MORPHIQ

RELATÓRIO TÉCNICO DOS 40 EXPERIMENTOS

Estudo experimental em Python / Google Colab

Documento consolidado a partir do notebook “Cópia de Cópia de MorphIQ_Experimentos_V2.ipynb”.

26 de outubro de 2026 • Versão 1.0

Escopo: experimentos computacionais e saídas registradas. Os resultados não constituem validação física de hardware, prova de segurança criptográfica ou certificação de desempenho fora dos cenários simulados.

Resumo executivo

O notebook reúne 40 experimentos numerados de geração e interpretação de ondas, representação de instruções por frequência, camuflagem por ruído, recuperação, autenticação física simulada, operações aritméticas, execução sequencial e estratégias de compensação de desvios. Este relatório reproduz as evidências disponíveis nas saídas do próprio notebook, com gráficos incorporados e trechos de resultados.

Os experimentos foram executados em software e usam modelos, parâmetros e condições definidos no código. Taxas de acerto de 100% se referem apenas aos conjuntos de testes correspondentes; não devem ser extrapoladas para ambientes físicos sem validação adicional.

Organização

01–10 Fundamentos e codificação

11–19 Ruído, integridade e autenticação simulada

20–23 Sincronização e robustez

24–32 Aritmética e estimadores

33–39 Execução sequencial e compensação

40–40 Avaliação integrada da unidade aritmética

Metodologia de compilação

Foram lidas as células de código e as saídas persistidas no arquivo .ipynb. As figuras abaixo são imagens salvas pelo próprio Google Colab; não foram redesenhadas nem recalculadas. Os registros textuais de execução foram transcritos de forma seletiva quando extensos, preservando a ordem. Não foi feita nova execução do código.

Fundamentos e codificação

Experimento 01 — Geração de onda senoidal

Objetivo e procedimento

O código aborda geração de onda senoidal. Procedimentos identificados: geração senoidal. A configuração detalhada e as hipóteses operacionais permanecem no código-fonte original.

Resultados registrados

EXPERIMENTO 1 CONCLUIDO

Frequencia: 4 Hz

Amplitude: 10

Amostras geradas: 1000

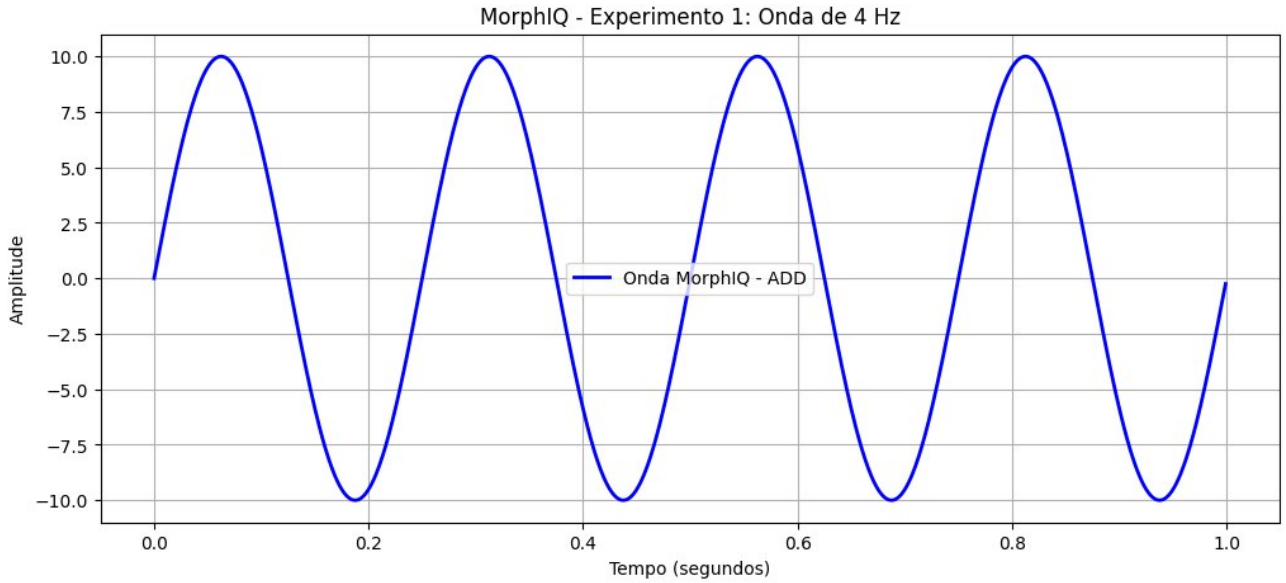


Figura 1.1 — gráfico salvo na saída do experimento 1.

Interpretação e limites

Os números e gráficos apresentados correspondem exclusivamente à execução registrada no notebook. Para avaliar repetibilidade, robustez externa e generalização, são necessários testes independentes, parâmetros explicitados e comparação com referências apropriadas.

Experimento 02 — Representação de comandos por frequências

Objetivo e procedimento

O código aborda representação de comandos por frequências. Procedimentos identificados: geração senoidal, repetição de cenários/testes. A configuração detalhada e as hipóteses operacionais permanecem no código-fonte original.

Resultados registrados

```
MORPHIQ - EXPERIMENTO 2
-----------------------
Comando ADD = 4 Hz
Comando SUB = 8 Hz
Comando JMP = 15 Hz
Tres ondas geradas com sucesso!
```

