

Evolução do computador: do ábaco ao ENIAC ao Summit

MAC 344 - Arquitetura de Computadores
Prof. Siang Wun Song

- Tecnologia expressa em gerações
 - Primeira geração: válvulas
 - Segunda geração: transistores
 - Terceira geração: circuito integrado VLSI
 - Novas gerações
- Evolução caracterizada por:
 - Aumento da velocidade do processador
 - Diminuição do tamanho dos componentes
 - Aumento da capacidade de I/O e velocidade

Evolução do computador e do seu desempenho

- A razão principal é a diminuição do tamanho do transistor, expressa pela **Lei de Moore: a quantidade de transistores em uma pastilha (*chip*) de silício dobra a cada 18 meses.**
- O processador vem sendo aprimorado com técnicas como *pipelining*, *superescalar*, predição de desvio, execução especulativa e *multicore*. Além disso, vemos hoje o uso cada vez mais da computação paralela maciça com milhares ou milhões de processadores.
- Uma questão importante é a necessidade de balancear o desempenho dos vários elementos. A velocidade do processador aumenta mais rapidamente do que o tempo de acesso à memória. São essenciais técnicas para compensar essa diferença, como cache, largura de banda maior entre o processador e memória, etc.

História da Computação - Ábacos antigos

- Ábaco da Mesopotâmia (2700 - 2300 A.C.)
- Ábaco romano (1.o século D.C.)

Source: Museo Nazionale Romano



Ábaco chinês

- Ábaco chinês 算盘
- Invento de Li Shou 隶首, oficial historiógrafo do imperador Huang-ti 黄帝 (2696 - 2598 a.C.).



Fonte: S. W. Song

- Acima temos a representação do número **2009**.
- O logotipo do Instituto de Computação da Unicamp é um ábaco indicando o ano de início do Bacharelado em Ciência da Computação da Unicamp.
- Procure esse logotipo e responda: **em que ano foi mesmo?**

- Taboada para somar:

加法口诀

加数	不进位加		进位加	
	直加	满五加	进十加	破五进十加
一	一上一	一下五去四	一去九进一	
二	二上二	二下五去三	二去八进一	
三	三上三	三下五去二	三去七进一	
四	四上四	四下五去一	四去六进一	
五	五上五		五去五进一	
六	六上六		六去四进一	六上一去五进一
七	七上七		七去三进一	七上二去五进一
八	八上八		八去二进一	八上三去五进一
九	九上九		九去一进一	九上四去五进一

Fonte: Wikipedia

- Existem também taboadas para subtrair, multiplicar e dividir.

Ábaco chinês

Ábaco chinês aparece na mesa de um boticário na pintura
Along the River during the Qingming Festival (Século 12)



Fonte: Wikipedia

Ábaco chinês

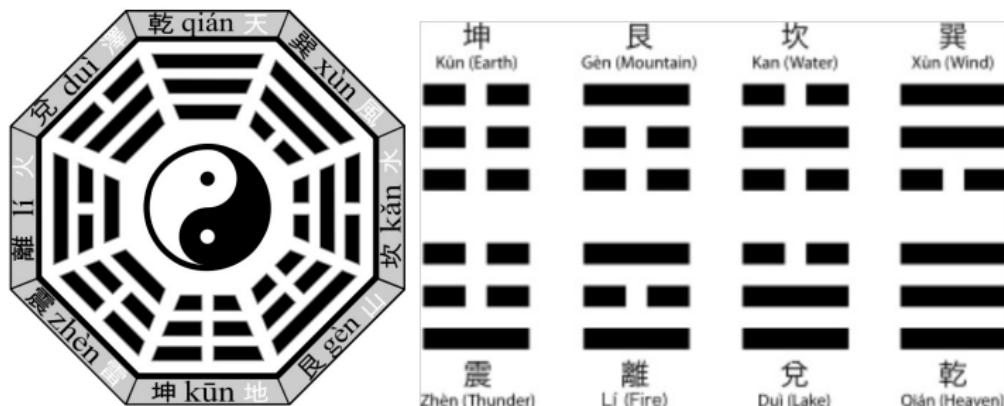
Ábaco chinês aparece na mesa de um boticário na pintura
Along the River during the Qingming Festival (Século 12)



Fonte: Wikipedia

Bagua e o sistema binário

- Durante a dinastia Zhou (ano 1.046 a.C. - 256 a.C.), o texto clássico *I Ching* (Livro das Mutações) tem como base o *Bagua* (oito trigramas), 八卦 baseado na numeração binária.
- O *Bagua* e os oito trigramas (3 bits):



Fonte: Wikipedia

Sessenta e quatro hexagramas (do livro I Ching)

Sessenta e quatro hexagramas (6 bits):

六十四卦構成表

坤 (地)	艮 (山)	坎 (水)	巽 (風)	震 (雷)	離 (火)	兌 (澤)	乾 (天)	上卦 ↓ 下卦
11. 地天泰	26. 山天大畜	5. 水天需	9. 風天小畜	34. 雷天大壯	14. 火天大有	43. 漢天夬	1. 乾為天	三
19. 地澤臨	41. 山澤損	60. 水澤節	61. 風澤中孚	54. 震澤歸妹	38. 火澤賁	58. 兌澤渙	10. 天澤觀	兌 (澤)
36. 地火明夷	22. 山火贲	63. 水火既濟	37. 風火家入	55. 震火丰	30. 繩為火	49. 漢火革	13. 天火同人	離 (火)
24. 地雷復	27. 山雷頤	3. 水雷屯	42. 風雷益	51. 震為雷	21. 火雷噬嗑	17. 漢雷賁	25. 天雷无妄	震 (雷)
46. 地風升	18. 山風蛊	48. 水風井	57. 風為風	32. 震風恒	50. 火風鼎	28. 漢風大過	44. 天風姤	巽 (風)
7. 地水師	4. 山水蒙	29. 坎為水	58. 風水柔	40. 震水解	64. 火水未濟	47. 漢水困	6. 天水訟	坎 (水)
15. 地山謙	52. 艮為山	39. 水山蹇	55. 風山剝	62. 雷山小過	56. 火山旅	31. 漢山咸	33. 天山遁	艮 (山)
2. 推為姤	23. 山地剝	8. 水地比	20. 風地蠱	16. 雷地豫	35. 火地晉	45. 漢地萃	12. 天地否	坤 (地)

