientam que o processo físico-químico (chamado de difusão) é o que representa a maior parcela de valor agregado.

Portanto, no caso brasileiro o setor ainda enfrenta dificuldades no estabelecimento, as indústrias não suprem a demanda do país - que demanda cada vez mais chips e componentes semicondutores -. No entanto, a dificuldade sentida pela escassez do produto não é um problema que só é percebido no Brasil. Os CIs estiveram em falta em decorrência de eventos naturais extremos e disputas políticas (CNN, 2020). Portanto o tema é muito atual e não há indicativo de sair do dia a dia nos próximos anos, visto que a Indústria 4.0 é uma realidade.

Gradualmente, começam a aparecer mais trabalhos sobre a temática. A oportunidade deste trabalho é de poder trazer um olhar atualizado para o desempenho e a dinâmica desta indústria, como também para o contexto socioeconômico mundial dela. A produção por si só do produto não é a única variável importante à análise, senão a análise dos países que decidem produzi-los, onde produzir, para quem vender e de onde comprar.

O que possibilita a viabilidade do estudo é são os dados e pesquisas que começam a surgir do tema, portanto é possível mapear e ver com mais profundidade os resultados dos *players* do mercado. No entanto, há de se falar que para realidade brasileira faltam fontes de

dados, estudos atualizados e órgãos para centralizar informações, a própria ABISEMI está com o portal desatualizado.

Conclui-se que esta pesquisa tem o potencial de auxiliar no avanço do estudo sobre a produção de semicondutores, sendo que a primeiro momento pode servir como esclarecedor de possíveis dúvidas sobre a temática - que por vezes pode parecer (e ser) complexa - para qualquer leitor interessado em compreender o que está mudando na economia, mas também é uma contribuição para a temática que está emergindo.

1.4 METODOLOGIA DA PESQUISA

Para esta seção, será apresentada a metodologia a ser seguida no trabalho. Como a própria origem do nome sugere, o método é o caminho a ser seguido para atingir um objetivo, portanto neste capítulo será discorrido sobre como se classifica o trabalho em relação a sua natureza, sobre seus objetivos, referente à abordagem e seus procedimentos.

Após ser definido perante as classificações, será apresentada uma breve explicação sobre a linha teórica do estudo, a fim de mostrar sobre quais pressupostos este trabalho se ergue, para em seguida mostrar as fontes das informações usadas para elaboração deste.

1.4.1 Definição da estratégia metodológica

Esta seção tem por propósito dar o direcionamento do trabalho bem como seus limites, apresentando como o trabalho se adéqua à categorização e como ele pretende ser desenvolvido para chegar aos seus objetivos.

Por princípio, é de grande utilidade apresentar a importância do método para o trabalho. Segundo Prodanov e Freitas (2013, p. 24): “Podemos definir método como caminho para chegarmos a determinado fim”. Além disso, os autores afirmam que é o conjunto de operações e processos a serem empregados na investigação.

Ao verificar a proposta de construção deste trabalho, é possível também discorrer sobre como ele se encaixa em relação a classificações de pesquisa, mais especificamente quanto à natureza, objetivos, abordagem e procedimentos.

Quanto à natureza, é um trabalho que explora o campo da ciência aplicada. Aqui, o estudo se legitima por conhecimentos previamente bem fundamentados por campos da ciência econômica e então parte para a construção de conhecimento específico sobre um momento em que a economia vive. Assim, vislumbra a resolução de um problema singular e direcionado do campo de estudo.

Quanto aos objetivos do trabalho, a pesquisa pode ser exploratória, descritiva e explicativa - sendo que as três não são excludentes -. Para este trabalho, a proposta é de um estudo de um campo que ainda está se estabelecendo: a Indústria 4.0 ainda é um tema recente, mas que já ganha muita atenção. Desta forma, o trabalho visa ampliar o campo de estudo, assim como apresentar tendências e hipóteses, portanto é amplamente identificada com a pesquisa exploratória.

Quanto à abordagem, o crivo é feito entre pesquisas qualitativas e quantitativas. Para este trabalho não será aberto mão da utilização do ferramental estatístico: ele é útil para deixar a compreensão da conjuntura do momento mais viável. Ainda assim, a pesquisa tem um viés mais qualitativo pois busca compreender relações entre países, o desenvolvimento da indústria de semicondutores e suas características.

Quanto à classificação perante o procedimento conclui-se que o que mais se encaixa é a pesquisa bibliográfica, para elaborá-la: “é feita com base em textos, como livros, artigos científicos, ensaios críticos, dicionários, enciclopédias, jornais, revistas, resenhas, resumos” (PRODANOV; FREITAS; 2013, p. 57). De modo que o estudo será elaborado a partir das referências mais recentes, buscando produzir um estudo atualizado.

Quanto à linha de pensamento econômico, para este trabalho o estudo é feito com enfoque na Quarta Revolução Industrial (ou Indústria 4.0) para então partir para a Indústria de Semicondutores. Para embasar o estudo são usados conceitos ligados a schumpeterianos e neo-schumpeterianos, destacando o trabalho de Joseph Schumpeter - com seu enfoque no processo de inovação e desenvolvimento econômico -, Carlota Perez e Christopher Freeman, que estudam o processo disruptivo e inovativo do capitalismo que evolui por meio de ondas disruptivas de tecnologia, os quais promovem um novo formato de viver e produzir, sempre permeado com um fator-chave. Para a Indústria 4.0 é o caso do chip semicondutor.

Posto isso, é possível avançar à terceira parte. O caminho percorrido pelo trabalho é por revisões bibliográficas sobre a Indústria 4.0, passando para o caso da indústria de semicondutores e então o desempenho de países dela.

Para a Indústria 4.0, há uma bibliografia internacional para conceituar o movimento, com trabalhos de Hermann, Pentek e Otto (2015) e de Neugebauer et al. (2016), como para apresentar mais sobre ela e sua ascensão, isso centrado na bibliografia de Schwab (2016).

Para a indústria de semicondutores, será feita revisão dos estudos acadêmicos, mas a atualidade do tema pede informações mais recentes, então serão feitas revisões de notícias de jornais e revistas. Então são usadas reportagens de jornais estrangeiros como da CNN, EURACTIV, ASIA TIMES, bem como nacionais como da Folha de S. Paulo. Acrescido a

isso, são utilizados relatórios de órgãos e empresas, tal como WSTS, IC Insights, Semiconductor Industry Association (SIA), Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE).

Para o caso brasileiro, a realidade é mais complexa pois não há muito material disponível para embasar o estudo. Para tanto, será usada uma bibliografia em cima do trabalho de Filippin (2020) e relatórios como da Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI, 2011; ABDI, 2014).

Assim, o trabalho se desenvolverá tanto no acompanhamento de bibliografia (acadêmica ou não) como por tratamento e estudo de dados obtidos por fontes confiáveis sobre a temática. De modo que ao final seja possível apresentar hipóteses sobre as tendências das empresas neste ramo do mercado, além de poder somar ao debate sobre como foi o desempenho nacional nesse ramo.

2 AS REVOLUÇÕES TECNOLÓGICAS E A INDÚSTRIA 4.0

Para este capítulo, o objetivo é fazer uma revisão sobre as revoluções tecnológicas que o mundo passou. Para esta seção, será apresentado os conceitos das revoluções tecnológicas - da sua gênese ao seu esgotamento -, bem como o estabelecimento de um novo paradigma tecno-econômico.

Feito esta categorização inicial para deixar explícito os conceitos sobre os quais o trabalho se ergue, é passado para o paradigma da Indústria 4.0, também apresentado como Quinta Revolução Tecnológica. Neste segundo momento também se apresentam as tentativas de categorização do tema feitas por alguns autores.

Após a trajetória das revoluções tecnológicas e estabelecimentos de paradigmas terem sido expostos, seguido por categorizações da Indústria 4.0 e como ela está estruturada, o capítulo entra na temática dos semicondutores, um produto chave da Quinta Revolução Industrial. Portanto é apresentado o que ele é, a sua utilização e forma de produção.

2.1 AS REVOLUÇÕES TECNOLÓGICAS E OS PARADIGMAS

A compreensão do fenômeno da Indústria 4.0 e sua relação da economia pode ser relacionada ao estudo das revoluções tecnológicas que a sociedade experimentou ao longo da sua existência. Notavelmente o estilo de vida da civilização se transformou no transcorrer dos séculos, novos hábitos foram adquiridos, produtos foram postos de lado para que outros tomassem o seu lugar. Assim, a seguir será apresentado sobre as revoluções tecnológicas ao longo dos anos e sobre como se estabelecem os paradigmas.

As mudanças da forma de viver e de produzir estão relacionados ao conceito de revolução tecnológica, para Perez (2004, p. 8) a revolução tecnológica pode ser definida como: *“a set of interrelated radical breakthroughs, forming a major constellation of interdependent technologies; a cluster of clusters or a system of systems”*, indo mais aprofundando Perez (2004, p. 9) complementa:

A technological revolution can more generally be defined as a major upheaval of the wealth-creating potential of the economy, opening a vast innovation opportunity space and providing a new set of associated generic technologies, infrastructures and organisational principles that can significantly increase the efficiency and effectiveness of all industries and activities.

Junto à revolução tecnológica vem o estabelecimento de paradigma tecno-econômico. Para Freeman e Perez (1988, p. 47-48), o paradigma é:

a combination of interrelated product and process, technical, organisational and managerial innovations, embodying a quantum jump in potential productivity for all or most of the economy and opening up an unusually wide range of investment and

profit opportunities. Such a paradigm change implies a unique new combination of decisive technical and economic advantages.

Para além da combinação de produtos e processos, Freeman e Perez (1988) também apresentam o papel importante na mudança de paradigmas da dinâmica quanto à estrutura de custos dos insumos da produção. Para cada novo paradigma há um insumo chave (ou um conjunto de insumos), também chamado de fator-chave, que exercerá papel preponderante no novo paradigma. A *condição* de fator-chave do paradigma econômico é obtida quando três condições são satisfeitas: custos decrescentes; oferta com potencial de crescimento para atender as demandas por longos períodos; e potencial penetrante na economia, de modo que possa ser incorporado em novos produtos.

Há de se falar que a instalação de um novo paradigma tecno-econômico não é simples, antes de tudo ele acontece após ter vencido a batalha com o antigo paradigma. Vencido ela, então será possível se disseminar pelos países através de duas ondas distintas e de duas ou três décadas cada, conforme apresenta Perez (2004).

A primeira etapa seria a onda de instalação, que é quando após o *big-bang* ocorrer começa a difusão e as novas tecnologias chegam com novas redes industriais, novas infraestruturas e novas formas de produção. Após isso há um intervalo para o rearranjo econômico, que é uma etapa muito decisiva. Já a segunda onda é a da implementação, após implementado o paradigma então a nova forma de produzir é estabelecida e o novo modelo pode se tornar o padrão ótimo daquela economia.

Posteriormente ao estabelecimento de um novo paradigma, ele tenderá a se esgotar em determinado momento. Conforme Perez (2004) apresenta, chegará o momento que a economia o assimila ao estabelecer seu marco regulatório adequado, quando aprende a usar o potencial para seus próprios fins, o ambiente é facilmente capaz de implantar qualquer possibilidade de mudança compatível com o paradigma. O ambiente passa a filtrar as inovações compatíveis e incompatíveis com o seu paradigma, se fechando assim para inovações distintas ao paradigma vigente.

A autora é taxativa ao afirmar:

El potencial de un paradigma, independientemente de su poder, terminará agotándose. Las revoluciones tecnológicas y los paradigmas tienen un ciclo de vida de cincuenta años aproximadamente y siguen más o menos el tipo de curva epidémica característica de cualquier innovación. (PEREZ, 2004, p. 57)

Portanto, à medida que a revolução tecnológica chega na fase madura, vão surgindo menos indústrias e o mercado começa enfrentar saturação e retornos decrescentes de investimentos, a produtividade e o crescimento se sentem ameaçados, anunciando tanto a

maturidade da revolução como o esgotamento dela. E então um novo ciclo está a caminho, uma nova revolução a acontecer e uma nova mudança a estabelecer.

Nas novas mudanças tecnológicas que surgem para cada novo ciclo, Freeman e Perez (1988) propõem quatro classificações¹: inovação incremental, inovação radical, novo sistema tecnológico e mudança de paradigma tecnológico. As explicações dos autores para cada uma delas seguem abaixo.

Uma inovação incremental é aquela mudança que ocorre quase que corriqueiramente, não vem necessariamente de uma pesquisa, mas muito até da rotina e da melhoria na lida da operação, apesar de ser muito importante muitas vezes passa até sem noticiar.

A inovação radical tem relação com pesquisas para melhoria dos processos e produtos, estas revoluções são distribuídas temporalmente de uma maneira desigual, bem como não afetam todos setores na mesma magnitude, o impacto dela na economia na totalidade é mais local. Para esta etapa, Perez (2004, p.67) afirma que: “*a noção schumpeteriana de ‘destruição criativa’ expressa apropriadamente os efeitos de inovações radicais*”². Portanto esse tipo de mudança é feito por estudos para melhorar a forma de produzir ou determinado produto da economia, deixando obsoleta a antiga forma e propondo uma nova.

As mudanças no sistema tecnológico têm uma abrangência maior, ela afeta mais ramos da economia e ajuda a crescer novos. Aqui se combina tanto inovações incrementais como radicais, bem como na organização e na gerência, portanto impacta mais de uma firma.

Por fim, há a mudança de paradigma tecnológico. Como eles reportam, são mudanças carregadas de *clusters* de inovações incrementais e radicais e que os efeitos são tão grandes que afetam a economia na totalidade, seus resultados penetram ao longo de toda economia de modo que capacitam muitas vezes o surgimento de novos sistemas tecnológicos. Neste ramo, Perez (2004) é taxativa ao dizer que a revolução tecnológica se diferencia de um conjunto aleatório de sistemas tecnológicos, e o que as diferencia é que na revolução: *i)* há forte interconexão e interdependência dos sistemas participantes, junto de suas tecnologias e mercados; *ii)* há a capacidade de transformar profundamente o resto da economia e talvez a sociedade.

Nessas mudanças da forma de viver e se organizar, a sociedade já viveu várias revoluções e paradigmas. Para leitura disso, Schwab (2016) e Perez (2009) apresentam de

¹ Os quatro estágios são traduções livres, originalmente Freeman e Perez (1988, p. 45) escrevem: “*We shall distinguish between (1) Incremental innovation; (2) Radical innovation; (3) New technology systems; (4) Changes of techno-economic paradigms.*”

² Tradução livre, o original é: “*La noción schumpeteriana de ‘destrucción creadora’ expresa con propiedad los efectos de las innovaciones radicales*” (PEREZ, 2004, p.67)

diferentes pontos de vistas, para Klaus Schwab o mundo passou por três revoluções industriais e agora vivemos a quarta, para Carlota Perez o mundo viveu quatro revoluções tecnológicas e agora estamos na quinta. A visão dela está muito ligada à visão dos neo-schumpeterianos sobre a evolução histórica do capitalismo (AREND; FONSECA, 2012).

Conforme é apresentado abaixo, ambos trazem visões muito semelhantes e até equivalentes, o que os diferencia é o método para leitura do problema. A leitura de Carlota Perez está centrada no uso de fatores-chave para compreender as mudanças, ao passo que Schwab não está focando especialmente nisso.

Tanto se equivalem que ambos chegam no último estágio das mudanças que o mundo vive com o paradigma da microeletrônica mais aprofundado, isto é, o uso dos CIs e semicondutores nos produtos de maneira ampla.

Schwab (2016) apresenta da seguinte forma:

- A Primeira Revolução Industrial, estabelecida entre 1760 e 1840, e tem por grande consequência a invenção da máquina a vapor, que gerou a produção mecânica;
- A Segunda Revolução Industrial começou no final do século XIX e está relacionada à eletricidade e à linha de montagem, possibilitando a produção em massa;
- A Terceira Revolução Industrial começou na década de 60 do século XX, chamada por revolução dos computadores - ou dos TICs por outros autores - sendo impulsionada pelo desenvolvimento de semicondutores, da internet e da computação pessoal;
- A Quarta Revolução Industrial é o estamos começando a viver, iniciou na virada do século e se baseia na revolução digital. Está relacionada à internet móvel, sensores menores e mais potentes, que no que lhe concerne se utilizam aprendizagem de máquina (*machine learning*) e da inteligência artificial.

Na obra de Carlota Perez (2009) a autora traz as cinco revoluções pelo qual o mundo atravessou. São elas:

- A Primeira Revolução Tecnológica aconteceu majoritariamente na Grã-Bretanha, tendo por marco a abertura da fábrica de Arkwright sendo datada de 1771. O nome popular é de Primeira Revolução Industrial;
- A Segunda Revolução Tecnológica também acontece em território britânico, mas se espalha pelo seu continente e pelos EUA. É o movimento ocorre na área da máquina a vapor e das ferrovias pelo ano de 1829;
- A Terceira Revolução Tecnológica é marcada como a idade do aço, da eletricidade e da engenharia pesada. Desta vez, começou pelos EUA e Alemanha e espalhou para Inglaterra. O ano dela é 1875;

- A Quarta Revolução Tecnológica é do petróleo, do automobilismo e da produção em massa, o ano dela é 1908. Novamente os EUA e Alemanha estão no cenário, depois passou ao continente europeu;
- A Quinta Revolução Tecnológica é a atual. Agora é a era da informática e telecomunicações, começando pelos EUA e se espalhando para a Europa e Ásia, sendo a marca o ano de 1971 e o fato marcante é a abertura da fábrica de microprocessadores da Intel na Califórnia.