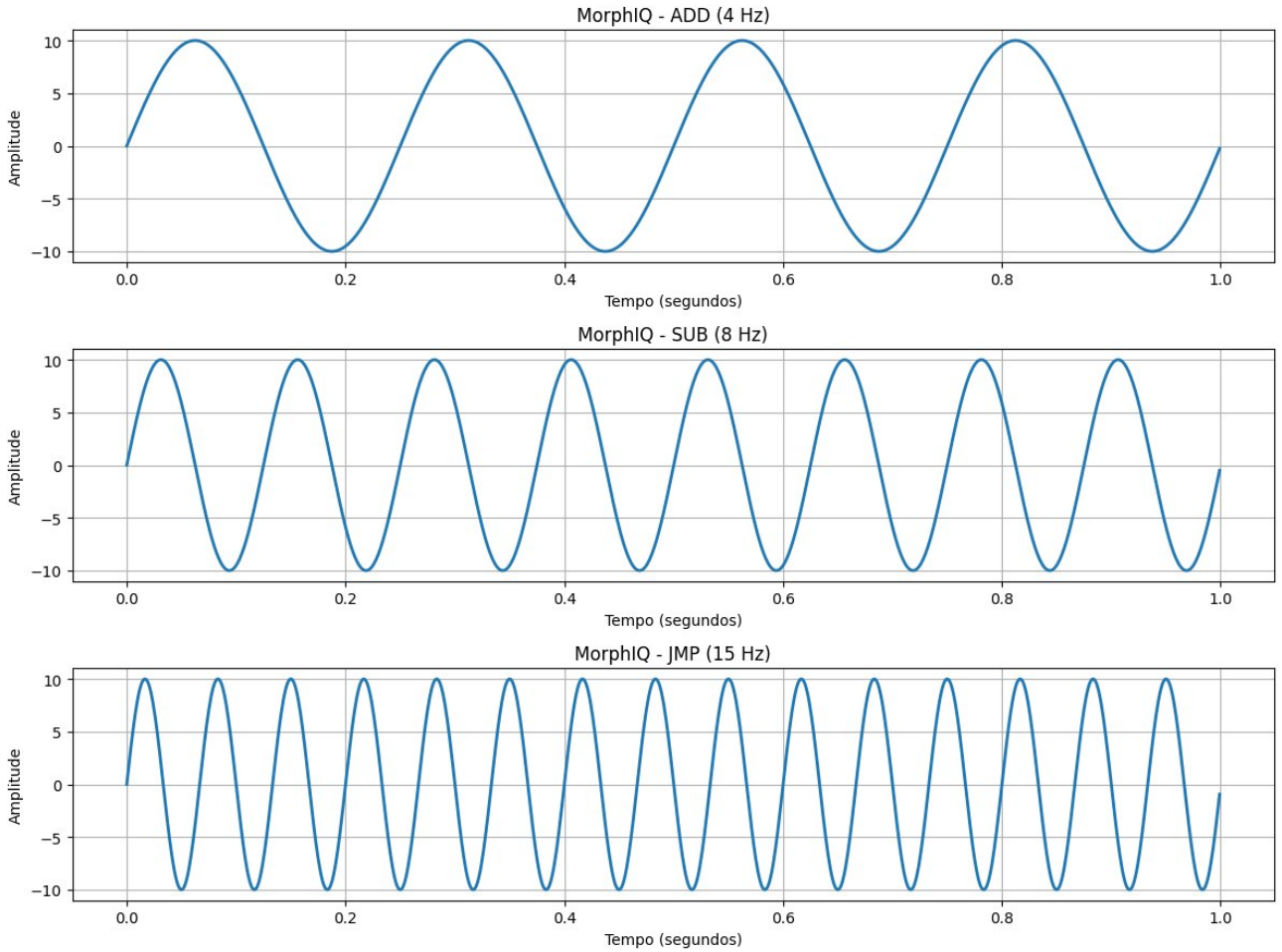


Figura 2.1 — gráfico salvo na saída do experimento 2.

Interpretação e limites

Os números e gráficos apresentados correspondem exclusivamente à execução registrada no notebook. Para avaliar repetibilidade, robustez externa e generalização, são necessários testes independentes, parâmetros explicitados e comparação com referências apropriadas.

Experimento 03 — Reconhecimento automático de comandos

Objetivo e procedimento

O código aborda reconhecimento automático de comandos. Procedimentos identificados: transformada rápida de Fourier (FFT), análise espectral FFT, geração senoidal, repetição de cenários/testes. A configuração detalhada e as hipóteses operacionais permanecem no código-fonte original.

Resultados registrados

```
------------------------------
Frequencia enviada: 4 Hz
Frequencia detectada: 4.0 Hz
Comando identificado: ADD
------------------------------
Frequencia enviada: 8 Hz
Frequencia detectada: 8.0 Hz
Comando identificado: SUB
------------------------------
Frequencia enviada: 15 Hz
Frequencia detectada: 15.0 Hz
Comando identificado: JMP
EXPERIMENTO 3 FINALIZADO
```