Fonte: Wikipedia

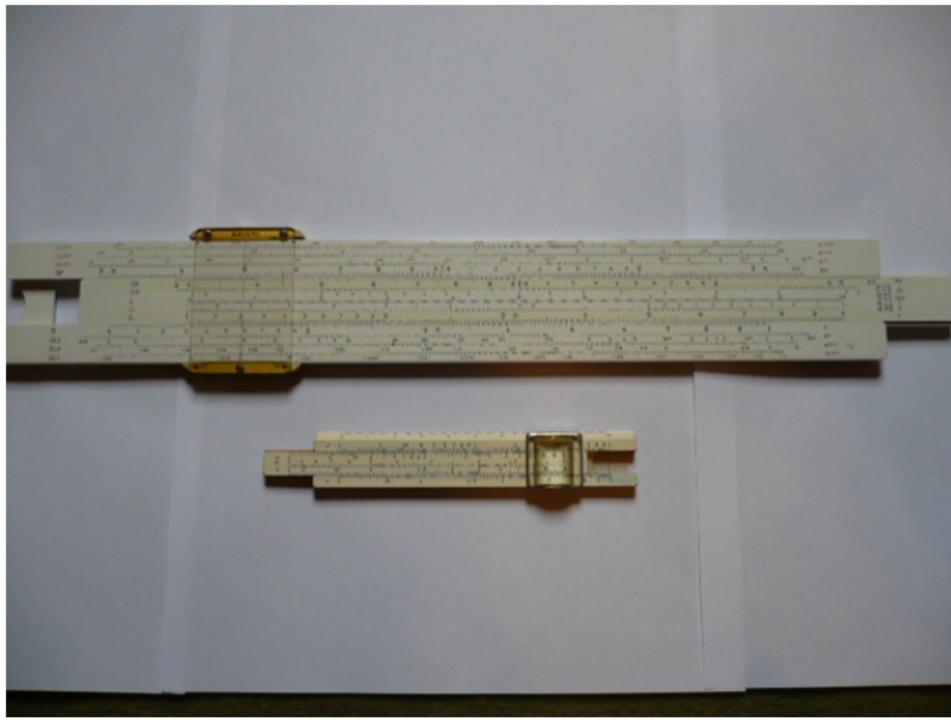
- I Ching era conhecido tanto como um oráculo como um livro da sabedoria.
- Baseado em I Ching, Leibniz (1703) desenvolveu a aritmética binária.



Régua de cálculo

- Régua de cálculo (Século 17) (baseado no logaritmo)

Source: S. W. Song



Geração 0 - “Computadores” mecânicos 1642 - 1945

- Wilhelm Schickard - 1623

Source: Universität Tübingen



- B. Pascal - 1645

Source: Univ. of Vienna

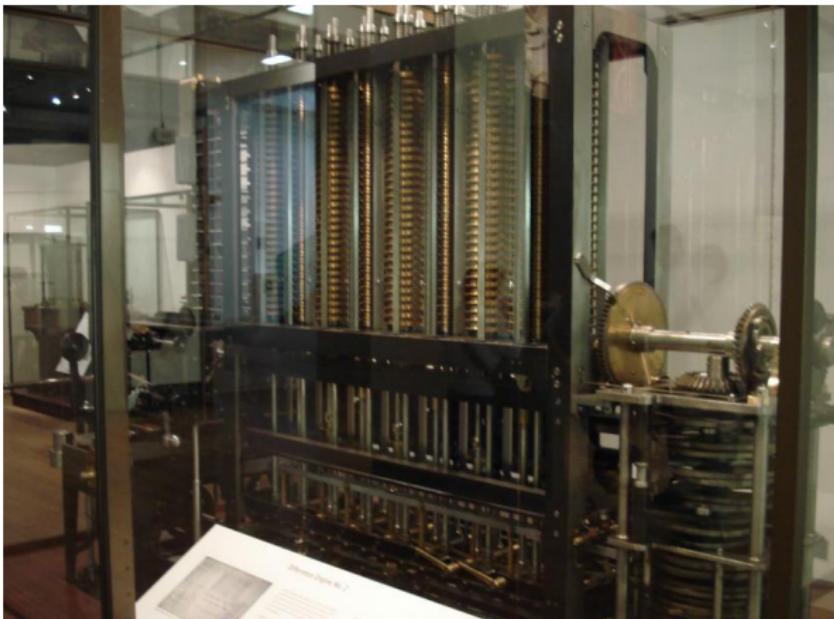


Geração 0 Computadores mecânicos - Babbage

- Charles Babbage (1792-1871)

Difference Engine: executaria apenas um algoritmo (cálculo de tabela para navegação marítima)