Nessa nova combinação de materiais e forças, conforme termo de Schumpeter (1997), então geram os novos ciclos de revoluções tecnológicas. Para o autor, a nova combinação extrai os meios de produção necessários de alguma combinação antiga, sendo assim um emprego diferente dos meios produtivos já ofertados no sistema econômico. E nesta forma de gerar novas combinações, é o que Schumpeter (1997, p.78) afirma: “o desenvolvimento consiste primariamente em empregar recursos diferentes de uma maneira diferente, em fazer coisas novas com eles, independentemente de que aqueles recursos cresçam ou não”, a raiz do desenvolvimento vem ao gerar novas combinações e gerarem uma descontinuidade.

Assim, o mundo recente tem se processado por ciclos de inovações, por revoluções tecnológicas que impactam a vida de todos agentes da economia. Mais recentemente, a revolução que estamos vivendo é a da Indústria 4.0. O fator-chave que agora se permeia na economia é o dos chips semicondutores, assim como o petróleo esteve em todos produtos que consumimos (e foi o fator-chave da Quarta Revolução Industrial) hoje em dia há o chip.

Perez (2009) afirma que a economia se abriu desenvolveu no entorno dos CIs para depois acontecer novos produtos, porém ainda assim interdependentes e interconectados. Pela ótica do Schwab (2016) notamos que a Quarta Revolução Industrial é de certa forma intensificação da terceira (apesar de o próprio autor apresentar críticas a isso, que será discutida na seção seguinte), o semicondutor ainda está no *hardcore* da revolução, porém agora ele tem novas aplicações, mais desenvolvidas e tecnológicas.

2.2 A CATEGORIZAÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0

O tema da Indústria 4.0 tem ganhado corpo nos últimos tempos apesar de ser um tema ainda muito recente. A categoria é outra definição para o termo Quarta Revolução Industrial, sendo que agora o foco é na navegação cibernética, mas ainda se validando de avanços da Terceira Revolução Industrial, quando houve um avanço da utilização dos computadores em processos (MOREIRA JR, 2020) bem como o avanço da microeletrônica. Apesar da crença de alguns tomadores de decisão, a Quarta Revolução Industrial não parece ser uma continuidade

linear da terceira, mas um rompimento. Isso baseado principalmente em três pilares: *i*) velocidade da mudança: ela evoluiu exponencialmente e não linearmente, consequência do mundo interconectado atual; *ii*) mais ampla e profunda, porque tem a revolução digital e a combinação das tecnologias, alterando não só o que é produzido, mas também quem produz; *iii*) alto impacto sistêmico, devido ao envolvimento com as transformações no sistema (e por afetar vários *stakeholders*) tanto na relação entre os países como dentro deles (SCHWAB, 2016).

A atividade de definir os princípios do tema ainda está sendo elaborada e sem uma resposta definitiva, para Schwab (2016, p. 14) ainda é preciso “compreender de forma mais abrangente a velocidade e a amplitude dessa nova revolução”. O autor vai além e apresenta que a categoria Indústria 4.0 é utilizada para designar a próxima revolução industrial e nasceu com o projeto do governo alemão, num termo feito para mostrar como será revolucionada a organização das cadeias globais de valor.

Na tentativa de afunilar a definição da categoria, após uma revisão bibliográfica foram apresentados os quatro componentes que a compõem: sistemas ciberfísicos, internet das coisas (ou *Internet of Things (IoT)*), internet dos serviços (ou *Internet of Services (IoS)*) e fábricas inteligentes (HERMANN; PENTEK; OTTO, 2015). De modo que a definição dos autores para a Indústria 4.0 é:

Industrie 4.0³ is a collective term for technologies and concepts of value chain organization. Within the modular structured Smart Factories of Industrie 4.0, CPS monitor physical processes, create a virtual copy of the physical world and make decentralized decisions. Over the IoT, CPS communicate and cooperate with each other and humans in real time. Via the IoS, both internal and cross-organizational services are offered and utilized by participants of the value chain. (HERMANN; PENTEK; OTTO, 2015, p. 11)

Por sistemas ciberfísicos, pode ser entendido como a obtenção de dados reais (mundo físico) por ferramentas como sensores e então a análise deles no mundo cibernético para achar soluções.

A IoT é a conexão dos aparelhos cotidianos com a internet, o que já testemunhamos no cotidiano: televisões com aplicativos conectados diretamente na internet, celulares com conexão remota, carros com informações em tempo real via internet ou ainda produtos que simulam um assistente, tal como a *Alexa* da Amazon. Mais adiante, há produtos mais robustos como maquinários empresariais.

Relacionado à IoT acontece a IoS. Por definição, seria o mundo online da prestação de serviços e está relacionado ao entorno do produto com internet conectado a ele, comumente o

³ Os autores usam “*Industrie 4.0*” ao invés de “*Industry 4.0*” pois é a tradução da palavra indústria para o alemão, país dos autores do artigo.

termo aparece mais relacionado ao mundo dos negócios, por isso Buxmann, Hess e Ruggaber (2009) afirmam que compõem a IoS os usuários, uma infraestrutura para os serviços, um modelo de negócios e o serviço propriamente dito.

Por fim, há as fábricas inteligentes. Talvez sejam os conceitos mais tangíveis da definição dos autores e de fácil imaginação. Quando pensamos em indústrias modernas, naturalmente passa pela mente a ideia de fábricas que se organizam sozinhas através de máquinas onde são necessários poucos funcionários. Aqui são os casos de fábricas com diversas tecnologias de produção, de gestão e organização, naturalmente os chips embarcados em máquinas bem como sensores de semicondutores ocupam um importante espaço.

Outro esforço para definição do conceito da Indústria 4.0 é feito por Neugebauer e colegas. Para Neugebauer *et al.* (2016) a criação do termo é feita para enfatizar a oportunidade de integração e digitalização de todas as etapas do sistema de agregação de valor, neste novo momento as informações estão disponíveis a todo momento, mas para isso, é preciso uma organização de todos recursos participantes - como os humanos, objetos e sistemas - onde devem estar organizados como um sistema agregador de valor que opere de maneira autônoma, dinâmica e organizada. Para eles, as chaves da Quarta Revolução Industrial são “*the digitization and real-time-oriented integration of all elements in a value-adding system*” (NEUGEBAUER *et al.*, 2016, p.3).

Já para Schwab (2016) é a revolução digital, com uma internet mais acessível, por sensores menores, mais baratos e poderosos, pela IA e por *machine learning*. O que a diferencia das demais é a ligação das tecnologias, é a interconexão entre o mundo físico, biológico e digital. Aqui, há um ponto de convergência entre Schwab (2016) e Hermann, Pentek e Otto (2015): a importância da interconexão do mundo online das redes (mundo ciber) e do mundo real (mundo físico) e como no novo paradigma tecno-econômico é dimensionado por isso.

Deste modo, a revolução em curso está disposta a mudar definitivamente a forma como a sociedade vive e se organiza, pois, a mudança estrutural é tanto na forma de consumir quanto de produzir. Para Perez (2009), cada novo sistema de tecnologia⁴ da sociedade não modifica somente o mundo dos negócios, mas também o contexto institucional e até cultural.

Na revolução tecnológica da Indústria 4.0, naturalmente os semicondutores assumem papel central porque fazem parte da esfera produtiva dos CIs. Seja qual for a definição adotada pelos autores, este ramo da indústria está diretamente conectado a ela.

⁴ Tradução livre para “*new technology system*”.

2.3 A INDÚSTRIA DE SEMICONDUTORES

Conforme apresentado acima, o semicondutor é parte central da Indústria 4.0, bem como é o fator-chave da quinta revolução industrial (FREEMAN; PEREZ, 1988). Portanto para esta seção será estudada a indústria dos semicondutores: o que são os semicondutores e os CIs, como são e o seu processo produtivo e sua importância.

Em primeiro, pode-se afirmar que a indústria de semicondutores é uma indústria base para as demais. O semicondutor:

é um material à base de silício que, por suas características de condutividade elétrica, passou a ser o elemento primordial da indústria eletrônica e da fabricação de componentes. Atualmente, a inclusão maciça de componentes eletrônicos em bens pessoais e o respectivo aumento do desejo e poder de compra da população em nível global têm se refletido em um acentuado crescimento na demanda global por semicondutores. (AITA, 2013, p.27)

Esta indústria está intimamente ligada à Indústria 4.0 e faz parte da cadeia produtiva de diferentes formas, porque além de utilizar os mais variados insumos para sua produção e realizar diversos processos físicos e químicos, ela também serve de base para os mais variados setores: *Internet of Things* (IoT), setor automotivo, setor de computadores e afins. Para a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) (2019), o semicondutor é o cérebro dos equipamentos eletrônicos modernos, sendo que há diversos semicondutores implantados num circuito impresso de um aparelho eletrônico, onde cada circuito desempenha a sua função específica. Para Mathews e Cho (2007, p.29): “*Integrated circuits (ICs) have grown in complexity so that what started as a single device - the transistor - now encompasses millions of devices embedded in a single piece of silicon*”

Os componentes semicondutores são das mais variadas formas, Filippin (2020) apresenta a divisão da seguinte forma: componentes discretos; CIs analógicos; CIs digitais; sensores e atuadores de temperatura, pressão, etc.; e optoeletrônicos. Segundo a OCDE (2019), os componentes discretos, sensores e optoeletrônicos representam menos de 20% do mercado dos semicondutores. O circuito integrado, no que lhe concerne, é a soma de vários componentes e é um símbolo dessa indústria.

2.3.1 O processo produtivo

Como o ramo desta indústria é muito amplo, a indústria de semicondutores tem várias etapas, onde as firmas se enquadram a fim de garantirem a produção em um ou mais elos dela. O objetivo desta seção é discorrer principalmente sobre a produção dos circuitos integrados (ou chips semicondutores), que é uma peça simbólica feita da junção de vários componentes.

As etapas podem ser apresentadas da seguinte forma, segundo Gutierrez e Leal (2004) e Filippin (2020):

1. A concepção do CI, pelo qual são definidas funcionalidades que o chip terá;
2. O projeto - ou o design - da peça;
3. O *front-end* do produto - que é na verdade a fabricação em si. Aqui, são efetuados os processos físicos e químicos do produto;
4. A etapa de *back-end*. Esta etapa é o encapsulamento e a montagem, o afinamento, o corte e os testes do componente;
5. Por fim, é prestado o serviço ao cliente.

É importante frisar que este processamento é apenas do chip, mas após o produto pronto para ser vendido ele integrará uma nova cadeia, como a venda para a indústria de *smartphones* e automotiva. Outras fontes apresentam formatos semelhantes, para a OCDE (2019) a estrutura produtiva se forma da seguinte maneira:

Figura 1 - As etapas da cadeia produtiva dos semicondutores



Fonte: OCDE (2019)

No entanto, ela não faz tantas diferenciações conforme Filippin (2020) e Gutierrez e Leal (2004), de modo que será seguido utilizando a abordagem apresentada por esses pesquisadores.

Na cadeia produtiva, as empresas vão se encaixando para se adequar ao modelo de negócio delas, conforme apresenta Filippin (2020) e Gutierrez e Leal (2004). Existem indústrias que realizam toda a etapa de produções listadas, para essas são chamadas de *integrated device manufacturers* (IDM). Duas instituições famosas são a Intel e a Samsung. Até os anos 1970, o modelo de negócio mais comum era o de IDM, terceirizando no máximo o processo de *assembly, testing and packing* por uma subsidiária no exterior (DENG; DENG; 2022).

Existem as indústrias chamadas *fabless*, na tradução livre seriam as indústrias “sem fábrica”. Elas detêm a marca e realizam toda a concepção do produto, exceto a etapa que

envolve propriamente a manufatura, esta é terceirizada. A fabricação do produto da *fabless* fica por conta da parceria com a *dedicated foundry*, este segmento realiza somente os processos físicos e químicos (e são muitos). Duas empresas famosas do elo da fabricação são de Taiwan: Taiwan Semiconductor Manufacturing Company (TSMC) e United Microelectronics Corporation (UMC). Um modelo de negócio que se assemelha a esse modelo é o das *fablite*, que realizam parte da produção dos CIs e outra parte (de outra geometria) terceirizam.

A relação das *fabless* com as *foundries* é o que Deng e Deng (2022, p. 8) definem como uma relação ganha-ganha:

Essa divisão promoveu o caso de *win-win situation*, uma vez que possibilitou que as *fabless* reduzissem os custos e riscos associados ao aumento crescente dos custos fixos das plantas de manufatura para focarem em segmentos produtivos de maior valor adicionado, enquanto as *foundries* se beneficiariam através de economias de escala e aprendizado, por possibilitarem atender inúmeros clientes *fabless* simultaneamente.

Outro ramo é o das firmas especializadas em encapsular o semicondutor, portanto atuam no *back-end*. Por fim, há as empresas que são as *design houses* (DH), que tratam de projetar CIs, mas não assinam a autoria, e as empresas focadas na propriedade intelectual, focadas no desenvolvimento de células específicas e que as licenciam a terceiros, tendo sua remuneração por *royalties*.

Um detalhe em termos de cooperação das indústrias integrantes da cadeia de produtos é haver uma cooperação entre as DHs e as *foundries*, dado que ambas são de alto nível de especialização técnica (ERNST, 2005 apud AITA, 2013).

Assim, o investimento na indústria de semicondutores traz o adensamento da cadeia e pode suprir a demanda interna por componentes, além disso, o investimento neste setor pode ofertar qualificações aos seus entornos, sejam nos ganhos de produtividade e de inovação, seja na qualificação da mão de obra. No entanto, o investimento não é nada curto-prazista (GUTIERREZ; LEAL, 2004). O caso da indústria norte-americana, apresentado por Filippin (2020) retrata bem isso: os EUA investiram fortemente no setor a fim de recuperar a liderança do produto, que fora ameaçada pelo Japão e pela Coreia do Sul nos anos 1980 e 1990. Parte do sucesso se deve ao apoio via Department of Defense (DoD), Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) e o conglomerado de universidade e empresa chamado Semiconductor Manufacturing Technology (SEMATECH), que fizeram vultosos investimentos e demandam produtos, além do papel ativo do Governo no ramo (MAZZUCATO, 2014).

Estes investimentos se materializam num mercado concentrado, conforme a OCDE (2019) apresenta. Em 2018, o mercado atingiu o montante de US\$470 bilhões, haviam 20 firmas dominando 80% dele, sendo que metade da receita global era dominada por apenas 5 firmas: Samsung (Coreia do Sul), Intel (Estados Unidos), SK Hynix (Coreia do Sul), Micron (Estados Unidos) e Broadcom (Singapura). As firmas menores ficam nos estornos para realizar serviços específicos à cadeia, de modo que o ecossistema empresarial também se beneficia.

Ainda há a questão da concentração quando localização geográfica da indústria. Um exemplo, que concorda com o que foi dito acima, é sobre como duas das maiores *dedicated foundry* do mundo são taiwanesas, sendo a Ásia uma região geográfica composta por grandes empresas deste elo. Conforme OCDE (2020, p. 21) apresenta:

With the notable exceptions of GlobalFoundries (United States), TowerJazz (Israel), and X-Fab (Belgium), all major contract foundries are based in Chinese Taipei, China, and Korea. TSMC (Chinese Taipei) alone accounted for a staggering 54% of the estimated global foundry market in 2018 while the top 10 firms together made up as much as 87% of global sales.

Vale destacar que os países asiáticos tiveram sua entrada principalmente pelo *back-end* e depois migraram para o *front-end*, com exceção do Japão que fez uma entrada por design de chips.

Apart from Japan, all the East Asian countries have made their entry into the sector via the last step in the value chain, namely the packaging of chips, since this is (or rather, was) the most labour-intensive, and the step where least value was added. Their goal in every case was to move 'up' the value chain from 'back-end' packaging and testing to 'front-end' wafer fabrication and the associated activities of mask production, wafer production, and supply of specialised materials and equipment. (MATHEWS; CHO, 2007, p.38)

A intenção de migrar para o *front-end* é porque o elo de manufatura dos chips está muito direcionado à maturidade industrial dos países, visto que todos países mais desenvolvidos no ramo têm efetiva manufatura do CI. Além do mais, estas fábricas de manufatura a fábrica geram maior valor agregado, dado que geram mais empregos, faturam mais, têm maiores margens operacionais, e atraem as demais etapas da cadeia (GUTIERREZ; LEAL, 2004).

Para manter e sustentar o ramo da manufatura dos chips, é demandado fortes injeções de capital, por isso é um elo tão intensivo em capital, ao passo que os mercados de montagem, teste e embalagem dos chips são menos intensivos, mas não menos concentrados, são etapas da cadeia também dominadas por países asiáticos e os Estados Unidos (OCDE, 2019).

Mesmo que em menores montantes, as demais etapas da cadeia global de valor são permeadas por altos investimentos pecuniários. Por sua complexidade e densidade tecnológica

na elaboração e utilização, a indústria de semicondutores tem uma cadeia de valor diversificado e ampla. Segundo a OCDE (2019, p. 7) a cadeia de valor dos semicondutores: “*is complex and global in scope: not only is the production of semiconductors one of the most R&D-intensive activities, but it also spans a significant number of specialised tasks performed by different companies around the world*”.

Por ser uma atividade complexa, a necessidade de investimento e estudo também é alta. Os dados da McKinsey and Co. (2017) apresentados no trabalho da OCDE (2019) mostram que participação de P&D na receita de empresas para o ramo de semicondutores chega próximo aos 16%, ficando na frente de ramos como farmacêutica e biotecnologia (cerca de 15%), software e serviços de computador (10%), e demais tecnologias *hardware* e equipamentos - sem contar semicondutores (próximo de 8%).