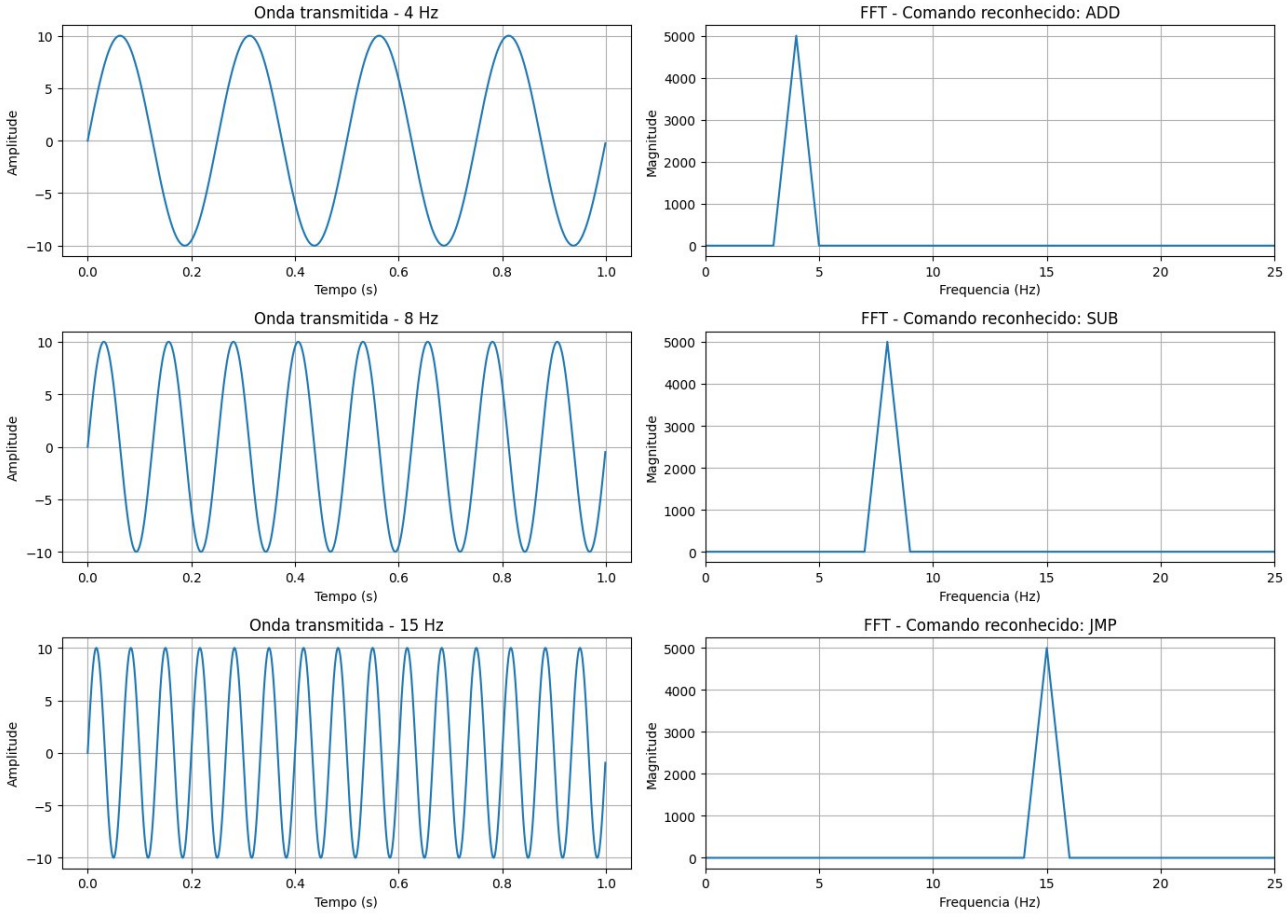


Figura 3.1 — gráfico salvo na saída do experimento 3.

Interpretação e limites

Os números e gráficos apresentados correspondem exclusivamente à execução registrada no notebook. Para avaliar repetibilidade, robustez externa e generalização, são necessários testes independentes, parâmetros explicitados e comparação com referências apropriadas.

Experimento 04 — Camuflagem com ruído gaussiano

Objetivo e procedimento

O código aborda camuflagem com ruído gaussiano. Procedimentos identificados: transformada rápida de Fourier (FFT), análise espectral FFT, geração pseudoaleatória, amostragem pseudoaleatória, geração senoidal. A configuração detalhada e as hipóteses operacionais permanecem no código-fonte original.

Resultados registrados

```
EXPERIMENTO 4 - RESULTADOS
--------------------------
Frequencia original: 15 Hz
Frequencia detectada: 15.0 Hz
Comando reconhecido: JMP
Intensidade do ruido: 3.5
```

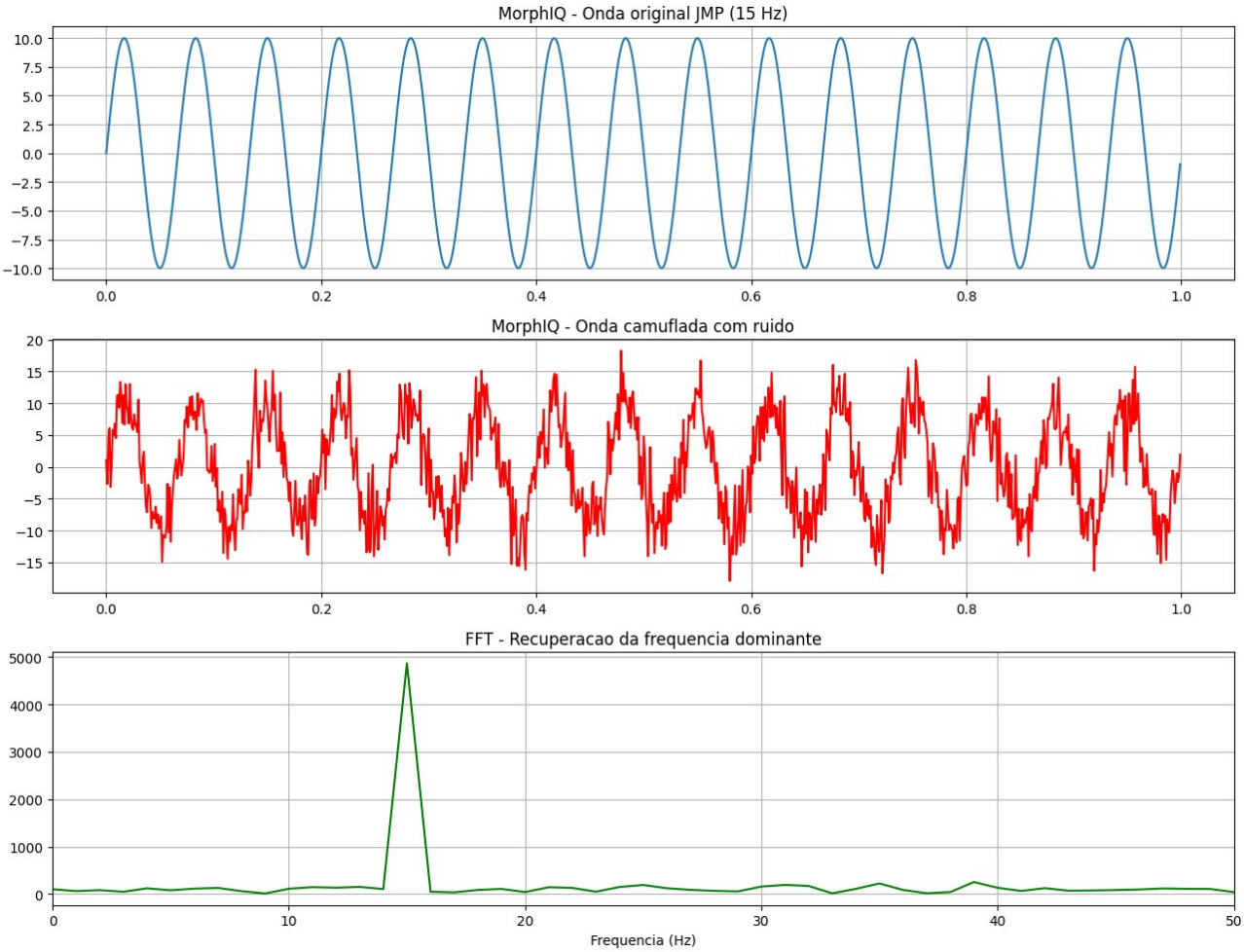


Figura 4.1 — gráfico salvo na saída do experimento 4.