Source: London Science Museum

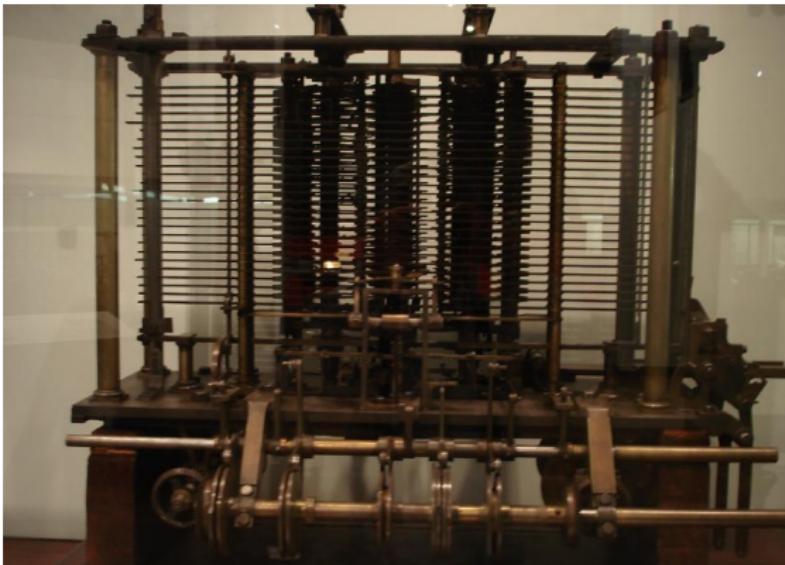


Geração 0 Computadores mecânicos - Babbage

- *Analytical Engine*: Máquina de uso geral, mas não ficou operacional. Tem 4 partes: armazenamento, computação, entrada, saída

Primeira programadora: Ada Lovelace.

Source: London Science Museum



Geração 0 Computadores mecânicos - MARK I (1944)

- H. Aiken: MARK I (1944)

Usava relés mecânicos - Ciclo de relógio de 0,3 segundos

Source: www.ibm.com



Geração 1 - Válvulas 1945 - 1955

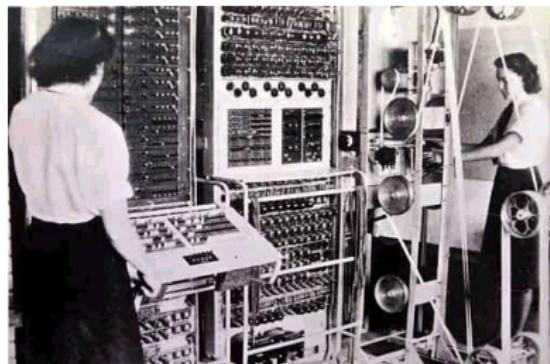
Source: S. W. Song



Geração 1 Válvulas - Colossus (1943)

- Colossus (1943):
Construído pelo governo britânico para decifrar mensagens codificadas por ENIGMA.

Source: Public Record Office, London



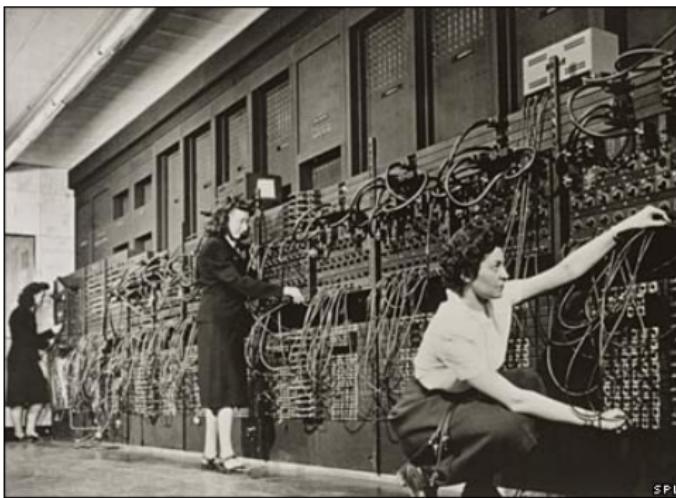
Source: London Imperial War Museum



Geração 1 Válvulas - ENIAC (1946)

- Mauchley e Eckert - U. Penn. (fundaram depois a UNIVAC).
- 18.000 válvulas - Programada por 6.000 chaves
- 30 toneladas - ciclo relógio 200 micro-segundos (5 KHz)

Source: British Broadcasting Corporation - BBC

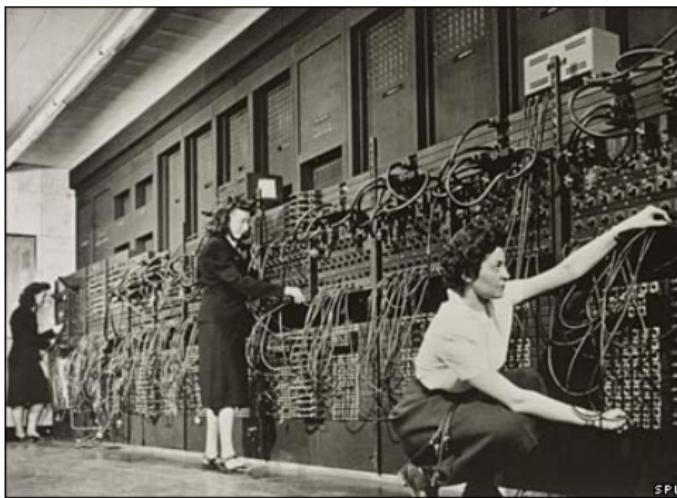


Hmmmm, achei o erro! Aqui faltou um ponto-e-vírgula :-)

Geração 1 Válvulas - ENIAC (1946)

- Mauchley e Eckert - U. Penn. (fundaram depois a UNIVAC).
- 18.000 válvulas - Programada por 6.000 chaves
- 30 toneladas - ciclo relógio 200 micro-segundos (5 KHz)