Há casos de crescimento de gastos em P&D acima dos dois dígitos por longos períodos, Cho, Kim e Rhee (1998) apresentam o caso da NEC (Japão), que ao longo dos anos 1970 teve crescimento de 21% ao ano e ficou próximo aos 19% ao ano ao longo dos anos 1980.

Já para a constituição de uma fábrica o investimento a preços de 2011 variava entre US\$5 e US\$50 milhões para *design houses*, entre US\$500 milhões e US\$5 bilhões para uma fábrica, e US\$ 50 milhões e US\$ 500 milhões para uma firma de encapsulamento e testagem. Além do montante em dólar, há os diversos os desafios tecnológicos e o procedimento de alta complexidade (ABDI, 2011) para estabelecer e dar prosseguimento na operação das firmas. Em termos de P&D - atividade presente no dia a dia delas - são envolvidos diversos *sunk costs* ao longo dos anos, sem necessariamente uma segurança que o investimento irá ser rentável (OCDE, 2019).

Apesar do gasto, os grandes *players* do mercado atravessam estes percursos para chegar na liderança do setor, seja a China, EUA, Taiwan ou Alemanha. A perspectiva inclusive não é desacelerar o investimento, mas alavancar eles, a exemplo da TSMC que tem planejamento de investir US\$44 bilhões em capacidade de expansão no ano de 2022 após ter destinado US\$30 bilhões em 2021. (TING-FANG; LI, 2022).

Além dos benefícios produtivos, a instalação da indústria no país pode trazer grandes retornos positivos para a balança comercial, dado a oferta restringida do produto e a demanda crescente, bem como traz a chance de reduzir custos para os insumos de outras firmas (principalmente de bens finais).

3 DINÂMICA DA INDÚSTRIA DE SEMICONDUTORES NO MUNDO

A indústria de semicondutores é um ramo que envolve bilhões de dólares. Dada a sua complexidade e potencial de encadear demais atividades, as firmas de chips proporcionam altos valores em vendas. Neste capítulo, o objetivo é fazer uma análise da dinâmica da indústria de semicondutores no mundo, com enfoque em alguns momentos nos produtos em geral e em outros com foco apenas nos chips.

Será apresentada a primeiro momento uma seção sobre o histórico da indústria em países com muita presença no ramo, contando o histórico da gênese e desenvolvimento industrial. Após isso, será feito uma análise de desempenho global no ramo com base em três fatores: faturamento, vendas e comércio internacional. Para esta parte pode ser feito tanto por países quanto por empresas, quando houver dados disponíveis.

Por fim, há a seção da análise dos grandes atores globais da indústria, para tanto serão apresentadas sob diferentes óticas as realidades das principais firmas do segmento, como sob ponto de vista de faturamento, receita, vendas e valor *market cap*. Após a sua apresentação, também é feito uma seção final apresentando alguns dos desafios que os *players* têm enfrentado no ramo.

3.1 O HISTÓRICO DA INDÚSTRIA DE SEMICONDUTORES

Em termos históricos, a indústria se desenvolveu de maneira desigual no mundo. É válido lembrar que o ramo dos semicondutores envolve altos montantes de capital e isso por si só já é uma barreira de entrada. Além do mais, aos entrantes do mercado atual se deparam com um mercado concentrado (OCDE, 2020).

Em termos de desenvolvimento histórico dessa indústria, podemos notar que os países que se destacam na indústria são basicamente 5: Estados Unidos, Japão, Coreia do Sul, Taiwan e recentemente a China. São nesses quatro países que abrigam grande parte das indústrias, tendo visivelmente uma forte presença asiática, prova que a indústria leste asiática entrou no mundo dos semicondutores não como um participante marginal, mas sim como participante central tanto na produção como no consumo, investimento e comércio (MATHEWS, CHO, 2007).

Para além dos asiáticos, algumas das grandes indústrias se espalham pela Europa, como na Alemanha - com a empresa Infineon -, Suíça - através da ST -, e Países Baixos - pela empresa NXP -.

Apesar da localização geográfica, a cadeia dos semicondutores é complexa e ampla - conforme dito acima - portanto é comum o intercâmbio de conhecimentos principalmente na

época pré-competitiva (OCDE, 2020) bem como a terceirização de produção, tanto que um dos formatos de negócios adotados é o das *fablites*.

Esta seção tem por objetivo apresentar brevemente o desenvolvimento da indústria em países com grande presença no ramo de semicondutores, passando pela história da indústria de cada local. Aqui, é tratado a indústria de maneira ampla, não focando só em CIs, conforme em seções anteriores.

3.1.1 Os Estados Unidos

Se olhar pelo espectro do desenvolvimento ao longo da história, a história das indústrias de chips confunde-se com a história da indústria norte-americana. O início está ligado no Bell Telephones Laboratories (criado em 1925) pela American Telephone & Telegraph Company, inicialmente o enfoque era em cima de produtos relacionados a telefones. Após desentendimentos, William Shockley saiu da equipe (em 1953) e rumou à Califórnia, mais especificamente no Vale do Silício, para fundar a Shockley Semiconductor Laboratory visando produzir transistores de silício (FILIPPIN, 2020).

Com um comportamento paranoico de Shockley, logo a equipe não aguentou mais e decidiu migrar para uma nova empreitada, agora para integrar a Fairchild Camera and Instrument, a empresa que abrigou os “oito traidores” - como foram apelidados pelo seu ex-chefe - e tinha um enfoque mais nos equipamentos fotográficos. Uma grande vantagem dessa firma era a de ter uma demanda através de contratos estabelecidos com os militares norte-americanos. Após negociações com a empresa, em 1957 foi criada a Fairchild Semiconductor, que tinha como meta o desenvolvimento de transistores de silício. Anos depois, eles migraram dessa empresa e criaram as mais diversas firmas do ramo, tais como Intel e AMD (FILIPPIN, 2020).

Para compreender a gênese estadunidense no ramo, não se pode passar por ela sem mencionar o papel que o governo desenvolveu lá. Um dos grandes parceiros das firmas nos Estados Unidos era o setor governamental como cliente na área de tecnologia, o que dava gás para seguir o trabalho. E assim foi também com os chips, Mazzucato (2014) apresenta as iniciativas tomadas pelo Governo para o desenvolvimento do ramo, como, por exemplo, na década de 1970 quando a DARPA toma frente dos dispêndios do laboratório da Universidade do Sul da Califórnia na criação de protótipos, possibilitando a pessoas com projetos irem até lá e produzirem seus chips.

Outro setor governamental importante ao desenvolvimento da indústria foi o DoD, por financiamentos das indústrias nascentes de eletrônicos e microprocessadores, a fim de

fomentar tanto o poderio militar quanto desenvolver o ecossistema de inovação e comercialização. Através da demanda para grandes projetos tal como o *Minuteman II*, houve grandes períodos de avanço e conseqüentemente barateamento de tecnologias (MAZZUCATO, 2014). Dessa época até os dias atuais permanece a presença do Estado como compradores dos chips, a diferença é que atualmente a demanda fica entre 1% e 2% das vendas a destinatários finais (OCDE, 2020).

Com a emergência asiática principalmente dos anos 1980, os norte-americanos começaram a perder a sua liderança no segmento. Em nome principalmente do Japão e posteriormente da Coreia do Sul o país começou a perder a corrida. Segundo Gordon Moore, o cofundador da Intel Corp., os dados compilados da época mostravam que em termos de produtividade de mão de obra direta, as indústrias japonesas eram cerca de duas vezes maiores que a norte-americana, ao passo que na produtividade indireta eram sete vezes maiores, uma das causas era que os americanos empregavam mais trabalhadores e engenheiros. Os dados também mostravam que quando as empresas dos EUA e do Japão usavam os mesmos equipamentos, os japoneses produziam entre 2 e 3 vezes mais *wafers* por unidade de tempo (MOORE, 2003).

Como a perda de liderança aos japoneses, os EUA começaram a estabelecer políticas mais agressivas para retomar a liderança do segmento - que era dado como estratégico. Dentre as medidas, estão a elaboração do Strategic Computing Initiative (1983 até 1993) e a SEMATECH (1987), consórcio onde foram investidos mais de 100 milhões de dólares por ano (MAZZUCATO, 2014; MOORE, 2003) e segundo Moore a meta primária da SEMATECH era aumentar a qualidade e a produtividade da indústria americana (MOORE, 2003). Além disso, Deng e Deng (2022) mostram que os Estados Unidos estabeleceram o Acordo de Plaza (1985) e US-Japan Semiconductor Trade Agreement (1986) como política de guerra comercial contrária à indústria japonesa, e que realmente enfraqueceu-a posteriormente.

Por fim, nos anos 1990 os Estados Unidos voltaram a figurar no topo da indústria e assumiram grande parcela do mercado de semicondutores no mundo.

3.1.2 Japão

Por volta dos anos 1960, também entram no setor as empresas japonesas. Elas vieram a se tornar uma potência no ramo por volta dos anos 1980, ou mais especificamente em 1986, segundo Cho, Kim e Rhee (1998). Os autores fazem sua análise observando três grandes firmas: NEC, Toshiba, e Sharp, as duas primeiras estavam no mercado desde os anos 1950 e a

última entrou nos anos 1970. Para eles, o sucesso nipônico aglutina vários fatores, como: demanda interna pelos produtos, altos investimentos, e o apoio governamental através de projetos como o “VLSI Project”, lançado em 1976.

No Japão, a indústria foi entendida como estratégica e com potencial, a expressão que a identificava era que seria a “*rice of industry*”, de modo que foram mobilizados esforços para garantir que a indústria se desenvolvesse e se protegesse de empresas como a Fairchild até terem condições de competirem - o que foi por volta dos anos 1980 - (MATHEWS, CHO, 2007).

O grande salto japonês de faturamento por volta dos anos 1980, veio principalmente no mercado de *dynamic random access memory* (DRAM), através deste segmento os produtos japoneses ganharam o mercado mundial. Irwin (1996 p.7) afirma: “*Spectacular success was achieved in DRAMS: the U.S. market share plummeted from 70 to 20 percent between 1978 and 1986 as the Japanese share*”

3.1.3 Coreia do Sul

A Coreia do Sul tem uma trajetória muito acelerada na industrialização. Saiu de um país que sofreu muito na guerra nos anos 1950 para se consolidar como grande potência no ramo dos semicondutores.

Por volta dos anos 1980 é quando a Coreia do Sul começou a ter mais protagonismo no ramo dos semicondutores. No caso sul-coreano há um grande impacto dos Estados Unidos, isso porque o país fez diversos investimentos para estabelecer processos de montagem na Coreia:

After the initial investment by Komy of the United States to set up an assembly plant in Korea in 1965, a series of foreign investments through the mid-1970s enabled Fairchild, Signetics, Motorola, and Toshiba to utilize low-cost Korean labor in simple assembly. It was only in the early 1980s that Korean companies began targeting the semiconductor market and finally established their presence on a massive scale. (CHO; KIM; RHEE, 1998, p. 498).

Assim, foram estabelecidas grandes firmas sul-coreanas também, tais como: Samsung, LG e Hyundai Electronics. As empresas conseguiram se estabelecer apesar das dificuldades que encontravam, tais como o atraso em tudo que era relacionado a semicondutores e a falta de um mercado local para absorver a produção, portanto tendo que mirar no mercado internacional, de modo que em 1995 as exportações representavam 91% da produção de semicondutores na Coreia do Sul (FILIPPIN, 2020; MATHEWS, CHO, 2007).

Ao passar por cima das dificuldades, já em meados dos anos 1990 a Coreia do Sul estava atrás apenas dos EUA e Japão no fornecimento de semicondutores, ganhando forte

posição no mercado de DRAM e atuando em vários elos da cadeia (MATHEWS, CHO, 2007).

3.1.4 Taiwan

Na emergência dos anos 1970, e da ascensão asiática no ramo de semicondutores, também apareceu Taiwan. Conforme Hu (2003) apresenta, Taiwan era um país majoritariamente agrário, mas em 1974 foi estabelecido um novo plano de desenvolvimento da indústria de semicondutores, o entendimento da ocasião era que ela é um ramo estratégico. Para Mathews e Cho (2007), a ascensão de Taiwan pode ser entendida como um milagre, pois passou do país intensivo em mão de obra para nos anos 1980 e 1990 atingir atividades intensivas em conhecimento⁵.

A trajetória do país começou ainda nos anos 1960 através da indústria de *back-end* - tal como em outros países asiáticos - e deram lugar a atividades de maior agregação de valor nos anos seguintes através de políticas públicas, tal como a implementação do *Industrial Technology Research Institute* (ITRI) em 1973 (MATHEWS, CHO, 2007).

Para o planejamento deles, foi implementado o ITRI e mais 10 laboratórios, sendo o primeiro o ERSO. Após a transferência de tecnologia da Radio Corporation of America (RCA) para o laboratório ERSO, as atividades de semicondutores prosperaram e então o governo optou por criar a UMC em 1980.

Tempos depois, ainda se sentia faltar mais indústrias em Taiwan. Hu (2003) afirma que o Governo sentia ser poucas indústrias e que o setor privado tinha medo pelo risco do investimento, além do alto montante de capital demandado. Assim, o governo injetou dinheiro para fundar a TSMC em parceria com a Phillips.

As duas firmas apresentadas galgaram posições de liderança no mundo, ambas centradas na função de manufatura dos chips. Apenas a TSMC dominava 54% do mercado global de *foundries* em 2018, enquanto a UMC tinha 8% (OCDE, 2020).

Ambas aliadas a outras firmas (como Winbond e Mosel-Vitec), nos anos 1990 a indústria de semicondutores de Taiwan já ocupava o quarto lugar na produção de chips, com a diferença que o país tem uma estrutura diversificada e que permitiu a redução da importação de bens importantes à produção (MATHEWS, CHO, 2007).

⁵ Trata-se de uma tradução livre, o time utilizado é "*knowledge-intensive*" activities.

3.1.5 China⁶

A China aparece na lista do retrospecto dos países com maior presença na indústria de semicondutores devido ao seu recente crescimento, com gastos altos em P&D e altos investimentos. Há uma emergência da China como produtora de chips, visto que o país tem alta demanda pelo produto e entende o setor como estratégico, estabelecendo metas como no plano *Made In China 2025*.

Hong Kong também teve presença mais cedo nos semicondutores, ainda por volta dos anos 1960 e 1970, mas não teve uma continuidade do setor e ficou para trás. A causa disso para Mathews e Cho (2007) é que o Estado renunciou a políticas mais agressivas e intervencionistas no setor, ao passo que empresários buscaram investimentos de riscos menores. A situação só alterou um pouco através da transferência de Hong Kong para a China em 1997, sendo acrescentado um novo olhar para o país e instituições.

Pelo lado da China, a sua história no setor é mais tardia e independente, não seguindo os moldes de Taiwan e Coreia do Sul. A indústria de semicondutores nasceu em meados de 1950 como forma de superar o isolamento que estava sofrendo, mas foi nos anos 1980 e 1990 que ela começou a avançar, o segmento dos semicondutores era parte do projeto de desenvolver setores de alta tecnologia domesticamente (DENG; DENG, 2022). Mathews e Cho (2007), apresentam que nos anos 1990 algumas multinacionais migraram para a China, são casos: a *joint-venture* entre firmas chinesas e a Phillips (1993), a Nortel (1995) integrou também o venture, assim como a ASMC que também foi convidada. Da parte americana, vieram a Intel e a Motorola que investiram em fábricas. Filippin (2020) apresenta que foi nessa época que o país fez investimentos direcionados a academia e atividades de pesquisa, além de ter investido em mais de 130 fábricas, mas que na ocasião não tiveram tanto êxito, além disso, Deng e Deng (2022) afirmam que a estratégia de atrair empresas internacionais surtiram poucos efeitos até anos 2000.

Mais recentemente, o país se preparou logo para iniciar o seu desenvolvimento: criou o Ministério da Indústria Eletrônica⁷ no final dos anos 1990 (mais precisamente em 1998), que segundo Mathews e Cho (2007) era útil na regulação de investimento externo que recebia, e estabeleceu indústrias públicas tais como o Shenzhen Electronics Group (SEG), Huajing Electronics e Jiangnan Semiconductor Devices. Ao reduzir sua dependência externa, o Governo estabeleceu planos industriais, são exemplos o “*Medium and Long Term Plan for Science and Technology Development (2006-2020)*” - em 2006 - e o “*Strategic Emerging*

⁶ Para esta seção, é apresentado Hong Kong como integrante da China.

⁷ Tradução livre. Mathews e Cho (2007) se referem como: “*Ministry of Electronics Industry (MEI)*”

Industry Plan” - em 2012 -, o que garantiu nos investimentos em P&D chineses (DENG; DENG, 2022).

Atualmente, o modelo que o país adota de ser uma fábrica do mundo faz com que ela tenha uma demanda muito alta por chips, mas não necessariamente ainda uma oferta à altura. Nos anos 1990 essa já era a situação: “*IC demand in China reached around \$3.6 billion in 1997, while Chinese domestic output exceeded \$1 billion by the mid-1990s*” (MATHEWS; CHO, 2007, p. 62). E assim é atualmente também, o *the factory China model*⁸ (OCDE, 2020) faz dela uma grande consumidora intermediária da produção e especialista na montagem de eletrônicos, portanto, ela demanda os CIs e reexporta aos países na forma de eletrônicos.

Para a OCDE (2020), a atuação recente China ainda é de um produtor menor quando comparada à Coreia do Sul e Taiwan, no entanto, ela ganha destaque pois aumentou sua produção consideravelmente nos últimos anos, Deng e Deng (2022) afirmam que o ramo dos semicondutores ganhou caráter central na China na década de 2010, aumentaram as importações de CIs afetada principalmente pelo aumento da demanda doméstica e as exportações processadas pelas transnacionais estrangeiras. Em anos seguintes vieram programas como as “*Guidelines to Promote National Integrated Circuit Industry Development*” em 2014.