Interpretação e limites

Os números e gráficos apresentados correspondem exclusivamente à execução registrada no notebook. Para avaliar repetibilidade, robustez externa e generalização, são necessários testes independentes, parâmetros explicitados e comparação com referências apropriadas.

Experimento 05 — Recuperação por filtro digital

Objetivo e procedimento

O código aborda recuperação por filtro digital. Procedimentos identificados: transformada rápida de Fourier (FFT), análise espectral FFT, geração pseudoaleatória, amostragem pseudoaleatória, filtragem digital, geração senoidal. A configuração detalhada e as hipóteses operacionais permanecem no código-fonte original.

Resultados registrados

```
MORPHIQ - EXPERIMENTO 5
------------------------
Frequencia original: 15 Hz
Frequencia recuperada: 15.0 Hz
Erro RMS: 2.3499
RESULTADO: FREQUENCIA RECUPERADA
```

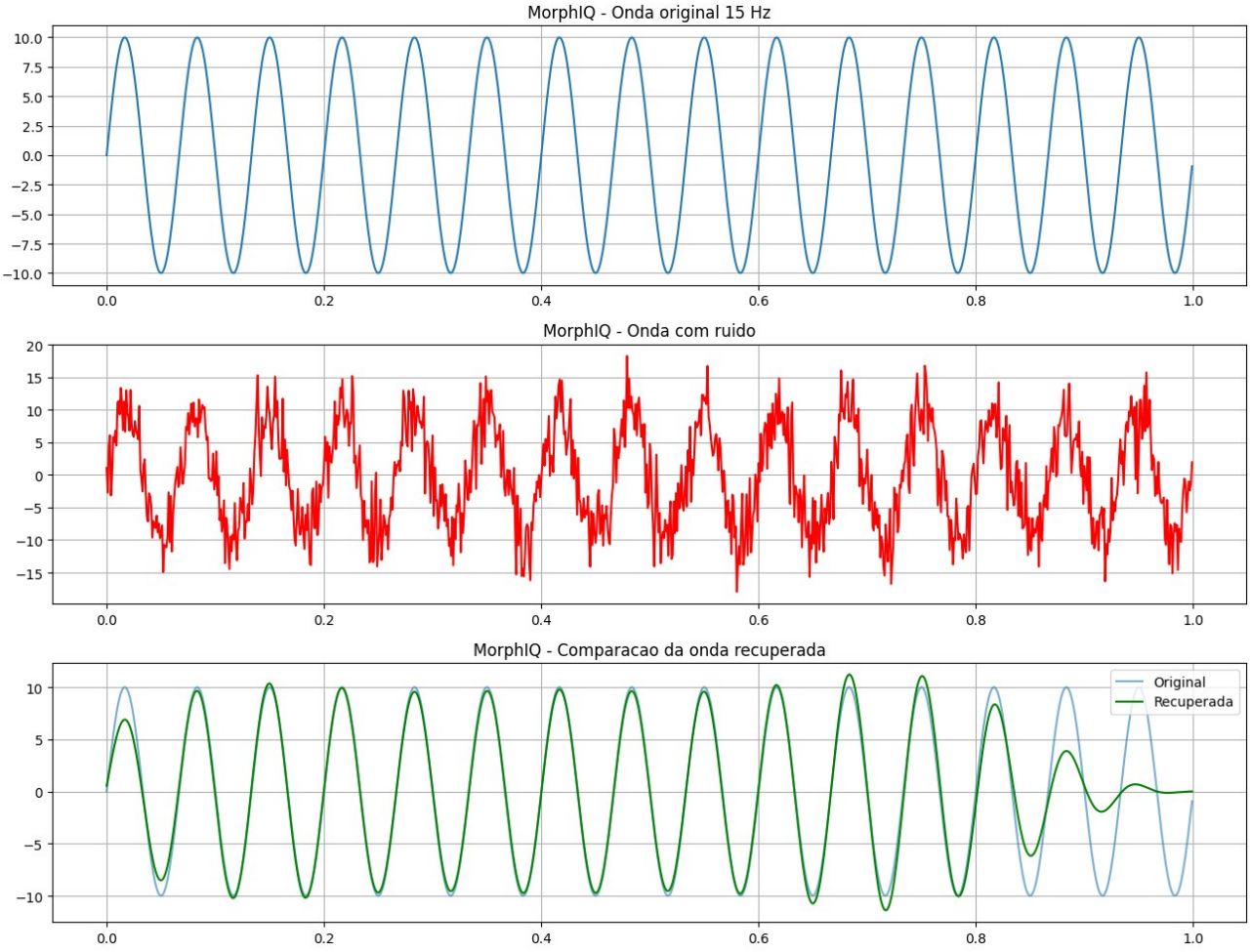


Figura 5.1 — gráfico salvo na saída do experimento 5.

Interpretação e limites

Os números e gráficos apresentados correspondem exclusivamente à execução registrada no notebook. Para avaliar repetibilidade, robustez externa e generalização, são necessários testes independentes, parâmetros explicitados e comparação com referências apropriadas.

Experimento 06 — Decodificação automática sob ruído

Objetivo e procedimento

O código aborda decodificação automática sob ruído. Procedimentos identificados: transformada rápida de Fourier (FFT), análise espectral FFT, geração pseudoaleatória, amostragem pseudoaleatória, geração senoidal, repetição de cenários/testes. A configuração detalhada e as hipóteses operacionais permanecem no código-fonte original.