Source: British Broadcasting Corporation - BBC



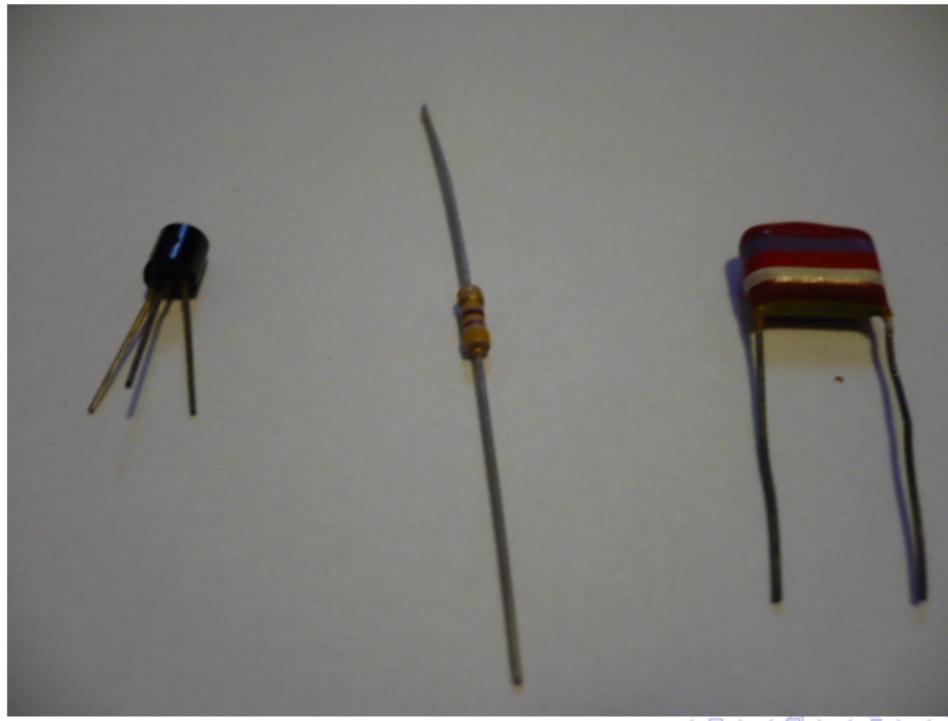
Hmmmm, achei o erro! Aqui faltou um ponto-e-vírgula :-)

- EDSAC (1949) - Wilkes
Primeiro computador com programa armazenado
- IAS (1952) - von Neumann
Arquitetura de von Neumann: usada até hoje
Consiste em: memória, processador, controle, entrada, saída
- IBM 701 (1953)
Primeiro de uma série de máquinas científicas

Geração 2 - Transistores 1955 - 1964

- Transistor, resistor, capacitor

Source: S. W. Song



Geração 2 - Transistores 1955 - 1964

- IBM 1620 - primeiro computador da USP (1962)
- Memória de ferrite de 100.000 bits (12,5 Kbytes)
- Entrada e saída por cartão perfurado.

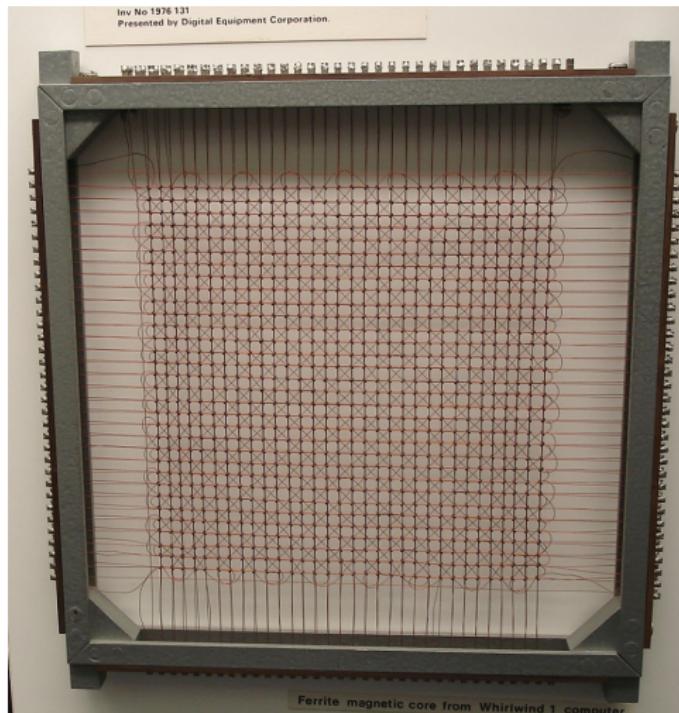
Source: IBM



Geração 2 - Transistores 1955 - 1964

- IBM 1620 - primeiro computador da USP (1962)
- Memória de ferrite de 100.000 bits (12,5 Kbytes)

Source: Science Museum - London



Entrada por cartão

Source: S. W. Song



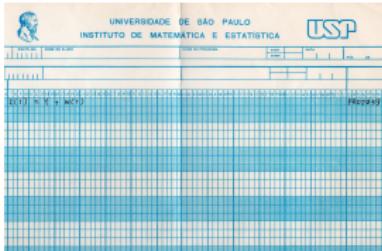
Source: Univ. Stuttgart



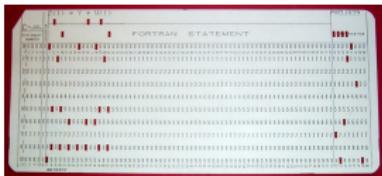
Procedimento complicado para rodar um programa

Início: Folha de codificação → cartão perfurado → Processamento em lote → Pegar resultado. Errou? Goto Início. (Você ainda tem $n := n - 1$ créditos para este EP :-(

Source: S. W. Song



Source: Wikipedia



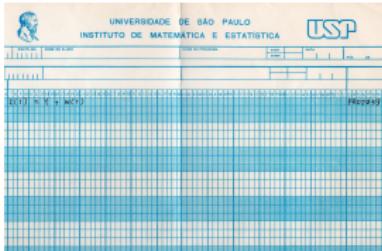
```
1      K=1
2      IF (K.EQ.11) GO TO 8
3      READ I,J
4      IF (J.GT.I) GO TO 65
5      GO TO 66
6      65      WRITE(6,6002) J,I
7      6002  FORMAT(' ',I3,' IS GREATER THAN ',I3)
8      K=K+1
9      GO TO 6
10     66     WRITE(6,6001) I,J
11     6001  FORMAT(' ',I3,' IS GREATER THAN ',I3)
12     K=K+1
```