Atualmente, o país conta com empresas como HiSilicon, SMIC, Tsinghua Unigroup e Jiangsu Changjiang Electronics Technology. Além delas, após a criação do *China's National IC Fund* - e que recebeu um aporte inicial de 23 bilhões de dólares - houve períodos de aquisições de empresas estrangeiras por parte da China. Ainda assim, a China não obteve o almejado *catch-up* da indústria de semicondutores (DENG; DENG, 2020).

Com o desenvolvimento do ecossistema no ramo de semicondutores chineses, é possível de reduzir a dependência externa de semicondutores, que para o modelo chinês - onde ocorre a venda dos bens finais e os CIs são bens intermediários dos produtos - é um produto extremamente precioso. No entanto, a China ainda tem um caminho árduo a trilhar, dado que a China ainda está atrás dos líderes do segmento: “Atualmente, o domínio tecnológico da RPC na indústria de semicondutores está ao menos duas ou três gerações atrás das empresas líderes.” (DENG; DENG, 2022, p. 19).

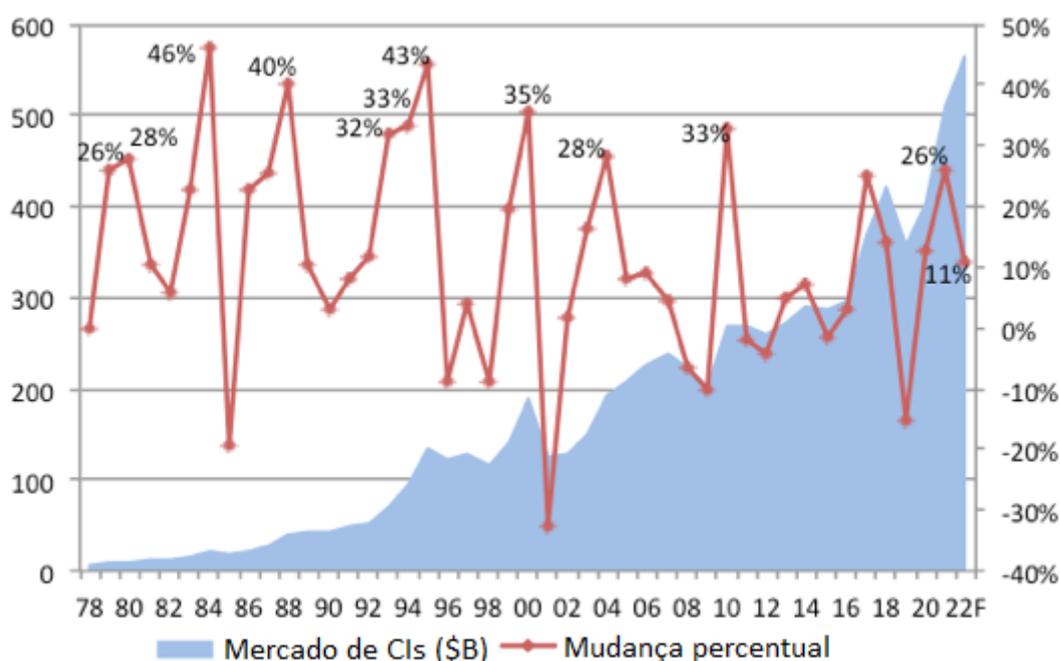
⁸ Em tradução livre, seria “o modelo de fábrica da China”. Este termo é aderente à ideia da China como grande potência manufatureira do mundo, por vezes se referem à China como “a oficina do mundo”, para um exemplo ver Silva (2014).

3.2 O DESEMPENHO DA INDÚSTRIA DE SEMICONDUTORES

Como dito anteriormente, a indústria de semicondutores nos anos recentes apresentou crescimento de mercado. O seu mercado é um mercado de bilhões de dólares há alguns anos e ela apresenta tendência de seguir crescimento.

No histórico de vendas do setor, são poucos os momentos em que os faturamentos experimentam decréscimo (Figura 2), apesar da volatilidade do mercado. Na figura é notável os períodos de crescimento que a indústria global experimenta, tendo crescimento acima de 30% em diversos períodos.

Figura 2 - Crescimento do mercado de chips integrados, em taxa e valor absoluto (US\$) - 1978 - 2022



Fonte: IC Insights (2022)⁹; Elaboração: IC Insights (2022)

Nota: Para 2022 trata-se de uma previsão

O setor tem contínuo crescimento de faturamento, se mantiver a previsão de 11% de crescimento para 2022, então será o terceiro ano seguido com crescimento acima de dois dígitos, após 13% em 2020 e 26% em 2021. Essa seria a primeira vez em 25 anos (IC INSIGHTS, 2022).

Para esta seção o objetivo é de acompanhar a dinâmica do desempenho setorial no segmento. Para isso, será analisado o desempenho do faturamento, das vendas, do

⁹ **Research Bulletins N° 1426:** IC Sales Seen Growing by Double-Digits for Third Year in a Row. Disponível em: <https://www.icinsights.com/news/bulletins/IC-Sales-Seen-Growing-By-DoubleDigits-For-Third-Year-In-A-Row/>. Acesso em: 12 abr. 2022

investimento em P&D e do comércio internacional dos produtos. A análise será desagregada por país e regiões sempre que possível.

3.2.1 Faturamento

No ano de 2021, os dados da Semiconductor Industry Association (SIA) apontam que o faturamento mundial foi de aproximadamente U\$543 bilhões. O valor é o ápice da série - que inicia em 1976 - e vem de um crescimento expressivo de 24,35% em relação ao ano anterior.

A série tem início em 1976 e vai até 2021, sendo que tem momentos de quebra: o primeiro momento é o em 1984. Este é o momento em que há um pulo de faturamento do Japão - o que está em conformidade com os dados apresentados anteriormente pois é a década de ascensão do país asiático -. E assim seguiu por mais alguns anos, tanto que em 1986 é estabelecido um tratado entre os EUA e Japão para tratar dos semicondutores, o que afetou a organização do mercado em décadas futuras.

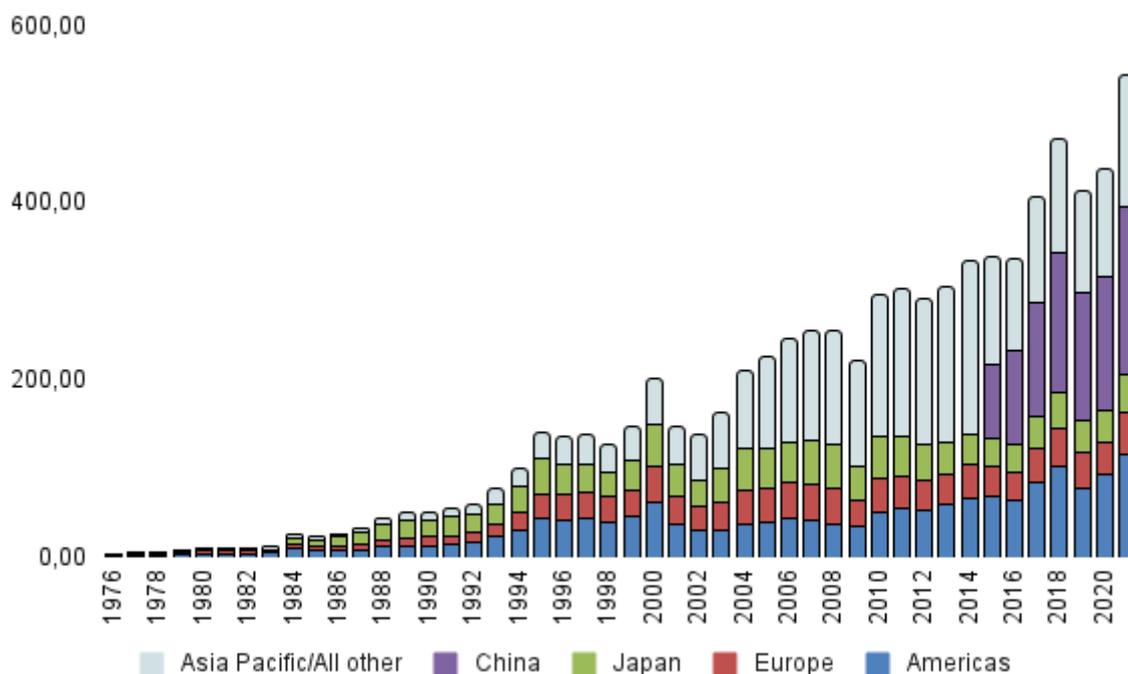
Outro período de quebra e deslocamento para cima é em 1994 (faturamento global de US\$99 bilhões), na ocasião quem puxou para cima foram as Américas. Na época, os Estados Unidos já haviam retomado a liderança, seguido pelos países asiáticos. Os anos 1990 também são lembrados como época do *boom* da internet, época de popularização do acesso à internet e suas ferramentas. Foi também nessa época que muitas empresas norte-americanas foram abertas para atender ao mercado crescente.

Um dos poucos momentos de quedas de faturamento foi no ano de 2001 e de 2002, na ocasião o faturamento mundial foi de 138 bilhões de dólares em 2002, valor abaixo dos 147 bilhões de dólares em 2001 e dos 201 bilhões em 2000. As quedas estão muito correlatas ao estouro da “bolha das empresas ponto com”, que levou à falência de diversas firmas de tecnologias.

Em 2001, uma das causas segundo reportagem da Folha de S. Paulo (2002) era de que as empresas norte-americanas se beneficiaram dos investimentos do setor tecnológico e assim ampliaram a capacidade para atender às demandas, mas em 2001 passaram a sofrer com excesso de capacidade - com o estouro da bolha - e recessão estadunidense. No ano de 2002 houve a queda e só em 2003 que o faturamento mundial voltou a alçar voo (US\$162 bilhões).

No entanto, o crescimento não foi prolongado. Em 2008 o mundo experimentou uma nova crise econômica, que afetou a todos ramos da indústria, porém desta vez só a queda de faturamento foi só por um ano - US\$219 bilhões em 2009 -, pois já em 2010 houve um faturamento alto (US\$295 bilhões) e seguiu crescendo até 2019.

Figura 3 - Faturamento do mercado de semicondutores, valor absoluto em mil milhões (US\$)
- 1978 - 2022



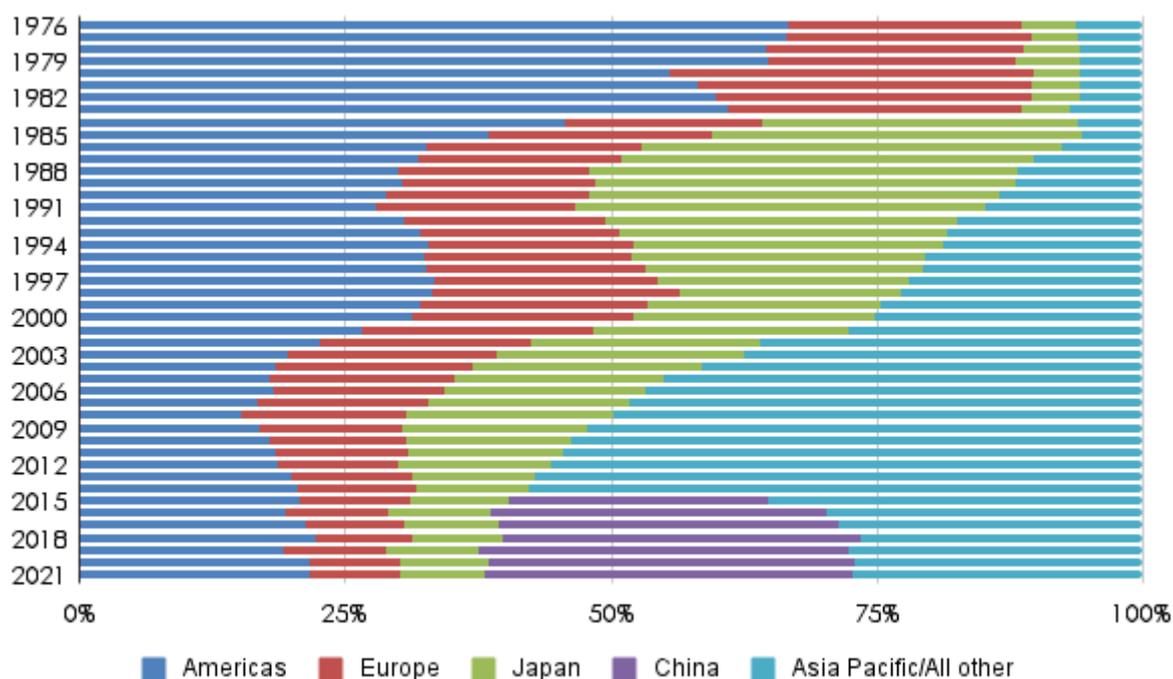
Fonte: SIA (2022)

Nota: Japão e China não estão contidos na categoria Ásia Pacífica e outros

Em 2019, a queda no faturamento está muito relacionada à guerra comercial entre a China e os Estados Unidos, conforme a OCDE (2020) apresentou sobre a redução das vendas. Na situação, as administrações dos países impuseram medidas restritivas às empresas dos países, a exemplo da medida imposto pela administração de Donald Trump à empresa Huawei para dificultar o acesso aos mercados de chips. Para esse ano o valor agregado de faturamento foi de US\$413 bilhões.

Por fim, em 2021 e 2022 foram os anos de pandemia da Covid-19. Embora a economia mundial tenha sentido muito, o setor continuou faturando. Ao fim da série, em 2020 o faturamento total foi de US\$436 bilhões e o de 2021 foi de US\$543 bilhões.

Figura 4 - Participação (%) no faturamento do mercado de semicondutores, por continente - 1978 - 2022



Fonte: SIA (2022)

Nota: Japão e China não estão contidos na categoria Ásia Pacífica e outros

Em termos de participação, os valores de faturamento demonstram o que a literatura acima já explicitou: uma alternância de participação entre as Américas e a Ásia. No início da série (1976) a grande participação no faturamento mundial era das Américas, os países detinham cerca de 66% do faturamento mundial, enquanto os asiáticos compartilham apenas 11,37% - sendo que 44,5% deste valor pertencia só ao Japão, isto é, 5,04% do faturamento mundial -. À época, o segundo grande centro de faturamento do mundo era o continente europeu, com uma participação de 21,9%.

A situação começou a mudar logo no início dos anos 1980, porém ainda em prol dos asiáticos. Na virada da década de 1970 para 1980, as regiões mundiais cresceram em termos de faturamento, mas apenas uma delas tiveram ganho de participação: o conjunto de países europeus. O crescimento de participação para 34,3% fez com que a participação americana caísse de 64,7% para 55,5%.

A participação americana voltou a crescer até o ano de 1984, que como apresentado anteriormente foi o grande ano de faturamento japonês nas memórias DRAM. O país saiu de uma participação de 4,5% no faturamento mundial para expressivos 29,7%, enquanto isso o resto do continente asiático junto compartilhava 6,87%.

De 1984 até 1991, a tendência foi de manutenção na participação por parte europeia e japonesa, enquanto as Américas decaíram - chegando a 27,9% em 1991 - e os demais países asiáticos saíram do entorno de 6% para atingir quase 15% do faturamento global. No restante dos anos 1990 e início dos anos 2000 a tendência persistiu de manutenção, com alguns ganhos de participação americana - porém sem retomar ainda a liderança dos anos 1970 - os europeus ainda se oscilando próximo a 20% e os asiáticos em ascensão, com mais de faturamento mundial, mas com um decréscimo de participação japonesa em detrimento aos demais asiáticos.

No início dos anos 2000, e o estouro da bolha das empresas *techs* o mundo na totalidade sofreu, porém, as empresas americanas caíram mais que as demais. Deste modo, o faturamento asiático na totalidade obteve ganhos de participação. De 2001 até o fim da série, a participação das Américas caiu para os arredores de 20%, a europeia e a japonesa, que antes oscilavam em torno de 20% passaram para abaixo de 10% - com contínuas quedas -.

Apesar da queda de participação japonesa, o continente asiático é dono de 69,8% do faturamento global, com destaque à China que detém 34,7% do faturamento.

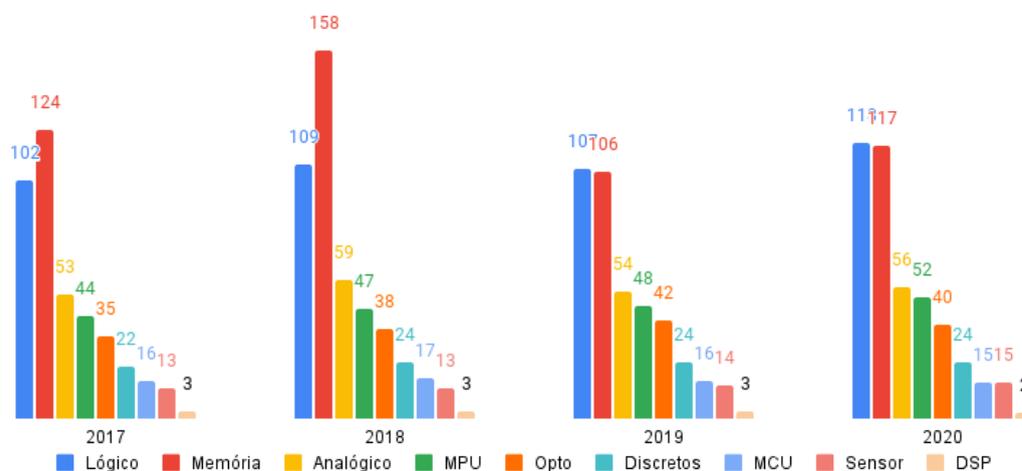
3.2.2 Vendas

Dado o montante pecuniário que se movimenta no mercado de semicondutores, é factível que os valores de vendas sejam altos. E assim é o ramo dos semicondutores nas suas mais variadas formas de produtos. Para este ramo, não são metrificados os produtos que levam semicondutores na sua produção, tais como *smartphones* ou carros, mas a venda dos chips. Além disso, são apresentados semicondutores enquanto componentes e semicondutores como produtos (chips) e desagregados por empresas.