Resultados registrados

Enviado: ADD | Detectado: ADD | Correto: True

Enviado: SUB | Detectado: SUB | Correto: True

Enviado: JMP | Detectado: JMP | Correto: True

MORPHIQ - EXPERIMENTO 6

Acuracia: 100.0 %

Testes realizados: 3

RESULTADO: 3 COMANDOS RECONHECIDOS

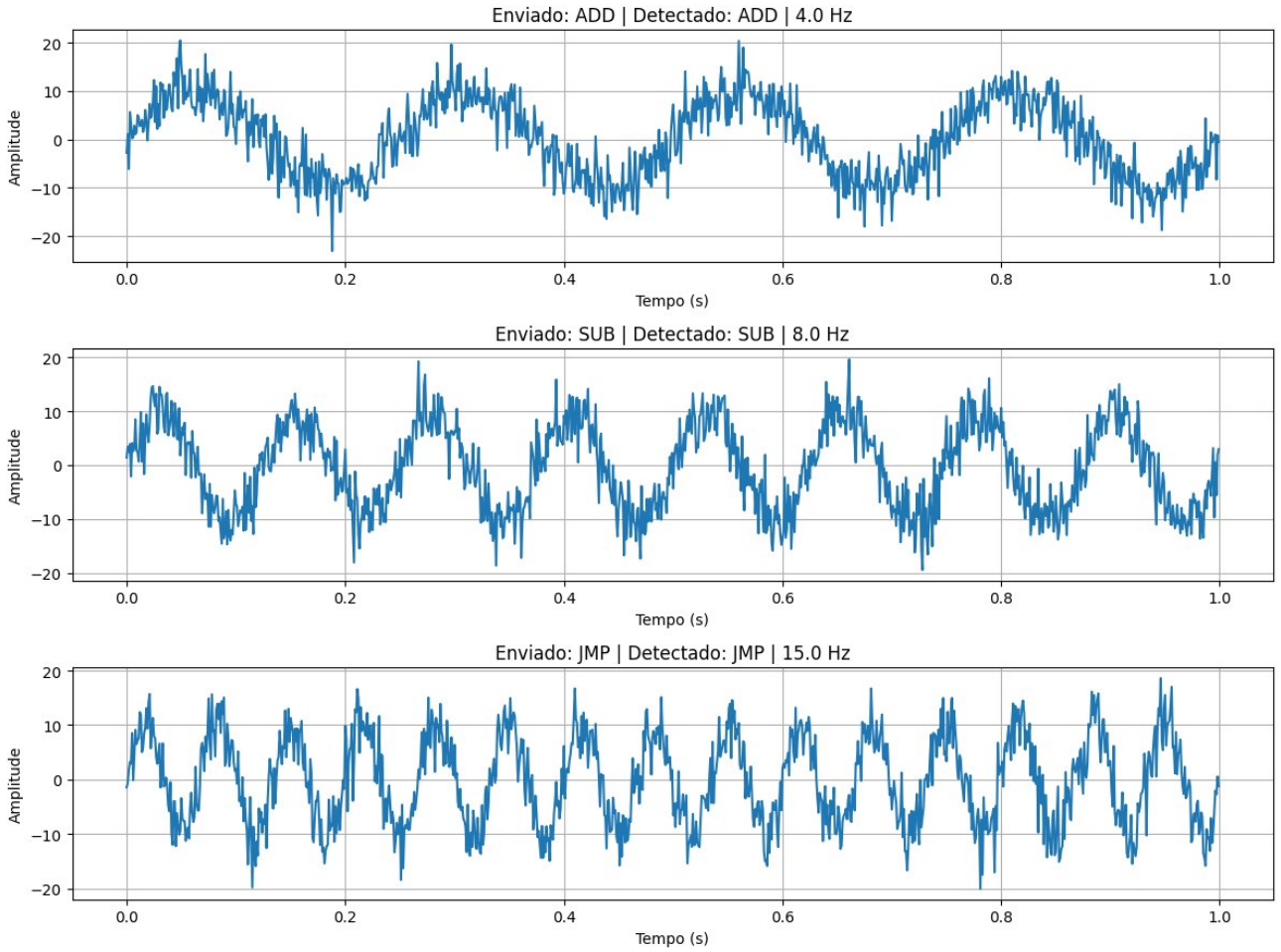


Figura 6.1 — gráfico salvo na saída do experimento 6.

Interpretação e limites

Os números e gráficos apresentados correspondem exclusivamente à execução registrada no notebook. Para avaliar repetibilidade, robustez externa e generalização, são necessários testes independentes, parâmetros explicitados e comparação com referências apropriadas.

Experimento 07 — Transmissão de sequência de comandos

Objetivo e procedimento

O código aborda transmissão de sequência de comandos. Procedimentos identificados: transformada rápida de Fourier (FFT), análise espectral FFT, geração pseudoaleatória, amostragem pseudoaleatória, geração senoidal, repetição de cenários/testes. A configuração detalhada e as hipóteses operacionais permanecem no código-fonte original.

Resultados registrados

Bloco 1: 4.0 Hz -> ADD

Bloco 2: 8.0 Hz -> SUB

Bloco 3: 15.0 Hz -> JMP

Bloco 4: 4.0 Hz -> ADD

SEQUENCIA ORIGINAL:

ADD -> SUB -> JMP -> ADD

SEQUENCIA RECUPERADA:

ADD -> SUB -> JMP -> ADD

Acuracia: 100.0 %

RESULTADO: SEQUENCIA RECUPERADA COM SUCESSO

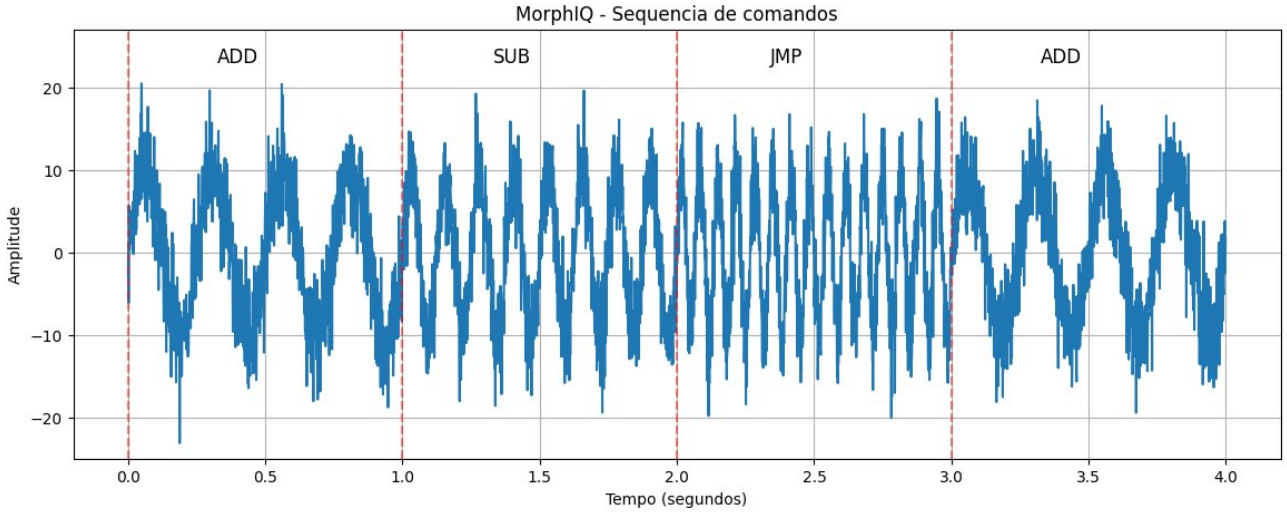


Figura 7.1 — gráfico salvo na saída do experimento 7.