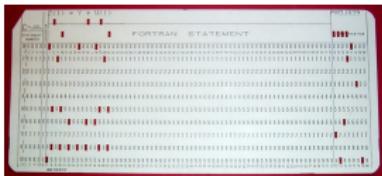
Procedimento complicado para rodar um programa

Início: Folha de codificação → cartão perfurado → Processamento em lote → Pegar resultado. Errou? Goto Início. (Você ainda tem $n := n - 1$ créditos para este EP :-(

Source: S. W. Song



Source: Wikipedia



```
1      K=1
2      IF (K.EQ.11) GO TO 8
3      READ(I,J)
4      IF (J.GT.I) GO TO 65
5      GO TO 66
6      65      WRITE(6,6002) J,I
7      6002  FORMAT(' ',I3,' IS GREATER THAN ',I3)
8      K=K+1
9      GO TO 6
10     66     WRITE(6,6001) I,J
11     6001  FORMAT(' ',I3,' IS GREATER THAN ',I3)
12     K=K+1
```



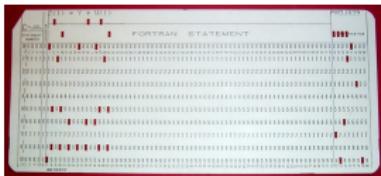
Procedimento complicado para rodar um programa

Início: Folha de codificação → cartão perfurado → Processamento em lote → Pegar resultado. Errou? Goto Início. (Você ainda tem $n := n - 1$ créditos para este EP :-(

Source: S. W. Song



Source: Wikipedia



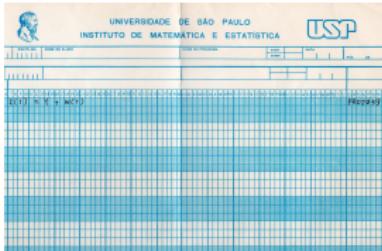
```
1      K=1
2      IF (K.EQ.11) GO TO 8
3      READ(I,J
4      IF (J.GT.I) GO TO 65
5      GO TO 66
6      65      WRITE(6,6002) J,I
7      6002  FORMAT(' ',I3,' IS GREATER THAN ',I3)
8      K=K+1
9      GO TO 6
10     66     WRITE(6,6001) I,J
11     6001  FORMAT(' ',I3,' IS GREATER THAN ',I3)
12     K=K+1
```



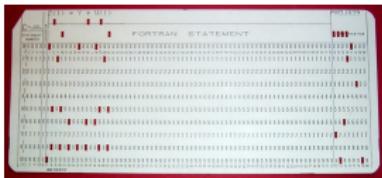
Procedimento complicado para rodar um programa

Início: Folha de codificação → cartão perfurado → Processamento em lote → Pegar resultado. Errou? Goto Início. (Você ainda tem $n := n - 1$ créditos para este EP :-(

Source: S. W. Song



Source: Wikipedia



```
1      K=1
2      IF (K.EQ.11) GO TO 8
3      READ(I,J)
4      IF (J.GT.I) GO TO 65
5      GO TO 66
6      65      WRITE(6,6002) J,I
7      6002  FORMAT(' ',I3,' IS GREATER THAN ',I3)
8      K=K+1
9      GO TO 6
10     66     WRITE(6,6001) I,J
11     6001  FORMAT(' ',I3,' IS GREATER THAN ',I3)
12     K=K+1
```



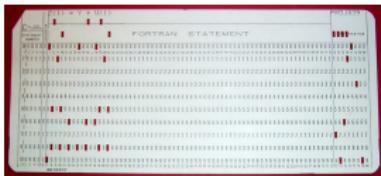
Procedimento complicado para rodar um programa

Início: Folha de codificação → cartão perfurado → Processamento em lote → Pegar resultado. Errou? Goto Início. (Você ainda tem $n := n - 1$ créditos para este EP :-(

Source: S. W. Song



Source: Wikipedia



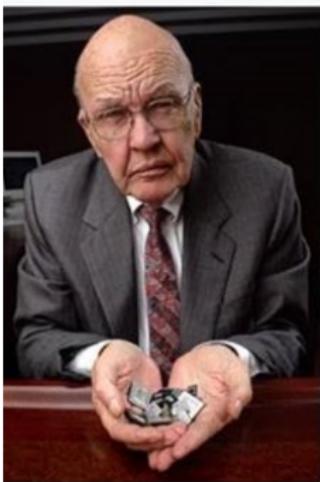
```
1      K=1
2      IF (K.EQ.11) GO TO 8
3      READ(I,J
4      IF (J.GT.11) GO TO 65
5      GO TO 66
6      65      WRITE(6,6002) J,I
7      6002  FORMAT(' ',I3,' IS GREATER THAN ',I3)
8      K=K+1
9      GO TO 6
10     66     WRITE(6,6001) I,J
11     6001  FORMAT(' ',I3,' IS GREATER THAN ',I3)
12     K=K+1
```



- DEC PDP-1 (1960)
Primeiro mini-computador com 50 vendidos
- IBM-1401 (1961)
Pequeno computador comercial com enorme sucesso
- IBM-7094 (1962)
Computador para aplicações científicas
- Burroughs B-5000 (1963)
Projetada para linguagem de alto nível: Algol 60
- Control Data CDC-6600 (1964)
Uso de múltiplas unidades funcionais (precursor da arquitetura super-escalar?)

Geração 3 - Circuitos integrados 1964 - 1980

Jack Kilby



Discurso Prêmio Nobel 2000

Source: Wikipedia

Jack Kilby foi um engenheiro da Texas Instruments que produziu o primeiro circuito integrado em 1958. Recebeu o Prêmio Nobel de Física em 2000. O seu [discurso no recebimento do Prêmio Nobel](#) teve como título “Turning Potential into Reality: The Invention of the Integrated Circuit”. (ver foto acima à direita.)