Em termos de produtos vendidos, Alsop (2022) através do site Statista disponibiliza as vendas anuais de 2017 a 2020. As vendas são majoritariamente de produtos semicondutores lógicos e memória, com destaque que em 2019 os dispositivos de memória passaram a ser os mais vendidos. Em todo o período, os valores foram acima dos 100 bilhões de dólares, sendo em 2018 o pico de memórias (158 bilhões de dólares) e em 2020 o pico de dispositivos lógicos (118 bilhões).

Um exemplo que mostra a força do mercado de memórias são as DRAM, apresentadas anteriormente, pelas quais a Coreia do Sul e o Japão se utilizam para crescer no ramo. Até hoje é um dos componentes semicondutores mais valiosos.

Figura 5 - Vendas (em bilhões de dólares) de semicondutores por segmento de produto, 2017 a 2020



Fonte: Statista (2022)

Num segundo bloco estão todos os outros produtos, liderados ao longo do período pelos dispositivos analógicos, seguidos por *microprocessor unit* (MPU), os optoeletrônicos, os semicondutores discretos, os *microcontroller unit* (MCU), sensores e por fim o *digital signal processor* (DSP).

Outra forma de analisar as vendas é através dos setores que demandam os produtos. Historicamente há um apoio do setor governamental no ramo de semicondutores - principalmente na história do século passado dos Estados Unidos -, porém atualmente ele corresponde a pouca parte da demanda mundial. Em 2019, foi apenas 1,3% dos produtos semicondutores.

Por outro lado, há uma grande demanda de produtos de comunicação (33% do total) e computadores (28,5% do total). Ambos produtos estão muito atrelados aos produtos usados no dia a dia: tais como os computadores pessoais, os computadores de empresas, os *smartphones* e *tablets*, e afins. O consumo massivo de produtos com CIs embarcados têm acontecido inclusive em mercados emergentes, como o mercado brasileiro. Juntos, eles respondem pela demanda de 253,3 bilhões de dólares por semicondutores.

Num segundo plano está a demanda de chips por bens eletrônicos (13,3%), pelo setor automotivo (12,2%) e pelo segmento industrial (11,9%). Todos os três demandaram valores na ordem dos 50 bilhões de dólares em 2019, mostrando - em menor grau - a força de outros produtos que usam os CIs. A demanda dos chips pelo segmento dos bens eletrônicos e do setor automotivo mostram como diferentes produtos usam os CIs para incrementar a atuação e funcionalidade dos chips. Por outro lado, a utilização por parte do segmento industrial mostra um processo de modernização de máquinas e fábricas, atividade que já tem ganhado atenção

nos últimos anos. É o caso das fábricas controladas sem grandes grupos de trabalhadores, por exemplo.

Figura 6 - Demanda (em US\$ bilhões) por CIs separado por categoria de usuário final, 2019

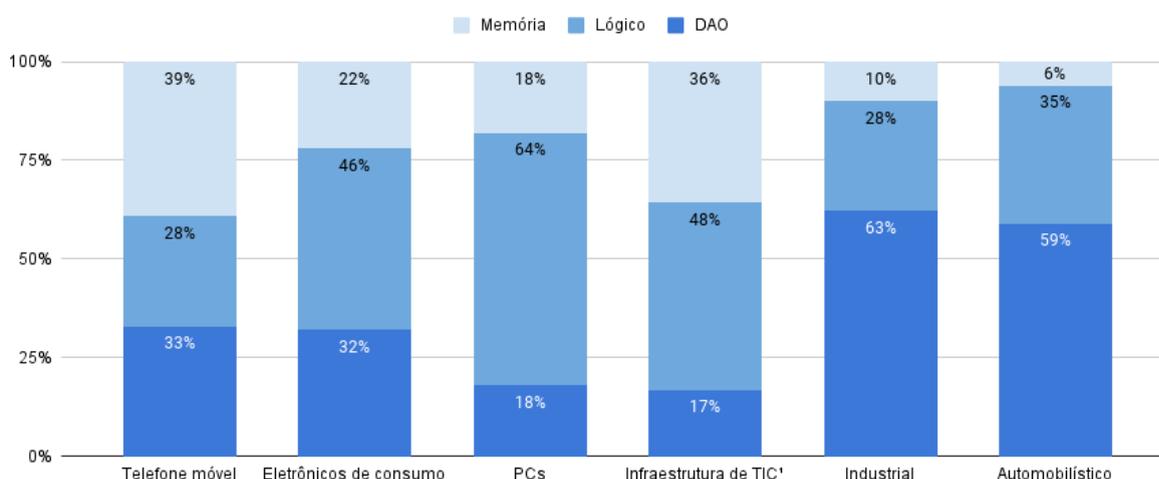
Categoria do Usuário Final						
	Comunicação	Computadores	Consumidor final	Automotiva	Industrial	Governamental
Crescimento Anual (%)	-10,5	-18,7	-5,2	-6,9	-13,0	13,0
Valor total (US\$ Bilhões)	136,0	117,3	54,7	50,2	48,9	5,2

Fonte: SIA (2020)

Quanto aos semicondutores que compõem cada tipo, há uma grande prevalência dos semicondutores lógicos - uma espécie de cérebro do sistema - nos bens eletrônicos para consumo, nos PCs e na infraestrutura dos TICs. Por outro lado, no ramo automobilístico e industrial há uma prevalência de dispositivos lógicos e de componentes discretos, analógicos e outros (optoeletrônicos e sensores inclusos) (DAO). Tanto para o segmento de semicondutores lógicos quanto para analógicos, em 2019 havia uma larga prevalência dos EUA como grandes produtores - para ambos casos acima dos 60% de dominância do mercado - conforme apresenta o SIA (2020).

Já para os discretos - incluídos na categoria DAO - a prevalência é europeia, que dominava 42% do mercado. O Japão e os EUA ficam nos entornos de 20% da parcela de mercado (SIA, 2020).

Figura 7 - Percentual (%) de tipos de semicondutor por categoria agregada de usuário final, 2019



Fonte: Varas *et al.* (2021).

Nota 1: Infraestrutura de tecnologia da informação e comunicação, incluindo *data centers* e redes de comunicação.

Por fim, as memórias - produtos muito presentes no mercado asiático - aparecem em maior parcela no telefone móvel. A SIA (2020) apresenta que em 2019 a prevalência do setor era das empresas sul-coreanas (dominavam 65% do mercado), o que corresponde com o histórico do desenvolvimento da indústria nos países asiáticos. O Japão, que também atuava forte no mercado, atingiu apenas 9% da parcela de mercado.

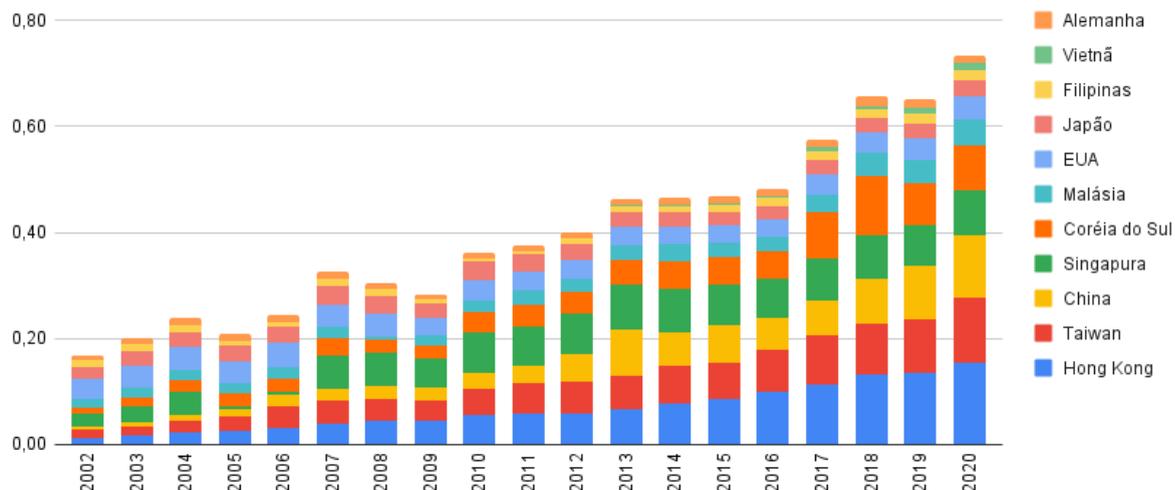
3.2.3 Comércio Internacional

Para a seguinte seção, será feita uma análise do comércio - mais especificamente de importação e exportação - da indústria de semicondutores no mundo. Para a descrição dos anos recentes, será utilizada base de dados recentes para a indústria de componentes eletrônicos como para circuitos integrados.

As duas seções estão no capítulo 85 (“Máquinas, aparelhos e materiais elétricos, e suas partes; aparelhos de gravação ou de reprodução de som, aparelhos de gravação ou de reprodução de imagens e de som em televisão, e suas partes e acessórios”) na posição 41 (“Díodos, transístores e dispositivos semelhantes com semicondutores; dispositivos fotossensíveis semicondutores, incl. as células fotovoltaicas, mesmo montadas em módulos ou em painéis (expt. geradores fotovoltaicos); díodos emissores de luz; cristais piezoelétricos montados”) e posição 42 (“Circuitos integrados e microconjuntos eletrônicos”) do Sistema Harmonizado (SH).

Em termos de exportações de circuitos integrados - seus componentes inseridos na posição 42 - as parcelas de cada país são apresentadas abaixo. Para a construção do gráfico foi estudado o retrospecto dos 11 países que mais exportaram em 2020.

Figura 8 - Evolução das exportações dos produtos da SH 8542 por países, valor por milhares de dólares (US\$)



Fonte: ITC (2022)

Nota: exportação dos produtos do capítulo 85 seção 42 do SH.

Através da figura é possível ver que há uma dominância asiática na exportação de circuitos integrados. Entre os 10 países que mais exportaram em dólar em 2020, apenas os EUA são de fora da Ásia, são eles: Hong Kong (153,9 bilhões), Taiwan (122,9 bilhões), China (177,1 bilhões), Singapura (86,3 bilhões), Coreia do Sul (82,8 bilhões), Malásia (49,3 bilhões), Japão (28,8 bilhões), Filipinas (20,2 bilhões) e Vietnã (13,9 bilhões). Os Estados Unidos exportaram 44,1 bilhões.

O destaque do período fica por parte do Vietnã, era um país que exportava na casa de milhões em 2002 (14 milhões de dólares) mas que teve um crescimento vertiginoso recentemente e desbancou a Alemanha e Países Baixos, países com tradição no ramo de semicondutores. Num comparativo ao início da série, todos os grandes países estão incluídos na lista, exceto o Vietnã e a China, que tomaram o lugar do Reino Unido e da Alemanha.

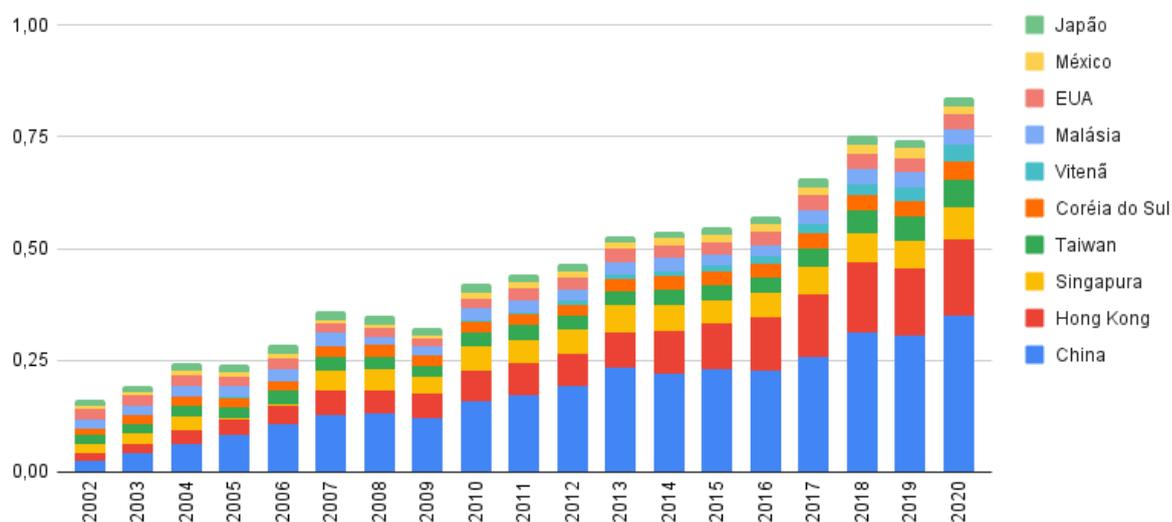
Há um destaque também do ganho de participação da China, o país que figura entre os 3 que mais exportam nem sequer aparecia na lista antes de 2004 e desde então tem ganho valores que a coloca entre os maiores exportadores de circuitos integrados do mundo. O país tem ganho tanto valores de vendas quanto de exportações.

Por fim, há de se falar também que 2020 marcou um ano de aumento de exportações após dois períodos de estabilidade, assim como houve um salto em 2017 em relação a 2016.

Pelo lado da importação de CIs, há atores semelhantes ao das exportações. Conforme dito em partes anteriores, a China foi muito tempo foi a grande demandante de chips - dado que ela adotava um modelo de montagem em eletrônicos e exportava - e aqui os números ficam mais evidentes, o valor importado pelo país se destoa de qualquer outra nação. Em

2020, eles importaram 350,8 bilhões de dólares, mais que o dobro de Hong Kong (168,9 bilhões), que ocupa o segundo lugar da lista.

Figura 9 - Evolução das importações dos produtos da SH 8542 por países, valor por milhares de dólares (US\$)



Fonte: ITC (2022)

Nota: exportação dos produtos do capítulo 85 seção 42 do SH.

De Hong Kong para baixo, os valores de importação são significantes menores. Desde próximo de 2012 e 2013, os dois países descolaram dos demais e aumentaram muito a importação dos chips.

Os demais países têm desempenhos muito próximos, os valores são muito próximos. Com exceção do Vietnã - que pelo assim como lado das exportações - teve um crescimento agudo de importações.

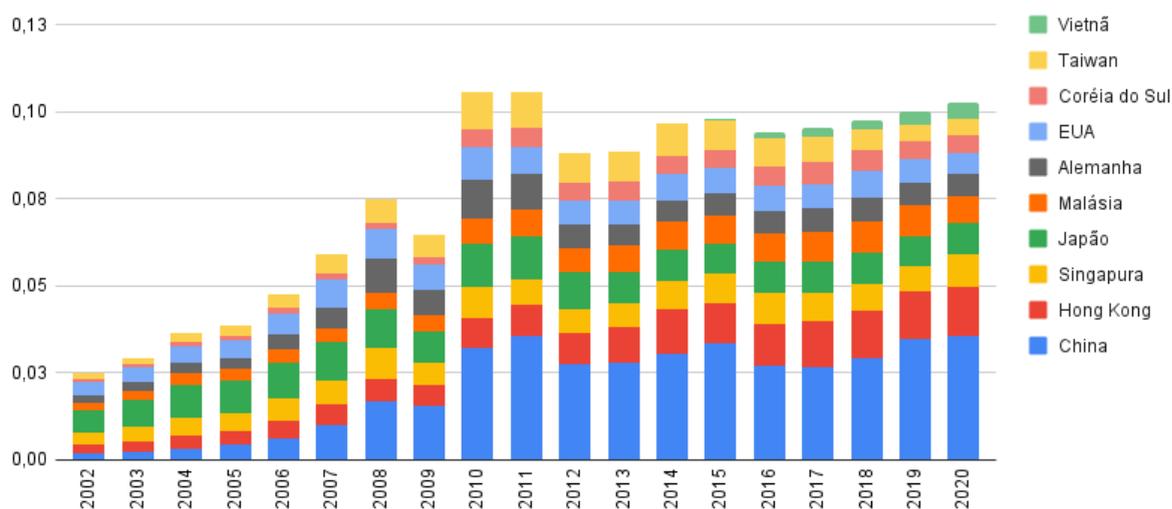
Posto o desempenho pela categoria 8542, podemos passar à análise da categoria 8541. Pelo lado dos componentes semicondutores, os valores transacionados são bem abaixo: enquanto em 2020 o mundo somou 784 bilhões de dólares em exportação e 938,4 bilhões em importações de categoria 8542 (circuitos integrados), as importações e exportações de 8541 foram 120,8 bilhões e 117,6 bilhões, respectivamente.

Em termos de exportações da categoria 8541, o grande país exportador ao longo do período é a China - em termos de valores -. O país dominou o período todo e teve grandes saltos principalmente após 2010, acompanhada por Hong Kong e Singapura, dois países que exportavam valores menores (em 2020, Hong Kong exportou 14,1 bilhões e Singapura 9,25 bilhões) enquanto a China atingiu a casa dos 35,6 bilhões de dólares.