Interpretação e limites

Os números e gráficos apresentados correspondem exclusivamente à execução registrada no notebook. Para avaliar repetibilidade, robustez externa e generalização, são necessários testes independentes, parâmetros explicitados e comparação com referências apropriadas.

Experimento 08 — MorphIQ-IR e execução simulada

Objetivo e procedimento

O código aborda morphiq-ir e execução simulada. Procedimentos identificados: transformada rápida de Fourier (FFT), análise espectral FFT, geração pseudoaleatória, amostragem pseudoaleatória, geração senoidal, repetição de cenários/testes. A configuração detalhada e as hipóteses operacionais permanecem no código-fonte original.

Resultados registrados

```
MORPHIQ - EXPERIMENTO 8
------------------------
PC=0 | OP=ADD | ACUMULADOR=10
PC=1 | OP=SUB | ACUMULADOR=7
PC=2 | OP=JMP | ACUMULADOR=7
PC=4 | OP=ADD | ACUMULADOR=12
Resultado final: 12
RESULTADO: EXECUCAO SIMULADA CORRETA
```

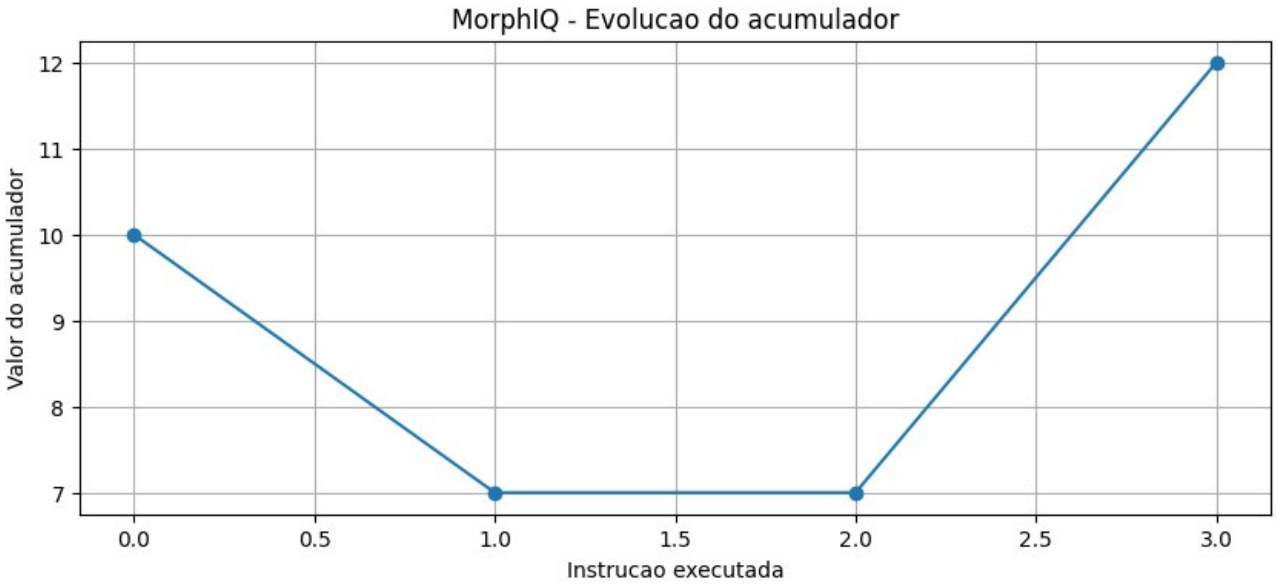


Figura 8.1 — gráfico salvo na saída do experimento 8.

Interpretação e limites

Os números e gráficos apresentados correspondem exclusivamente à execução registrada no notebook. Para avaliar repetibilidade, robustez externa e generalização, são necessários testes independentes, parâmetros explicitados e comparação com referências apropriadas.

Experimento 09 — Codificação de operações e valores

Objetivo e procedimento

O código aborda codificação de operações e valores. Procedimentos identificados: transformada rápida de Fourier (FFT), análise espectral FFT, geração pseudoaleatória, amostragem pseudoaleatória, geração senoidal, repetição de cenários/testes. A configuração detalhada e as hipóteses operacionais permanecem no código-fonte original.

Resultados registrados

```
MORPHIQ - EXPERIMENTO 9
----------
Programa original: [('ADD', 10), ('SUB', 3), ('ADD', 5)]
Programa recuperado: [('ADD', 10), ('SUB', 3), ('ADD', 5)]
RESULTADO: OPERACOES E VALORES RECUPERADOS
```