- Em 1958 Jack Kilby (da Texas Instruments) produziu o primeiro circuito integrado reunindo transistores, resistores e capacitores em uma pastilha de semicondutor.
- Jack Kilby recebeu o Prêmio Nobel em Física (2000).
- IBM-360 (1964)
Máquina microprogramada
Primeira de uma família
- Digital PDP-8 (1965)
Primeiro mini-computador com grande venda (50.000 vendidos)
- Digital PDP-11 (1970)
Mini-computador de grande sucesso dos anos 70

- VLSI significa *Very Large Scale of Integration*, uma tecnologia de microeletrônica em que componentes eletrônicos minúsculos são implementados em silício.
- Essa tecnologia revolucionou a área, sendo responsável pelos avanços fantásticos que estamos presenciando até hoje.
- Suriram os primeiros computadores pessoais (final dos anos 70)
- Começaram com duas grandes famílias de processadores: Intel e Motorola.
- Processador numa só pastilha (*chip*) contendo milhões de transistores (e.g. Pentium 4 com 42 milhões de transistores).
- Em 2016: Intel 22-core Xeon Broadwell-EP com 7,2 bilhões de transistores.

Primeiro micro do IME-USP

- Prológica S700 (1982-1983)
Processador Z-80 (8 bits)
Emprestado por um ano ao IME - cortesia de um dos sócios da Prológica.



Segundo micro do IME-USP

- Scopus Nexus 1600 (1984): Processador Intel 8088 (16 bits), 8 MHz, 704 Kbytes RAM, 2 drives diskettes 5 1/4"
Comprado com verba FAPESP - mais de US\$ 10.000,00.

Source: Scopus



Meios de armazenamento

- Diskette flexível de 8" (175K) e diskette de $5\frac{1}{4}$ " (360K).
- Source: S. W. Song
- Diskette de $3\frac{1}{2}$ " (1,44M) e disco CD/DVD.



Evolução da Computação

- O Mark I tinha ciclo de 0,3 segundos; o ENIAC 200 micro-segundos
- Processador hoje: vários GHz - menos de um nanosegundo de ciclo
- Processador de hoje é 100.000.000 vezes mais rápido que Mark I
quase 1.000.000 mais rápido que o ENIAC
- Computação paralela usa um grande número de processadores, aumentando mais ainda o poder computacional.
- Lista TOP500 apresenta os 500 computadores mais velozes do mundo, com base no benchmark Linpack (sistema linear).
- Medida de desempenho em FLOPS (*Floating Point Operations per Second*): MFLOPS, GFLOPS, TFLOPS, etc.

Supercomputador número 3 da lista TOP500

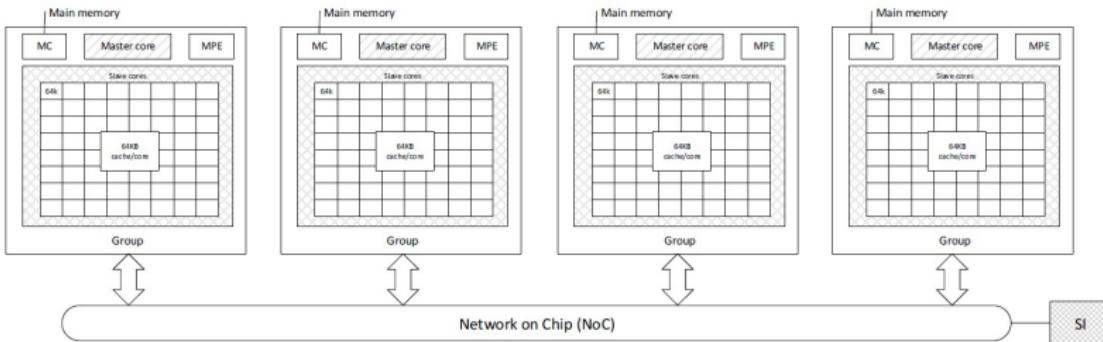
De 06/2017 a 11/2018, o Top 1 da lista TOP500 era o Sunway. Hoje é top 3



Source: Jack Dongarra, Report on the Sunway TaihuLight System, June 2016

- Sunway TaihuLight (China)
- 40.960 nós SW26010 1,45 GHz cada um com 260 cores
- Total de 10.649.600 cores
- 1,31 PB (Peta bytes) de memória
- LINPACK 93,01 PFLOPS
- Velocidade de pico 125,43 PFLOPS

Sunway - Arquitetura de um nó SW26010



Source: Jack Dongarra - Report on the Sunway TaihuLight System - June 2016

- Um nó é composto por 4 grupos cada um com 8×8 cores mais um master core.
- Um nó tem um total de 260 cores, com velocidade de pico de 3 TFLOPS.

Sunway - Um nó SW26010



Source: Jack Dongarra - Report on the Sunway TaihuLight System - June 2016

- Um nó com 260 cores.
- Ao contrário do sistema TianHe que utilizou processadores da Intel, o processador SW26010 foi projetado pela Shanghai High Performance IC Design Center.