Apesar da tomada de dianteira dos três países, nota-se que nem sempre foi assim. Em 2002, no início da série, o Japão era o grande exportador dos componentes, no entanto, o país

percorreu o período todo exportando entre 6 e 12 bilhões de dólares, ao passo que outros países tiveram crescimentos mais expressivos. Os EUA, que na época eram o segundo colocado, também não teve grandes ganhos de participação, inclusive teve quedas nos valores exportados em 2011, e finalizou a série como o sétimo maior exportador.

Figura 10 - Evolução das exportações dos produtos da SH 8541 por países, valor por milhares de dólares (US\$)



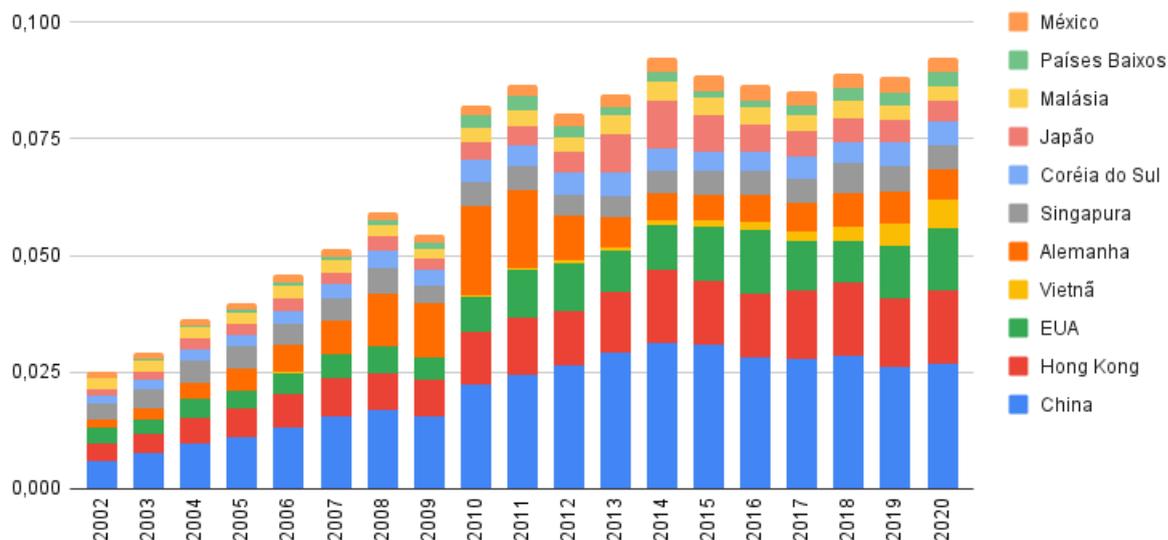
Fonte: ITC (2022)

Nota: exportação dos produtos do capítulo 85 seção 41 do SH

Posto o desempenho da China e Hong Kong, principalmente em 2010 para a China e mais recentemente para Hong Kong - por volta dos anos 2015 e 2016 - os demais países têm desempenhos muito semelhantes: a maior parte deles oscila entre 4 e 10 bilhões de dólares exportados em 2020.

Pelo lado das importações, há novamente uma predominância asiática através da China e Hong Kong. No entanto, agora há uma parcela maior de países ocidentais, tais como EUA e Alemanha. A importação de componentes, um exemplo é um diodo (um dos enquadrados no 8541), é muito útil na montagem de eletrônicos, portanto, aqui vemos que a importação dos produtos é útil para fomentar etapas seguintes das cadeias produtivas.

Figura 11 - Evolução das importações dos produtos da SH 8541 por países, valor por milhares de dólares (US\$)



Fonte: ITC (2022)

Nota: exportação dos produtos do capítulo 85 seção 41 do SH

Conforme dito anteriormente, em 2020 há 3 países que se destacam como grandes importadores: China (26,7 bilhões de dólares), Hong Kong (15,7 bilhões) e EUA (13,3 bilhões). Postos estes, os demais países importam a valores próximos.

Há de se apresentar que durante este período tem duas trajetórias interessantes: a ascensão e queda da Alemanha, e a ascensão do Vietnã. Por parte da Alemanha, o país teve um expressivo aumento de importações até 2010, na ocasião importou na ordem de 19,3 bilhões de dólares e foi o segundo maior importador do mundo (perdendo só para a China com 22,3 bilhões), após isso teve sucessivas quedas e tímidos aumentos de valores, de modo que encerra o último ano da série com 6,3 bilhões importados.

O outro destaque é do Vietnã, que já foi evidenciado na seção de exportações de CIs, e que teve um aumento abrupto também após 2011, na imagem a sua parcela nem sequer aparecia - e não é por menos, o país importou em 2011 apenas 0,35 bilhões de dólares - mas teve sucessivos aumentos e fecha a série com valor importador no montante de 6,3 bilhões de dólares.

3.3 OS *PLAYERS* GLOBAIS

Para esta seção do trabalho, partiremos para uma análise mais detalhada e específica dos agentes - também chamados de atores e *players* - que compõem o atual mercado. Aqui serão apresentadas as empresas e seus países, seu desempenho e recentes dificuldades.

3.3.1 As maiores empresas do mundo

O ramo de semicondutores é um ramo concentrado e de altos valores, conforme dito anteriormente. Em 2021, houve um recorde de produtos vendidos tanto em valor quanto em unidades: foram vendidos 1,15 trilhões de semicondutores, o que representou US\$555,9 bilhões, segundo a SIA (2022). Segundo o órgão, isso significou um crescimento de 26,2% em relação a 2020. E a tendência é que venham mais períodos de crescimento, a IC Insights (2022b) apresentou que após um crescimento de vendas de 11% em 2020 e 25% em 2021, espera-se um crescimento de 11% em 2022. A WSTS (2022) prospecta um crescimento de 16,3% em 2022, levando o mercado ao patamar de US\$646 bilhões.

Em termos de desagregação de vendas pelas empresas, haviam 17 firmas que tinham previsão de terem vendas de semicondutores - sendo eles os *semiconductor optoelectronic, sensor, and discrete* (OSD) ou circuitos eletrônicos - acima de 10 bilhões de dólares, segundo pesquisas e estimativas do IC Insights (2021).

A partir da Tabela 1 notamos que o mercado é restrito a poucas empresas. Acima foi apresentado que foram vendidos 1,15 trilhões de unidades de semicondutores e a previsão de 2021 era que 17 das firmas apresentadas na Tabela 1 vendessem 478,8 bilhões, portanto se a estimativa for acurada isso significaria que apenas 17 empresas suprem cerca de 40% da produção mundial. Vale lembrar que a venda de 2021 foi num valor recorde, portanto pode ser que a parcela das 17 firmas seja muito maior que 40%, dado que o valor pode ter sido acima da previsão da IC Insights (2022). Segundo o relatório mais recente da IC Insights (2022c), apenas 10 firmas dominavam 57% da parcela do mercado - sem contar as firmas *pure-play foundries*¹⁰ - sendo que desde 2017 quem assumiu o topo é a Samsung, após anos e anos de liderança da Intel. O relatório ainda traz que as companhias *top 5* dominam 42% do mercado, as *top 25* dominam 79% do mercado e as *top 50* dominam 89%.

Se voltarmos a analisar só a Tabela 1, vemos que ela apresenta tendências informadas antes. Uma delas é da concentração geográfica das indústrias, na imagem vemos haver uma dominância basicamente entre os EUA e os asiáticos (Taiwan, Coreia do Sul e Japão). Numa análise dos agregados por país (ou conjunto deles) mostram que em 2021 a venda de produtos por países foi no montante de: US\$193.534 milhões de empresas dos EUA, US\$88.928 milhões de empresas sul-coreanas, US\$56.557 milhões de empresas de Taiwan, US\$29.794 de empresas europeias e US\$10.533 de empresas japonesas.

¹⁰ Por *pure play foundry* se entende a firma especializada somente na fabricação do semicondutor, é o caso da TSMC e UMC.

Para 2022, as previsões seriam de US\$235.283 milhões de empresas dos EUA, US\$120.352 milhões de empresas sul-coreanas, US\$74.184 milhões de empresas de Taiwan, US\$36.905 de empresas europeias e US\$12.132 de empresas japonesas.

Tabela 1 - Empresas de semicondutores com previsão de vendas maiores que US\$10 bilhões em 2021

Empresa	Localidade	2020			2021		
		Circuitos Integrados	OSD ¹	Total	Circuitos Integrados	OSD ¹	Total
Samsung	Coréia do Sul	58.555	3.298	61.853	78.850	4.235	83.085
Intel	EUA	76.328	-	76.328	75.550	-	75.550
TSMC	Taiwan	45.572	-	45.572	56.633	-	56.633
SK Hynix	Coréia do Sul	26.094	981	27.075	35.628	1.639	37.267
Micron	EUA	22.542	-	22.542	30.087	-	30.087
Qualcomm	EUA	19.357	-	19.357	29.136	-	29.136
Nvidia	EUA	14.659	-	14.659	23.026	-	23.026
Broadcom Inc.	EUA	15.941	1.803	17.744	18.864	2.099	20.963
MediaTek	Taiwan	10.985	-	10.985	17.551	-	17.551
TI	EUA	12.731	843	13.574	15.889	1.015	16.904
AMD	EUA	9.763	-	9.763	16.108	-	16.108
Infineon	Europa	7.542	3.683	11.225	9.113	4.503	13.616
Apple	EUA	11.440	-	11.440	13.430	-	13.430
ST	Europa	6.804	3.374	10.178	8.400	4.174	12.574
Kioxia	Japão	10.533	-	10.533	12.132	-	12.132
NXP	Europa	7.582	809	8.391	9.711	1.004	10.715
Analog Devices	EUA	7.722	405	8.127	9.575	504	10.079
<i>Total</i>		364.150	15.196	379.346	459.683	19.173	478.856

Fonte: IC Insights (2021)

Nota 1: OSD significa *Semiconductor optoelectronic, sensor, and discrete*

Nota 2: os valores de 2022 são previsões

Dentre as empresas que compõem o ranking, é relevante notar a presença das empresas que dominam as etapas da cadeia, isto é, as IDM. Dentre as cinco primeiras da Tabela 1 (de Samsung a Micron), apenas a TSMC não adota este modelo - ela é uma *foundingry* -, se agregar da sexta à décima (Qualcomm até TI), então são quatro *fabless* e apenas uma IDM (a TI). Portanto, entre as 10 empresas com vendas acima de US\$10 bilhões em 2020, 5 IDM, 4 *fabless* e 1 *foundingry*, sendo que as IDM em geral têm maiores valores de vendas.

Além das previsões de vendas, há formas de mensuração dos *players* globais através do valor deles em *market cap* e também por receita.

Esta mensuração do valor da empresa é feita através do cálculo do montante pecuniário que seria necessário para comprar todas as ações da companhia. Há de se fazer algumas considerações sobre isto: *i)* a mensuração do valor da empresa por este método é útil, mas não é único, naturalmente há outras formas complementares para uma análise; *ii)* para esta seção de análise, não é considerado empresas que não tem ações em bolsas. Um exemplo de uma grande firma que não consta na lista é a Kioxia - empresa japonesa que atua no ramo de memórias; *iii)* outro exemplo de empresa que não consta na lista é a Apple, pois ela

produz muitos semicondutores para uso de funcionalidades por ela mesmo, além disso não é uma empresa do ramo de semicondutores propriamente; *iv*) os valores são da consulta feita no dia 11 de maio de 2022, diariamente sofrem variações nos valores - principalmente por conta do preço das ações - e tendem a alterar o valor.

Tabela 2 - Valor (US\$) *market cap* de empresas de semicondutores por país, 2022

País	Empresas	Participação (%)	Valor	Participação (%)
EUA	45	55,56	1.942.569.168.380,0	55,98
Taiwan	10	12,35	575.566.056.015,0	16,59
Coréia do Sul	2	2,47	409.032.940.940,0	11,79
Países Baixos	4	4,94	298.909.598.092,0	8,61
Japão	5	6,17	111.506.273.380,0	3,21
China	3	3,70	40.538.916.206,0	1,17
Alemanha	1	1,23	35.310.246.640,0	1,02
Suíça	1	1,23	33.926.846.464,0	0,98
Hong Kong	2	2,47	7.348.879.905,0	0,21
França	1	1,23	5.788.498.134,0	0,17
Noruega	1	1,23	3.261.708.089,0	0,09
Singapura	1	1,23	3.026.869.760,0	0,09
Austrália	1	1,23	1.221.863.389,0	0,04
Luxemburgo	1	1,23	737.166.080,0	0,02
Irlanda	1	1,23	731.046.720,0	0,02
Reino Unido	1	1,23	374.700.352,0	0,01
Israel	1	1,23	326.016.352,0	0,01
<i>Total</i>	81	100,0	3.470.176.794.898,0	100,0

Fonte: CompaniesMarketCap (2022)

Nota 1: dados extraídos em 10 de maio de 2022

Nota 2: neste ranking não consta a Apple, ela não é uma companhia de semicondutores apesar de ela ter parte de produção de chips para uso interno.

Podemos notar que há uma disparidade dos Estados Unidos frente aos demais. O país detém 55,56% das empresas e praticamente o mesmo valor em participação entre as 81 firmas (55,98%), de modo que são 45 empresas - sendo 7 entre as 10 maiores - e juntas equivalem a US\$1,9 trilhões. Estas condições credenciam novamente o país como um grande país no setor.

Entre as empresas norte-americanas que compõem o ranking está: NVIDIA, Broadcom, Intel, Texas Instrument (TI), Qualcomm, AMD e Applied Materials. Juntas, elas compõem 57,3% do valor das 10 maiores empresas, somando um montante de US\$1,4 trilhões. Quando comparado apenas entre as norte-americanas, as 7 empresas equivalem a 72,2% do valor total.

Após as empresas norte-americanas, o grande país é Taiwan. Apesar de uma participação no total de empresas ser bem abaixo dos EUA (12,35%) o valor de mercado das firmas equivalem a 16,59% do *market cap* agregado das 81 empresas mundiais da lista. As dez empresas taiwanesas juntas equivalem US\$575 bilhões - sendo a TSMC sozinha a maior

parcela: entre as 10 companhias de Taiwan, o valor dela equivale a 80,3%. As outras parcelas são divididas (em parcela bem menor) por outras empresas também famosas no ramo: MediaTek (7,65%) e UMC (3,67%).

Por fim, há de se falar que a TSMC é a empresa mais valiosa entre todas da lista. A *foundry pure play* desbanca empresas tradicionais e líderes em outros quesitos - como receita -, tal como Intel e Samsung.

A Coreia do Sul figura no ranking de valor das empresas no top 3, mas tem apenas duas empresas - porém ambas IDM. Uma delas é a Samsung, que fornece os mais variados produtos com sua cadeia verticalizada, sendo ela a terceira maior empresa em termos de valores - num valor de aproximadamente 349 bilhões de dólares - e a outra firma é a SK Hynix, esta IDM tem um valor abaixo em termos de *market cap*, no entanto é uma das 5 empresas que dominam o ramo, segundo OCDE (2019).

Dentre os europeus, são os Países Baixos o país entre as 10 maiores empresas e são os únicos com mais de um país entre a lista das 81 companhias. São 4 empresas que juntas somam cerca de 8% do valor total, representadas por ASML - empresa muito ligada e presente no ramo de litografia -, NXP Semiconductors, ASM International e BE Semiconductor. Entre as 4, há um amplo predomínio da ASML, sozinha ela detém 78,46% do valor *market cap* entre as firmas, seguida pelos 15,67% da NXP.

Por fim, há mais dois países asiáticos: Japão e China. O Japão tem um predomínio do setor há anos e com suas 5 empresas domina 3,21% do valor do mercado: Tokyo Electron, Renesas Electronics, Lasertec, Disco Corp., e Rohm. Apesar de ter mais empresas na lista que Coreia do Sul e Países Baixos, não ganha deles em termos de valor ao atingir 111,5 bilhões de dólares.

Por outro lado, a China começa a apresentar seus passos para a indústria de semicondutores. Apesar de ainda ser 1,17% e apenas 3 firmas com ações, porém é importante lembrar que o fenômeno de empresas de semicondutores amplamente estatais é muito comum na China, portanto a análise via *market cap* para esse caso subestima a real participação chinesa no ramo.

Ademais, todos países têm apenas uma empresa na lista, salvo Hong Kong (que tem duas). Os valores orbitam em torno de 1% ou menos e nenhuma das empresas desses locais figura entre as dez maiores firmas em valor. Aqui aparecem a maior parte dos países europeus (Alemanha, Suíça, França, Noruega, Luxemburgo, Reino Unido e Irlanda), de alguns países espalhados no globo, como Israel e Austrália, e Singapura - que já apareceu anteriormente no trabalho por outras contribuições.

Assim, conclui-se que as dez maiores empresas são setorizadas geograficamente entre os EUA, Taiwan, Coreia do Sul e Países Baixos, enquanto os demais países ficam num segundo escalão de valor *market cap*.

Tabela 3 - As 10 maiores empresas de semicondutores em valor (US\$) *market cap*, 2022

País	Empresas	Valor	Participação (%)
TSMC	Taiwan	462.190.870.528,0	18,87
NVIDIA	EUA	438.467.395.584,0	17,90
Samsung	Coreia do Sul	349.754.539.683,0	14,28
Broadcom	EUA	237.370.490.880,0	9,69
ASML	Países Baixos	234.510.057.472,0	9,57
Intel	EUA	179.956.875.264,0	7,35
Texas Instruments	EUA	155.139.833.856,0	6,33
QUALCOMM	EUA	153.227.198.464,0	6,25
AMD	EUA	144.452.440.000,0	5,90
Applied Materials	EUA	94.682.275.840,0	3,86
<i>Total</i>		2.449.751.977.571,0	100,00

Fonte: CompaniesMarketCap (2022)

Nota 1: dados extraídos em 10 de maio de 2022

Nota 2: neste ranking não consta a Apple, ela não é uma companhia de semicondutores apesar de ela ter parte de produção de chips para uso interno.