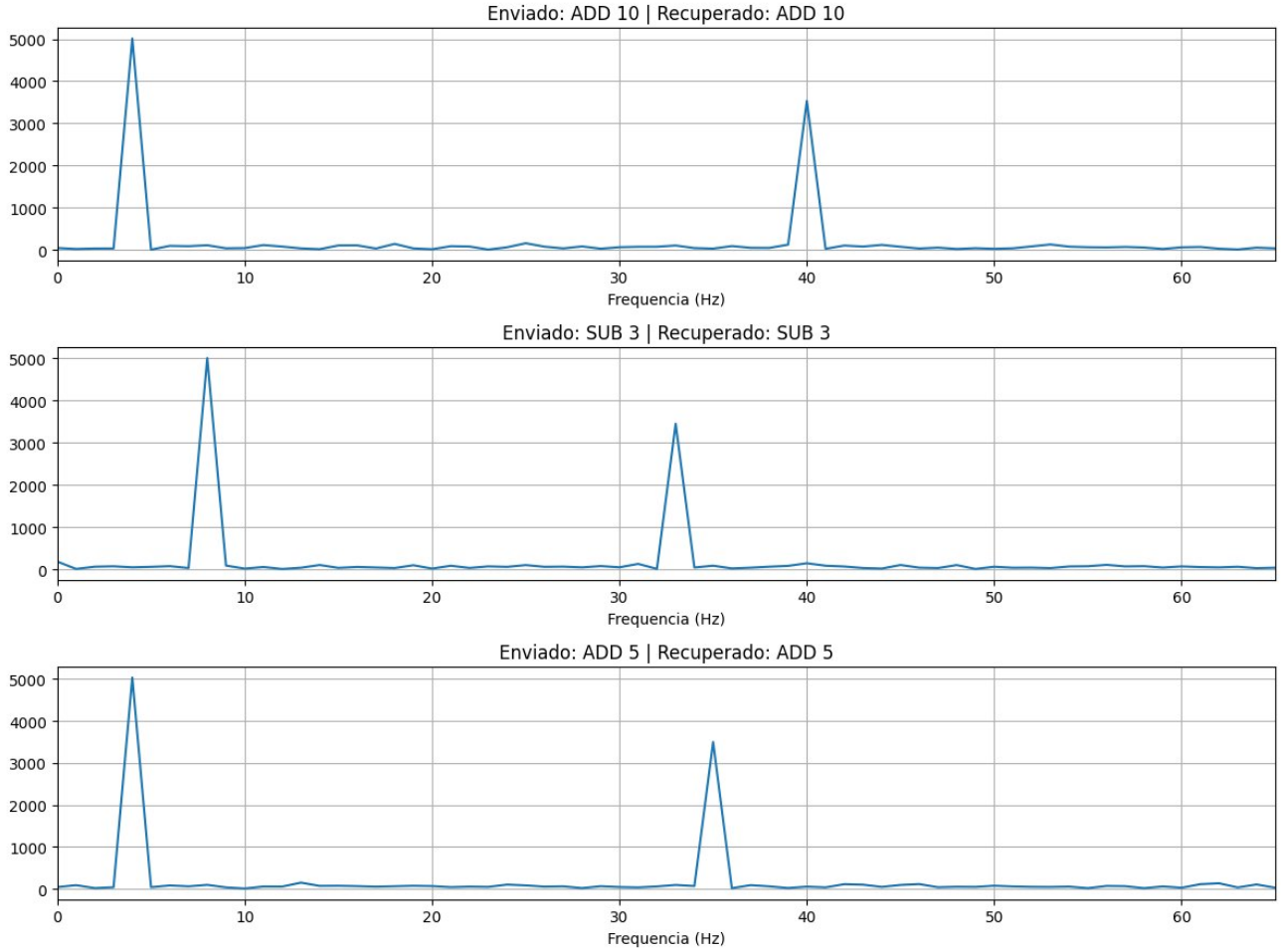


Figura 9.1 — gráfico salvo na saída do experimento 9.

Interpretação e limites

Os números e gráficos apresentados correspondem exclusivamente à execução registrada no notebook. Para avaliar repetibilidade, robustez externa e generalização, são necessários testes independentes, parâmetros explicitados e comparação com referências apropriadas.

Experimento 10 — Execução de ondas decodificadas

Objetivo e procedimento

O código aborda execução de ondas decodificadas. Procedimentos identificados: transformada rápida de Fourier (FFT), análise espectral FFT, geração pseudoaleatória, amostragem pseudoaleatória, geração senoidal, repetição de cenários/testes. A configuração detalhada e as hipóteses operacionais permanecem no código-fonte original.

Resultados registrados

```
Executado: ADD 10 | Acumulador: 10
Executado: SUB 3 | Acumulador: 7
Executado: ADD 5 | Acumulador: 12
Executado: SUB 2 | Acumulador: 10
MORPHIQ - EXPERIMENTO 10
--------------------------
Programa original: [('ADD', 10), ('SUB', 3), ('ADD', 5), ('SUB', 2)]
Programa decodificado: [('ADD', 10), ('SUB', 3), ('ADD', 5), ('SUB', 2)]
Resultado final: 10
RESULTADO: EXECUCAO CORRETA
```

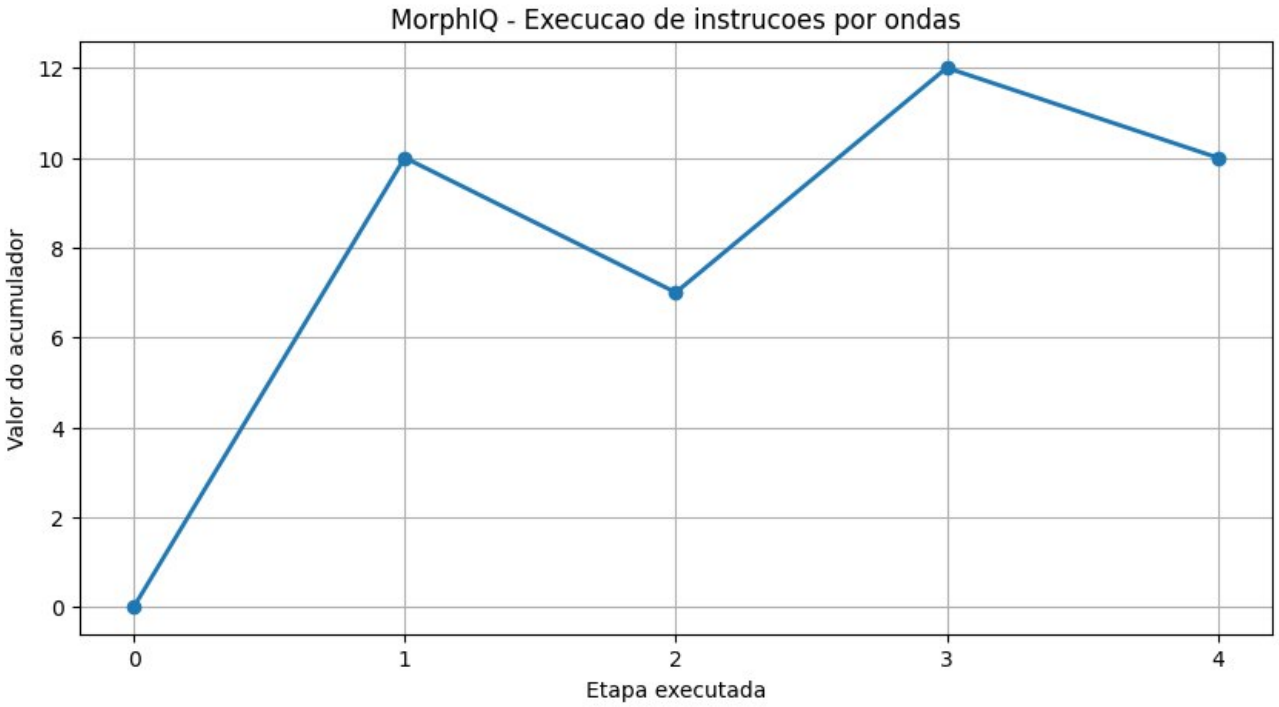


Figura 10.1 — gráfico salvo na saída do experimento 10.