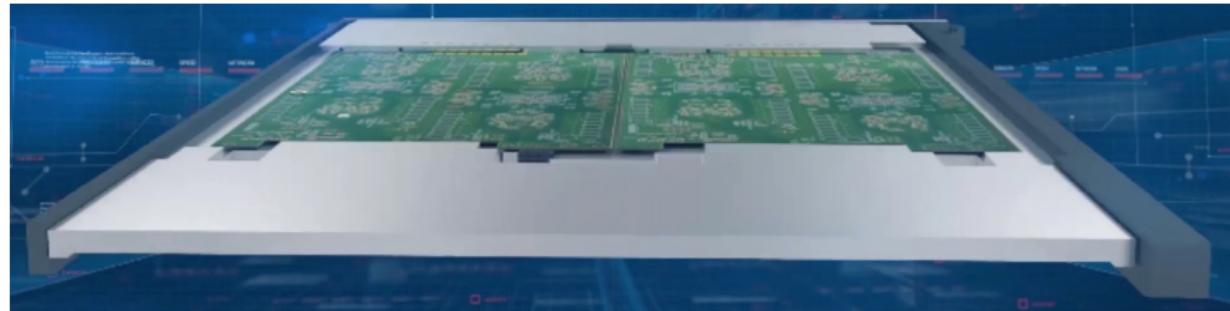
Sunway - Um cartão com 2 nós



Source: Jack Dongarra - Report on the Sunway TaihuLight System - June 2016

- Um cartão com 2 nós.
- $2 \times 260 = 520$ cores.

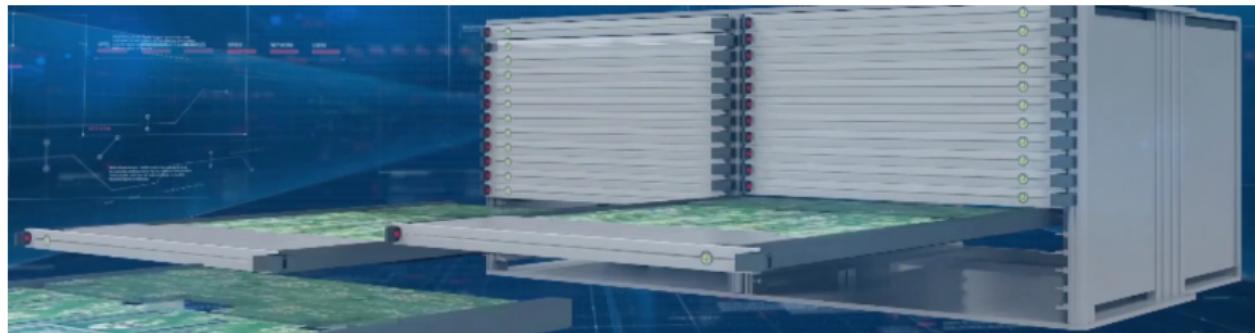
Sunway - Uma placa com 4 cartões



Source: Jack Dongarra - Report on the Sunway TaihuLight System - June 2016

- Uma placa com 4 cartões, 2 em cima e 2 em baixo.
- $4 \times 520 = 2.080$ cores.

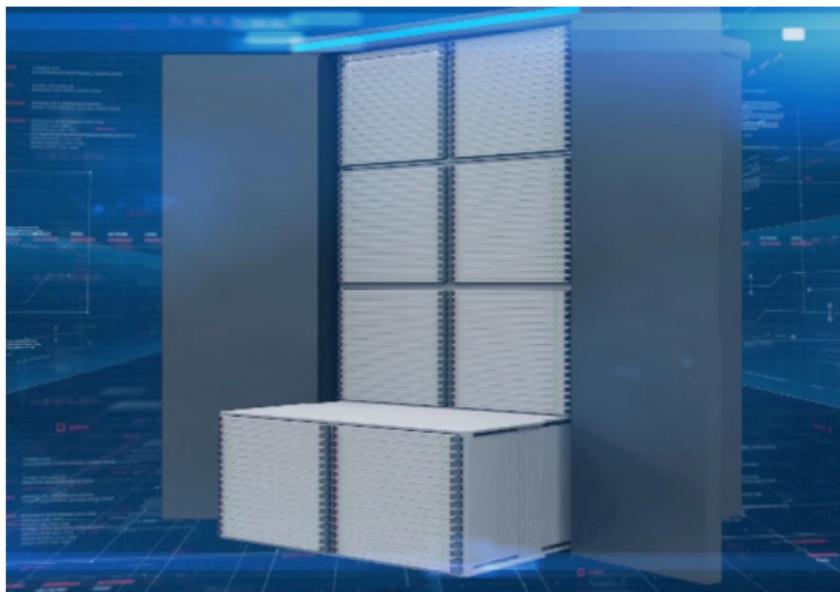
Sunway - Um supernó com 32 placas



Source: Jack Dongarra - Report on the Sunway TaihuLight System - June 2016

- Um supernó com 32 placas.
- $32 \times 2.080 = 66.560$ cores.

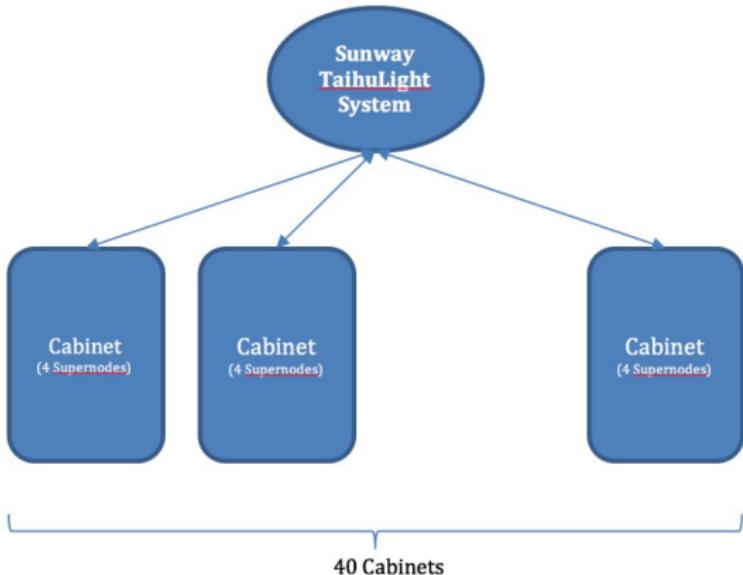
Sunway - Um gabinete com 4 supernós



Source: Jack Dongarra - Report on the Sunway TaihuLight System - June 2016

- Um gabinete com 4 supernós.
- $4 \times 66.560 = 266.240$ cores.