Outra forma de análise das firmas é através da receita das empresas através de suas vendas. Os dados obtidos através da WSTS e das demonstrações financeiras das empresas foram unificados em uma só tabela, isso porque a OCDE (2019) e outros estudos habitualmente separam as empresas em dois grupos: primeiro os das *fabless* e IDM, segundo os das *pure-play foundries*. *Grosso modo* seria dizer entre as empresas que focam unicamente na produção do CI, e então as demais que ou fazem o processo completo, ou terceirizam parte da produção.

Entre as grandes empresas do mundo, a grande competição como maior em receitas fica entre a Samsung (17,97%) e Intel (16,23%), ambas têm um perfil semelhante de negócio: são empresas IDM. Além disso, entre as dez maiores empresas, novamente se repetem os países: Coreia do Sul, EUA e Taiwan, com uma aparição da japonesa Toshiba (Kioxia). Ela não constava entre as empresas por valor *market cap*. Entre essa lista, os países com mais de uma empresa são: EUA (10 empresas), Taiwan (5 empresas), China, Japão e Coreia do Sul (todos com 3 empresas).

Tabela 4 - As maiores empresas de semicondutores por receita (US\$ milhões), 2018

Empresa	País	Receita	Participação (%)
Samsung Electronics ¹	Coreia do Sul	78.430	17,97
Intel	EUA	70.848	16,23
SK Hynix	Coreia do Sul	36.761	8,42
Taiwan Semiconductor Manufacturing Company (TSMC)	Taiwan	34.197	7,83
Micron	EUA	30.391	6,96
Broadcom	Singapura ²	20.848	4,78
Qualcomm ¹	EUA	17.400	3,99
Texas Instruments	EUA	15.784	3,62
Nvidia	EUA	11.716	2,68
Toshiba Memory Corporation ⁴	Japão	11.444	2,62
Western Digital ¹	EUA	10.117	2,32
STMicroelectronics	Suíça	9.612	2,20
NXP	Países Baixos	9.407	2,15
Infineon	Alemanha	8.968	2,05
Sony Semiconductor ¹	Japão	7.962	1,82
MediaTek	Taiwan	7.892	1,81
HiSilicon (Huawei) ¹	China	7.573	1,73
Apple ^{1 3}	EUA	7.449	1,71
Renesas ¹	Japão	6.703	1,54
AMD	EUA	6.475	1,48
Analog Devices	EUA	6.201	1,42
GlobalFoundries ⁵	EUA	6.200	1,42
United Microelectronics Corporation (UMC)	Taiwan	5.015	1,15
Semiconductor Manufacturing International Corporation (SMIC)	China	3.360	0,77
Powerchip Technology	Taiwan	1.402	0,32
Tower Semiconductor	Israel	1.304	0,30
Vanguard International Semiconductor	Taiwan	959	0,22
Hua Hong Semiconductor	China	930	0,21
DB HiTek ⁶	Coreia do Sul	608	0,14
X-FAB Silicon Foundries	Bélgica	588	0,13
Total		436.544	100,00

Fonte: Demonstração financeira das empresas e WSTS *apud* OCDE (2022)

Nota 1: Somente o segmento de semicondutores

Nota 2: Até 2018, a Broadcom era sediada em Singapura. Posteriormente foi para os EUA.

Nota 3: Valor estimado

Nota 4: Toshiba Memory Co. estava em processo de mudança de nome para Kioxia

Nota 5: Apesar de sediada nos EUA, o dono da empresa é a Mubadala Investment Company, um fundo ligado a Abu Dhabi

Nota 6: O antigo nome era DongBu HiTek.

Entre todas as firmas, apenas a TSMC é uma empresa de *pure-play foundry* e figura entre as empresas com a maior receita. Em valor *market cap* ela era a maior da lista e em receita foi a quarta maior. A área da manufatura tem um papel preponderante no segmento industrial pois entre todas as etapas a que mais agrega valor ao produto são as firmas da etapa de *front-end*, principalmente as fábricas de difusão (GUTIERREZ, LEAL; 2004).

Apesar do alto impacto de agregação de valor, as demais nove firmas *pure-play foundries*¹¹ juntas somam 4,67% de participação na receita, somando juntas pouco mais de 20,4 bilhões de dólares. Além disso, é notável o quão diferente é a receita entre as duas *foundries* taiwanesas, enquanto a TSMC teve 34,197 bilhões de dólares de receita em 2018, a UMC apresentou 5,015 bilhões, uma diferença de quase 7 vezes maior.

Entre os maiores *players* globais, estão 6 empresas que são IDMs¹², 1 empresa de *pure-play foundry*¹³ e 3 *fabless*¹⁴. Mostra que o amplo domínio do mercado é das empresas que atuam ao longo da cadeia toda, realizando a concepção inteira do processo. Não somente a manufatura - que conforme dito acima agrega valor - mas as empresas que englobam a concepção, manufatura, testagem e encapsulamento do chip semiconductor.

Outro ponto a ser notado é a já dita concentração do setor. Se olharmos as quatro primeiras empresas, juntas elas 50,45% da receita das 30 empresas listadas, sendo que apenas duas delas equivalem a 42,62% da receita total. Na divisão de quartis da receita, a fim de agrupar as empresas em 4 grupos iguais, a divisão ficaria conforme o *boxplot* da figura a seguir.

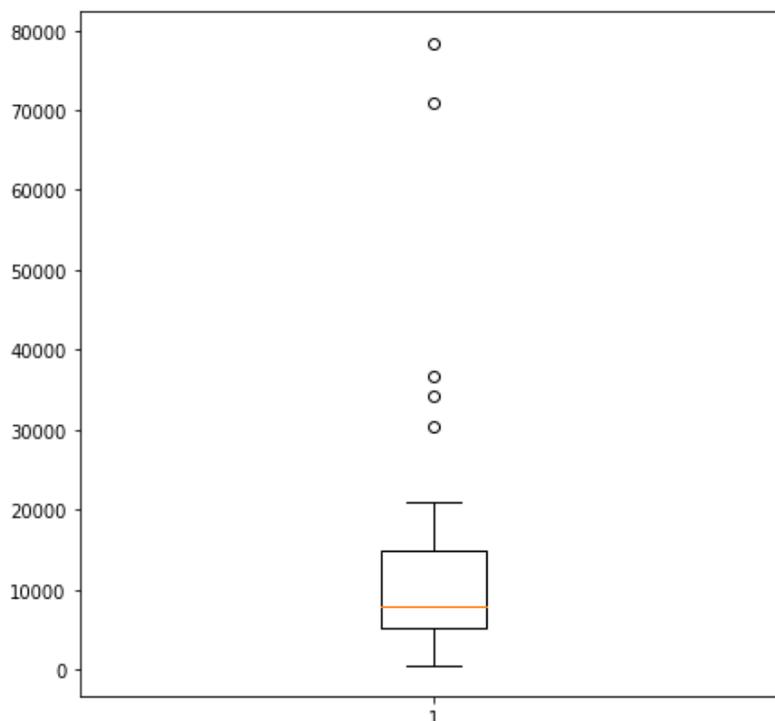
¹¹ As *pure-play foundries* do ranking são: GlobalFoundries; United Microelectronics Corporation (UMC); Semiconductor Manufacturing International Corporation (SMIC); Powerchip Technology; Tower Semiconductor; Vanguard International Semiconductor; Hua Hong Semiconductor; DB HiTek⁶; X-FAB Silicon Foundries

¹² Empresas IDM: Samsung Electronics, Intel, SK Hynix, Micron, Texas Instruments, Toshiba (Kioxia)

¹³ Empresa *pure-play*: Taiwan Semiconductor Manufacturing Company (TSMC)

¹⁴ Empresa *fabless*: Broadcom, Qualcomm e Nvidia.

Figura 12 - *Boxplot* da receita das empresas de semicondutores, 2018



Fonte: Demonstração financeira das empresas e WSTS *apud* OCDE (2022)

A imagem mostra primeiramente como a mediana é baixa, o valor mediano é de 7.927 milhões de dólares, com isso são formados 5 *outliers*. Entre os *outliers* superiores, visivelmente ficam Intel e Samsung, num segundo escalão estão SK Hynix, TSMC e Micron.

Por fim, nota-se também que há uma grande disparidade de receitas, as outras 25 empresas dividem 42,59% da receita.

3.3.2 Desafios globais

Sendo um ramo base para tantos outros, os semicondutores se tornam peça chave para o mundo globalizado. O chip, unidade representativa das peças semicondutoras unidas em um *board*, está presente nos mais variados produtos, e por consequência qualquer alteração na sua produção acarreta consequências.

Para esta seção, será discorrido os problemas que as empresas ligadas ao complexo de semicondutores sofrem - sejam elas produtoras ou demandantes -. Será discutido os desafios globais que o setor está atravessando.

Um primeiro desafio que as empresas passaram foi pela escassez de chips, nos anos recentes o mundo atravessou um difícil período de falta de produtos, e a sua reposição não é simples. King, Leung e Pogkas (2021) apresentam que a fabricação de um chip é incrivelmente difícil assim como é custosa, são bilhões de dólares e vários anos para conseguir estabelecer uma fábrica, além de uma disputa brutal pela inovação dos chips, então

estar um pouco atrás na competição pode significar uma grande perda, além disso, afirmam que os bilhões gastos para montar a estrutura resulta numa obsolescência em 5 anos ou até menos.

Seguindo na linha dos gargalos, Aboagye *et al.* (2022) apresentam que um dos gargalos da indústria de semicondutores é de um processo de produção complexo: o *lead time* dos chips pode demorar 4 meses em produtos já na linha de produção, se for aumentar a produtividade ao mover o produto para outro local de produção podem ser outros 6 meses, e se mudar para um novo fabricante pode ser mais de 1 ano.

Esta falta de CIs foi gravemente afetada pela pandemia da COVID-19, no entanto não começa com ela. Aboayage *et al.* (2022) mostram que a indústria já sofria com questões internas. Além disso, desafios como da indústria automotiva - introduzido acima por Ziady (2022) - decorrem que logo no início de 2020 as montadoras automotivas - muito dependente da indústria de CIs - já cortaram a demanda de chips. Porém a demanda por carros logo se recuperou e então dificultou a obtenção dos chips, visto haver desacelerado.

Além do momento delicado atravessado pela indústria na pandemia, há uma recente guerra comercial travada entre os Estados Unidos e a China, que gera consequências na cadeia e nos produtos. Uma vez que afeta dois países que estão atuando tanto como ofertantes quanto demandantes - portanto nos dois lados da economia - afeta também o fluxo de produtos de semicondutores e *devices* que usam os semicondutores como produtos.

Os dados da OCDE (2019) dizem que 80% do comércio internacional de bens relacionados a semicondutores está centrado entre a China, os Estados Unidos, a União Europeia, Hong Kong, Japão, Coreia do Sul, Malásia, Singapura e Taiwan. Desses países, há relações comerciais, mas também historicamente há relações de produção.

Um dos pontos de relação entre os países ao longo da cadeia de semicondutores são as transferências internacionais de tecnologia, como forma de melhorar a sua tecnologia e atrair mais firmas. As formas de fazer isso são diversas, tais como importação de equipamentos, abertura para receber o investimento direto externo, licenciamento de tecnologia e afins (OCDE, 2019).

Há casos comuns de relação de países que se desenvolveram, é o caso tanto de Taiwan quanto da Coreia do Sul. O estudo da OCDE (2020) traz a opinião da SIA e Nathan Associates (2016) que Taiwan se desenvolveu mais rápido no ramo após o recebimento de plantas de montagem provenientes dos Estados Unidos, já para o caso da Coreia do Sul, eles trazem a opinião de Hwang e Choung (2014) que afirmam que o caso do país é semelhante ao taiwanês: eles entraram no ramo sendo subordinados aos EUA.

Outro exemplo recente é o da Malásia, apontado anteriormente nas importações e exportações dos semicondutores. Ao final de 2021, o país apresentou conversas com Gina Raimondo, secretária de comércio dos EUA, mostrando o planejamento da indústria para desenvolver mais transparência e confiança no setor de manufatura do país e seus correlatos. Além disso, a norte-americana Intel (que está na Malásia desde 1972) planeja investir US\$7,1 bilhões para montar uma estrutura de montagem e testagem em Penang e em Kedah. Outras empresas também investirão no país, são elas: Nexperia (Países Baixos), Infineon (Alemanha) e AT&S (Japão) (FOSTER, 2021).

Portanto, as relações de produção entre os países fazem com que eles sejam conectados entre si. Uma vez que estão conectados e dependentes - dado que cada empresa se especializa num ramo de produção (OCDE, 2020) - então também estão suscetíveis às mudanças que o mundo pode sofrer. Recentemente, a dinâmica global se moveu e países têm alguns entraves entre si, é o caso da China e Taiwan: elas se amenizaram no governo de Ma Ying-jeou (2008-2016) no entanto há pouco um aumento da barreira de entrada da presença chinesa na indústria taiwanesa por medo do excesso de capital chinês se acumulando em setores estratégicos (DENG; DENG; 2022).

A geopolítica se alterou também após a eleição de Donald Trump (DENG; DENG; 2022). Recentemente, houve o surgimento de uma guerra comercial entre a China e os Estados Unidos em 2017, uma consequência das medidas entre os dois países e que levaram às quedas nas vendas ao fim de 2018 e início de 2019, conforme apresenta a OCDE (2020). As medidas adotadas pelos EUA foram de inserir barreiras tarifárias para produtos importados pela China como também tentarem barrar avanços da China no design de CI por:

sufocamento da demanda externa por bens de TIC através de embargo em escala internacional e lobbies coordenados com autoridades estrangeiras; e exclusão da RPC das cadeias produtivas globais de TIC, dificultando o acesso dela a tecnologias-chaves para design e produção de semicondutores, das quais a RPC ainda é extremamente dependente. (DENG; DENG, 2022, p. 17)

Por outro lado, as autoridades regulatórias da China começaram a obstruir as atividades de empresas americanas em território chinês (DENG; DENG; 2022).

Assim, os imbrólios entre nações têm potencial de afetar as cadeias globais, dificultando tanto a produção de determinados produtos quanto às negociações por determinados produtos. O desafio global em torno do tema é que é preciso estar no campo de visão dos tomadores de decisões empresariais atentos a possíveis novos capítulos nos desenrolar dos capítulos, pois decisões arbitrárias podem alterar toda a forma de operar das firmas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho visou a compreensão do desempenho dos principais *players* globais no mercado de semicondutores, ramo que faz parte do *core* da Indústria 4.0, bem como a estrutura desse segmento. Para realizar isso, foi traçada o histórico das revoluções tecnológicas (no olhar de Carlota Perez) e das revoluções industriais (no ponto de Klaus Schwab) e como chegaram na atual Quinta Revolução Tecnológica e Quarta Revolução Industrial, respectivamente. Feito o histórico das revoluções, houve uma categorização do conceito de Indústria 4.0 para então entrar no estudo da indústria de semicondutores no mundo e no Brasil. O estudo disso foi seguindo métricas de faturamento das empresas, as vendas e a receita.

Quanto à categorização Indústria 4.0, a descrição foi feita em cima da linha econômica de origem schumpeteriana, através dela foram apresentadas as revoluções tecnológicas que pautaram a vida em sociedade - de modo geral - e os novos paradigmas tecno-econômicos. Através disso foi possível entender onde a Indústria 4.0, sendo essa uma categoria compatível com a Quinta Revolução Industrial, e como ela já pauta a vida da sociedade no século XXI.

Mas, para compreender a completude no movimento com a óptica neo-schumpeteriana, é preciso ter em mente o que os autores do tema definem como fator-chave de revolução. E o fator-chave da Indústria 4.0 é o chip, ele é o insumo que se pulveriza na revolução em curso e permite a ampla utilização de vários produtos. Todos aqueles produtos apresentados por Neugebauer *et al.* (2016) e Hermann, Pentek e Otto (2015) dependem do CI para funcionarem.

Assim, a indústria que se ergue é base para as demais, pois vimos que ela provê produtos para as mais variadas áreas. No entanto, isso não é de modo igual para todos: a indústria de semicondutores é mais assídua em alguns países com um mercado produtor muito concentrado.

Historicamente é povoada pelos Estados Unidos e alguns países asiáticos, tais como Coreia do Sul e Japão. No entanto, nos últimos anos a China ganhou parcela no mercado, conforme as importações e exportações mostraram, ao passo que os europeus perderam um pouco do espaço que ocupavam.

Já para o Brasil, não foi possível avançar além de uma análise do desempenho recente e de algumas poucas tendências. O país ainda vive de maneira incipiente no ramo, apesar de consumir os produtos ainda tem pouco a oferecer em termos produtivos. Ademais, também são escassos os dados sobre a real situação das indústrias nacionais, bem como sobre a situação das empresas. Dadas as condições necessárias para o estabelecimento do ramo no

país, o que parece após estudar sobre o tema é que ainda estamos muito longe da realidade, os frutos da indústria são colhidos no longo prazo, e em nosso presente não se observa o plantio.

Sendo um segmento pouco presente no Brasil e muito presente em poucos países, o mesmo acontece na relação com as empresas: são poucas empresas que detém grande parcela do mercado, assim como tem ramos específicos dominados por indústrias específicas. São exemplos a especialização asiática no ramo das memórias - principalmente Coreia do Sul e Japão - *pari passu* que Taiwan, através da TSMC e da UMC, domina a etapa da manufatura com suas *foundries*. Os Estados Unidos ainda seguem muito a lógica do século passado ao possuírem várias IDMs.

Além de concentrado, o mercado dos semicondutores tem sido alvo de grandes turbulências. Nos últimos anos se foi somando tanto uma pandemia global, que afetou as cadeias globais, bem como disputas geopolíticas entre os países e que colocaram frente a frente os grandes atores da economia: EUA e China. Deste modo, dada a concentração global do mercado, somado às altas barreiras monetárias e científicas para entrar no ramo, bem como a incerteza e o investimento de longo prazo necessário para retomar o investimento, dão sinais que a indústria de semicondutores não apresenta sinais de se desconcentrar. Exceto para a China, que a própria OCDE (2020) reconhece o crescimento deles no ramo e aponta como um possível grande *player*.

Outra tendência do ramo é o crescimento do mercado. Os valores de vendas dos produtos, seja em quantidade ou em valor, mostram uma linha de tendência crescente (conforme Figura 2 e Figura 3). Isso é marca também do próprio CI como fator-chave da revolução tecnológica em curso, que serve de base para todos os produtos.

Para o futuro, é certo que veremos falar muito ainda dos chips e das funcionalidades da Indústria 4.0, o campo ainda tem a avançar tanto na categorização do termo (dada que ela é suscetível a sofrer mudanças) e no estudo da Quarta Revolução Industrial como um fenômeno da economia, pois é algo novo. Para a realidade dos semicondutores entendo que ainda será necessário o acompanhamento do campo, tanto pela sociedade que consome o bem quanto pelos tomadores de decisões, pois é muito importante e estratégico. Os exemplos recentes mostram que um desabastecimento de chips semicondutores pode levar à paralisação de cadeias da economia. Mais além, componentes e sensores também desempenham papel de extrema importância para a atividade industrial, portanto a sua ausência é potencialmente danosa às economias nacionais.

Aqui, o enfoque dos líderes nacionais aparenta carecer cada vez mais de um olhar analítico e cuidadoso na tomada de decisões políticas, as consequências políticas podem ser

muito problemáticas à soberania nacional tanto pelo lado consumidor quanto produtivo. Uma nova escassez de CIs pode levar ao encarecimento de computadores, maquinários, automóveis e os demais bens, eles de CI embarcado ou não.

Por fim, espero que seja dada no Brasil a prioridade e a urgência necessário para esta indústria. Pois ela é de grande valia para todas ramificações da indústria, bem como consegue dar dinamicidade à economia, conforme apresentamos acima. Portanto deixo registrado a esperança da disposição de atenção para a indústria no nível que é necessário.

REFERÊNCIAS

ABDI – AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. **As Design Houses brasileiras**: relatório analítico. Brasília, 2011.

ABDI – AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. **Avaliação das estratégias de negócios das empresas de projeto de circuitos integrados do Programa CI-Brasil**. Brasília, 2014.

ABISEMI - Associação Brasileira da Indústria de Semicondutores. **Indústria de semicondutores deverá fechar 2020 com crescimento de 5% no faturamento**. 2020.

Disponível em:

<https://www.abisemi.org.br/abisemi/noticia/104/industria-de-semicondutores-devera-fechar-2020--com-crescimento-de-5*-no-faturamento>. Acesso em 26 nov. 2021.

ABOAGYE, Aaron *et al.* **When the chips are down**: How the semiconductor industry is dealing with a worldwide shortage. 2022. Disponível em:

<<https://www.weforum.org/agenda/2022/02/semiconductor-chip-shortage-supply-chain/>>.

Acesso em: 23 maio 2022.

AITA, Bruna Homrich. **A cadeia produtiva da indústria de semicondutores**: um estudo exploratório. 2013. 91 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

ALSOP, Thomas. **Sales of semiconductors by product segment worldwide from 2017 to 2020**. 2022. Disponível em:

<<https://www.statista.com/statistics/894278/semiconductor-sales-worldwide-by-product-segment/>>. Acesso em: 29 abr. 2022.

AREND, Marcelo; FONSECA, Pedro Cezar Dutra. Brasil (1955-2005): 25 anos de catching up, 25 anos de falling behind. **Revista de Economia Política**, v. 32, n. 1, p. 33–54, 2012.

Disponível em:

<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-31572012000100003&lng=pt&tlng=pt>. Acesso em: 1 jun. 2022.

BUXMANN, Peter; HESS, Thomas; RUGGABER, Rainer. **Internet of Services. Business & Information Systems Engineering**, v. 1, n. 5, p. 341–342, 2009. Disponível em:

<<http://link.springer.com/10.1007/s12599-009-0066-z>>. Acesso em: 18 jun. 2022.

CANO, Wilson. A desindustrialização no Brasil. **Economia e Sociedade**, [S.L.], v. 21, n. , p. 831-851, dez. 2012. FapUNIFESP (SciELO).

<http://dx.doi.org/10.1590/s0104-06182012000400006>.

CARROLL, Sean Goulding. Pandemic, semiconductor shortage sees 2021 car production idle. **Euractiv**, 6 jan. de 2022. Disponível em:

<<https://www.euractiv.com/section/transport/news/pandemic-semiconductor-shortage-sees-2021-car-production-idle/>>. Acesso em: 26 jan. 2022.

CEITEC - Centro Nacional de Tecnologia Eletrônica Avançada. **O que é um chip?**. 2021.

Disponível em: <<https://acceitec.net.br/infograficos-ceitec/>>. Acesso em: 23 nov. 2021.

CHO, D. S.; KIM, D. J.; RHEE, D. K. Latecomer strategies: evidence from the semiconductor industry in Japan and Korea. **Organization Science**, Catonsville, MD, v. 9, n. 4, p. 489-505, 1998.

CNI - Confederação Nacional da Indústria. **Desafios para Indústria 4.0 no Brasil**. 2016.

Disponível em:

<<https://www.portaldaindustria.com.br/publicacoes/2016/8/desafios-para-industria-40-no-brasil/>>. Acesso em: 15 fev. 2022.

COMPANIESMARKETCAP. **Largest semiconductor companies by market cap**. 2022.

Disponível em:

<<https://companiesmarketcap.com/semiconductors/largest-semiconductor-companies-by-market-cap/>>. Acesso em: 10 maio 2022..

DENG, Ben Lian; DENG, Ben Shen. A economia política da indústria de semicondutores e o recente desenvolvimento limitado da República Popular da China (2014-2021). **Revista de Economia Contemporânea**, v. 26, 2022. Disponível em:

<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-98482022000100200&tlng=pt>. Acesso em: 25 maio 2022.

FILIPPIN, Flavia. **Estado e desenvolvimento: a indústria de semicondutores no Brasil**. Rio de Janeiro: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2020. 438 p. ISBN: 9788587545671. (Prêmio BNDES de Economia; 37)

FOLHA DE S. PAULO. **Setor de semicondutor deve crescer**. 2002. Disponível em:

<<https://www1.folha.uol.com.br/fsp/dinheiro/fi0101200205.htm>>. Acesso em: 25 abr. 2022.

FOSTER, Scott. **Big chip and tech investment pouring into Malaysia**: Intel plans new semiconductor packaging and test facilities while US government collaborating on secure chip supply chains. 2021. Disponível em:

<<https://asiatimes.com/2021/12/big-chip-and-tech-investment-pouring-into-malaysia/>>.

Acesso em: 28 maio 2022.

FREEMAN, Christopher; PEREZ, Carlota. Structural crises of adjustment, business cycles and investment behaviour. In: DOSI *et al.* **Technical Change and Economic Theory**.

London, New York: Pinter, 1988. p. 39 - 66.

GUTIERREZ, Regina Maria Vinhais; LEAL, Claudio Figueiredo Coelho. **Estratégias para uma indústria de circuitos integrados no Brasil**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 19, p. 3-22, mar. 2004

HERMANN, M; PENTEK, T.; OTTO, B. (2015). Design Principles for Industrie 4.0

Scenarios: A Literature Review. **Technische Universität Dortmund**, Working Paper n. 1.

HU, Genda J. Government-industry partnerships in Taiwan. In: WESSNER, C. W. (ed.).

Securing the Future: regional and national programs to support the semiconductor industry.

Washington, D.C.: The National Academies Press, 2003. p. 150-156.

HWANG, Hye-Ran; CHOUNG, Jae-Yong. The Co-evolution of Technology and Institutions in the Catch-up Process: The Case of the Semiconductor Industry in Korea and Taiwan. **The**

Journal of Development Studies, v. 50, n. 9, p. 1240–1260, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/00220388.2014.895817>>. Acesso em: 28 maio 2022.

IC INSIGHTS. **IC Sales Seen Growing by Double-Digits for Third Year in a Row**. IC Insights Research Bulletin, [S.l.], jan. 2022a. Disponível em: <<http://www.icinsights.com/data/articles/documents/1426.pdf>>. Acesso em: 12 abr. 2022.

IC INSIGHTS. **Semiconductor Sales To Rise at 7.1% CAGR Through 2026**. IC Insights Research Bulletin, [S.l.], fev. 2022b. Disponível em: <<http://www.icinsights.com/data/articles/documents/1430.pdf>>. Acesso em: 27 abr. 2022.

IC INSIGHTS. **Top 10 Companies Hold 57% of Global Semi Marketshare**. IC Insights Research Bulletin, [S.l.], abr. 2022c. Disponível em: <<http://www.icinsights.com/data/articles/documents/1450.pdf>>. Acesso em: 28 abr. 2022.

IC INSIGHTS. **17 Semiconductor Companies Forecast to Have >\$10.0 Billion in Sales This Year**. IC Insights Research Bulletin, [S.l.], dez. 2021. Disponível em: <<http://www.icinsights.com/data/articles/documents/1421.pdf>>. Acesso em: 28 abr. 2022.

IEDI - Instituto de Estudos para o Desenvolvimento Industrial. **Políticas para o desenvolvimento da Indústria 4.0 no Brasil**. 2018. Disponível em: <http://iedi.org.br/media/site/artigos/20180710_politicas_para_o_desenvolvimento_da_industria_4_0_no_brasil.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2021.

IRWIN, Douglas A.. The U.S.-Japan Semiconductor Trade Conflict. In: KRUEGER, Anne O. (ed.). **The Political Economy of Trade Protection**. Chicago: University Of Chicago Press, 1996. Cap. 1. p. 5-14.

ITC - International Trade Centre. **Trade Map: Trade statistics for international business development**. 2022. Disponível em: <<https://www.trademap.org/Index.aspx>>. Acesso em: 02 mai. 2022.

KING, Ian; LEUNG, Adrian; POGKAS, Demetrios. **The Chip Shortage Keeps Getting Worse: Why Can't We Just Make More?**. 2021. Disponível em: <<https://www.bloomberg.com/graphics/2021-chip-production-why-hard-to-make-semiconductors/>>. Acesso em: 23 maio 2022.

MATHEWS, John A.; CHO, Dong-Sung. **Tiger Technology: the creation of a semiconductor industry in east asia**. Nova Iorque: Cambridge Press, 2007. 416 p.

MAZZUCATO, Mariana. **O Estado Empreendedor: desmascarando o mito do setor público vs. setor privado**. São Paulo: Portfolio-Penguin, 2014.

MELO, P. R. S.; RIOS, E. C. S. D.; GUTIERREZ, R. M. V. Componentes eletrônicos: perspectivas para o Brasil. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 13, p. 3-64, mar. 2001.

MOORE, Gordon. The SEMATECH Contribution. In: WESSNER, C. W. (ed.). **Securing the Future: regional and national programs to support the semiconductor industry**. Washington, D.C.: The National Academies Press, 2003. p. 96-103.

MOREIRA JR., Hermes. Indústria 4.0 e novas dimensões tecnológicas no centro da economia-mundo capitalista: perspectivas para o Brasil. **OIKOS**, Rio de Janeiro, v. 19, n.2, p. 79-91, set. 2020. Disponível em: <<http://www.revistaoikos.org/seer/index.php/oikos/article/view/654/336>>. Acesso em: 23 nov. 2021.

NEUGEBAUER, Reimund *et al.* Industrie 4.0 - From the Perspective of Applied Research. **Procedia Cirp**, [S.L.], v. 57, p. 2-7, 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2016.11.002>.

OECD - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico. **Measuring distortions in international markets: the semiconductor value chain**. 234. ed. Paris: OECD Publishing, 2019. 111 p. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1787/8fe4491d-en>>. Acesso em: 28 mar. 2022.

OURIQUES, Helton. O Brasil como semiperiferia na economia mundo capitalista: evidências com base em indicadores de educação, ciência & tecnologia e inovação. In: ENCONTRO ABRI, 6., 2017, Belo Horizonte. **Anais [...]**. [S.L.]: ABRI, 2017. v. 1, p. 4-18.

PEREZ, Carlota. **Revoluciones tecnológicas y capital financiero**: la dinámica de las grandes burbujas financieras y las épocas de bonanza. México: Siglo XXI, 2004.

PEREZ, Carlota. Technological revolutions and techno economics paradigms. **Technology Governance And Economic Dynamics**, Tallinn, n. 20, p. 1-26, jan. 2009. Disponível em: <<http://technologygovernance.eu/files/main//2009070708552121.pdf>>. Acesso em: 25 maio 2022.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar. **Metodologia do Trabalho Científico**: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico. 2. ed. Novo Hamburgo: Editora Feevale, 2013. 276 p. Disponível em: <<https://www.feevale.br/institucional/editora-feevale/metodologia-do-trabalho-cientifico---2-edicao>>. Acesso em: 20 jan. 2022.

SCHUMPETER, Joseph Alois. **Teoria do desenvolvimento econômico**: uma investigação sobre lucros, capital, crédito, juro e o ciclo econômico. São Paulo: Nova Cultural, 1997.

SIA - SEMICONDUCTOR INDUSTRY ASSOCIATION. **2020**: State of the U.S. semiconductor. Washington: SIA, 2020. 20 p.

SIA - SEMICONDUCTOR INDUSTRY ASSOCIATION. **Beyond Borders**: the global semiconductor value chain. Washington: SIA, 2016. 47 p. Disponível em: <<https://www.semiconductors.org/wp-content/uploads/2018/06/SIA-Beyond-Borders-Report-FINAL-June-7.pdf>>. Acesso em: 28 maio 2022.

SIA - SEMICONDUCTOR INDUSTRY ASSOCIATION. **Global Semiconductor Sales Increase 26.8% Year-to-Year in January**. 2022. Disponível em: <<https://www.semiconductors.org/global-semiconductor-sales-units-shipped-reach-all-time-highs-in-2021-as-industry-ramps-up-production-amid-shortage/>>. Acesso em: 27 abr. 2022.

SILVA, Ricardo. **China: uma potência** - país é considerado a oficina do mundo. Disponível em:
<<https://educacao.uol.com.br/disciplinas/geografia/china-uma-potencia-pais-e-considerado-a-oficina-do-mundo.htm>>. Acesso em: 21 abr. 2022.

TING-FANG, Cheng; LI, Lauly. **TSMC plans to spend record \$44bn on capacity expansion in 2022**: taiwan titan says demand will remain strong even if chip crunch eases. Taiwan titan says demand will remain strong even if chip crunch eases. 2022. Disponível em:
<<https://asia.nikkei.com/Business/Companies/TSMC-plans-to-spend-record-44bn-on-capacity-expansion-in-2022>>. Acesso em: 02 fev. 2022.

VARAS, Antonio et al. **Strengthening the Global Semiconductor Value Chain in an uncertain era**. Boston: SIAI, 2021. 53 p. *Elaboração em parceria do Grupo BCG e SIA*.

VIEIRA, P.; OURIQUES, H.; AREND, M. A posição do Brasil frente à Indústria 4.0: mais uma evidência de rebaixamento para a periferia?. **OIKOS**, Rio de Janeiro, v. 19, n. 3, p. 12-34, jan. 2021. Disponível em:
<<http://www.revistaoikos.org/seer/index.php/oikos/article/view/668/342>>. Acesso em: 22 nov. 2021.

WOLF, P. J. W.; DE OLIVEIRA, G. C. Fórum Econômico Mundial: os desafios da "Quarta Revolução Industrial". **CERI - Centro de Estudos de Relações Internacionais**, 29 jan. 2016. Disponível em:
<<https://www.eco.unicamp.br/ceri/centro/147-postagem/535-artigo-de-paulo-wolf-e-giuliano-oliveira-sobre-o-forum-economico-mundial-2016>>. Acesso em: 24 nov. 2021

WSTS - World Semiconductoctor Trade Statistics. **WSTS Semiconductor Market Forecast Spring 2021**. 6. ed. San Jose: WSTS, 2021. 2 p. Disponível em:
<https://www.wsts.org/esraCMS/extension/media/f/WST/5088/WSTS_nr-2021_06.pdf>. Acesso em 27 nov. 2021.

WSTS - World Semiconductoctor Trade Statistics. **WSTS Semiconductor Market Forecast Spring 2022**. 5. ed. San Jose: WSTS, 2022. 2 p. Disponível em:
<https://www.wsts.org/esraCMS/extension/media/f/WST/5550/WSTS_nr-2022_05.pdf>. Acesso em 13 jun. 2022.

ZIADY, Hanna. O mundo passa por uma escassez de chips, e isso é uma má notícia para você. **CNN**. Londres, 29 abr. 2021. Disponível em:
<<https://www.cnnbrasil.com.br/business/o-mundo-passa-por-uma-escassez-de-chips-e-isso-e-uma-ma-noticia-para-voce/>>. Acesso em: 27 nov. 2021