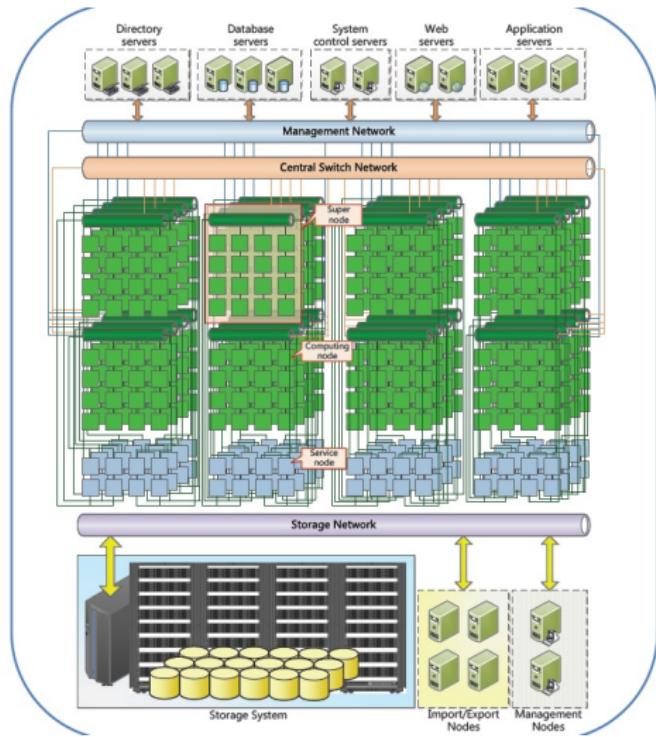
Sunway - Sistema completo com 40 gabinetes



Source: Jack Dongarra - Report on the Sunway TaihuLight System - June 2016

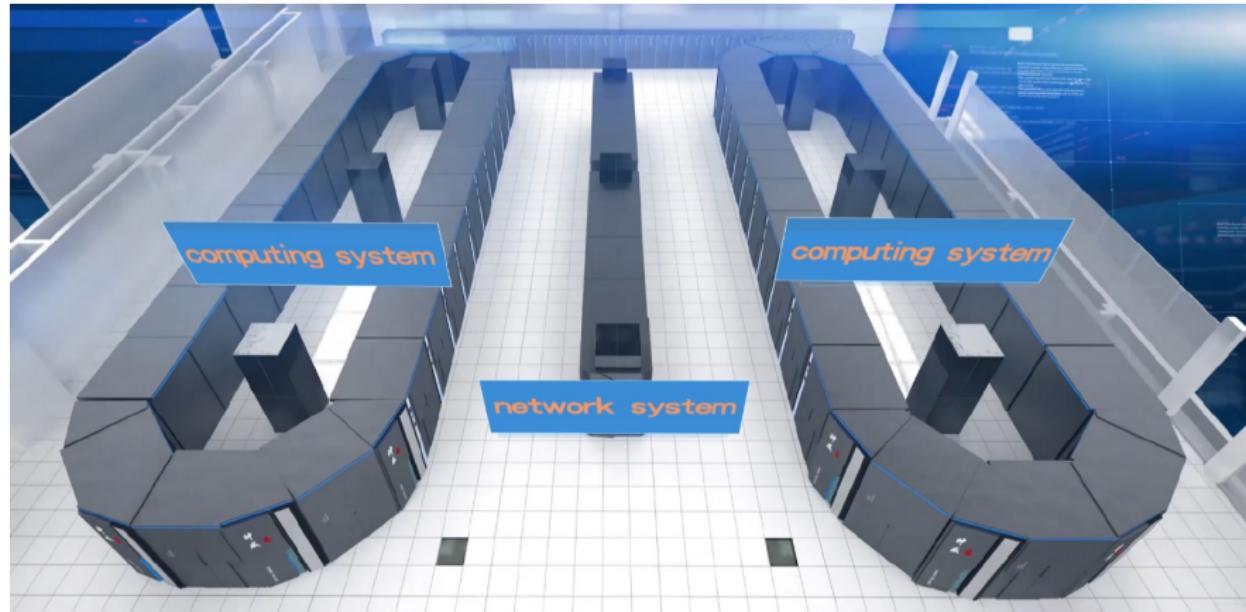
- O Sunway sistema com 40 gabinetes.
- $40 \times 266.240 = 10.649.600$ cores.

Sunway - Arquitetura



Source: Jack Dongarra - Report on the Sunway TaihuLight System - June 2016

Sistema Sunway



Source: Jack Dongarra - Report on the Sunway TaihuLight System - June 2016

Supercomputador número 1 da lista TOP500

Em 11/2018, o Summit passou a ocupar a posição Top 1.



- Summit IBM (U.S.A.)
- IBM Power9, NVIDIA
- 4.608 nós (9.216 IBM Power9 e 27.648 NVIDIA Volta GPUs)
- Total de 2.414.592 cores
- LINPACK 148,6 PFLOPS
- Velocidade de pico 200,8 PFLOPS

O que vem depois ?

- Depois de PFLOPS vem EXAFLOPS.
- Em que ano chegaremos à era *EXA Computing?*
- E depois da computação VLSI com Silício, que novas tecnologias virão?

*Computers are incredibly fast, accurate, and stupid;
humans are incredibly slow, inaccurate and brilliant;
together they are powerful beyond imagination.*

- Albert Einstein

Como foi o meu aprendizado?

- Seja curioso: não se esqueça de ver qual será o computador mais veloz do mundo.
- Anúncio de uma nova lista top500 em novembro deste ano.
- Que processadores são usados no novo Top 1?
- Quantos processadores (ou *cores*) no novo Top 1?
- Alguns computadores brasileiros no novo Top500?