Interpretação e limites

Os números e gráficos apresentados correspondem exclusivamente à execução registrada no notebook. Para avaliar repetibilidade, robustez externa e generalização, são necessários testes independentes, parâmetros explicitados e comparação com referências apropriadas.

Ruído, integridade e autenticação simulada

Experimento 11 — Resistência a ruído e taxa de acertos

Objetivo e procedimento

O código aborda resistência a ruído e taxa de acertos. Procedimentos identificados: transformada rápida de Fourier (FFT), análise espectral FFT, geração pseudoaleatória, amostragem pseudoaleatória, geração senoidal, repetição de cenários/testes. A configuração detalhada e as hipóteses operacionais permanecem no código-fonte original.

Resultados registrados

```
Ruido: 0 | Acertos: 100/100 | Taxa: 100.0%
Ruido: 2 | Acertos: 100/100 | Taxa: 100.0%
Ruido: 5 | Acertos: 100/100 | Taxa: 100.0%
Ruido: 10 | Acertos: 100/100 | Taxa: 100.0%
Ruido: 15 | Acertos: 100/100 | Taxa: 100.0%
Ruido: 20 | Acertos: 100/100 | Taxa: 100.0%
Ruido: 30 | Acertos: 98/100 | Taxa: 98.0%
Ruido: 40 | Acertos: 83/100 | Taxa: 83.0%
Ruido: 60 | Acertos: 38/100 | Taxa: 38.0%
EXPERIMENTO 11 CONCLUIDO
Total de testes: 900
```

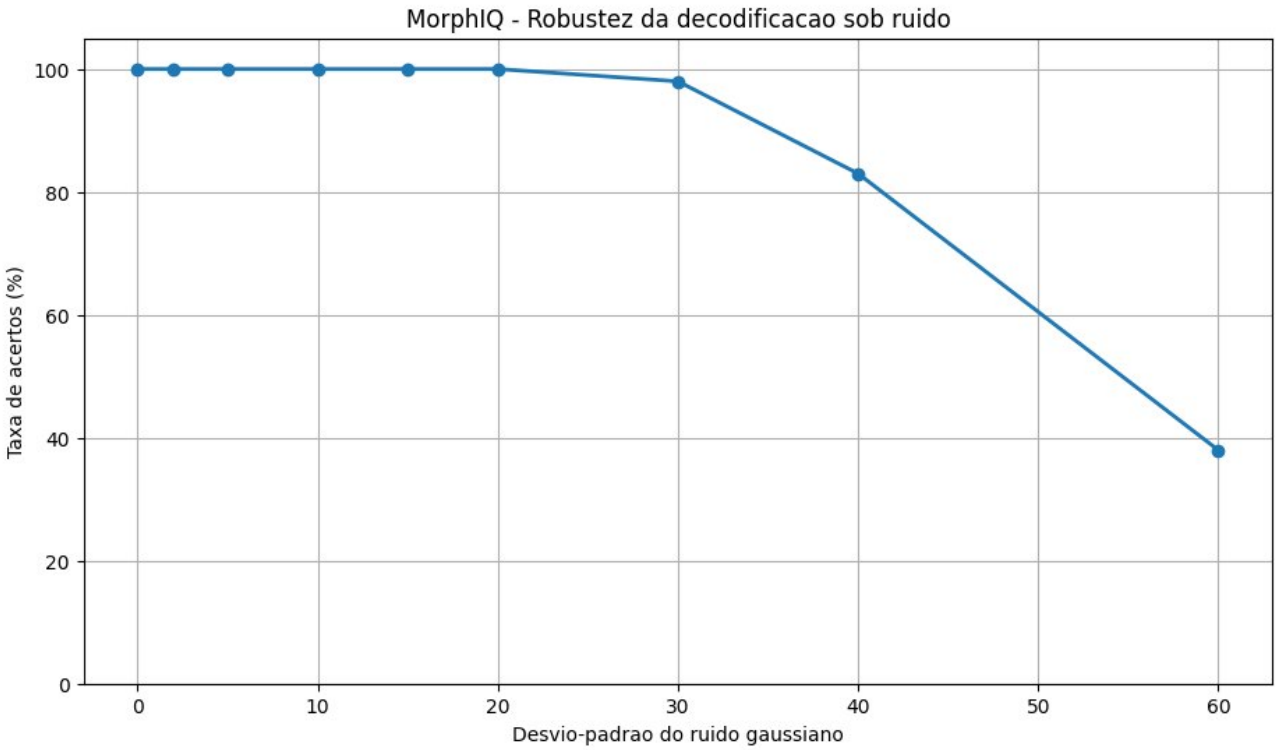


Figura 11.1 — gráfico salvo na saída do experimento 11.

Interpretação e limites

Os números e gráficos apresentados correspondem exclusivamente à execução registrada no notebook. Para avaliar repetibilidade, robustez externa e generalização, são necessários testes independentes, parâmetros explicitados e comparação com referências apropriadas.

Experimento 12 — Camuflagem dinâmica por frequency hopping

Objetivo e procedimento

O código aborda camuflagem dinâmica por frequency hopping. Procedimentos identificados: transformada rápida de Fourier (FFT), análise espectral FFT, geração pseudoaleatória, amostragem pseudoaleatória, geração senoidal, repetição de cenários/testes. A configuração detalhada e as hipóteses operacionais permanecem no código-fonte original.

Resultados registrados

Bloco 1: Portadora=35 Hz | Detectada=50.0 Hz | Comando=JMP

Bloco 2: Portadora=50 Hz | Detectada=64.0 Hz | Comando=JMP

Bloco 3: Portadora=42 Hz | Detectada=56.0 Hz | Comando=JMP

Bloco 4: Portadora=65 Hz | Detectada=80.0 Hz | Comando=JMP

Bloco 5: Portadora=38 Hz | Detectada=52.0 Hz | Comando=JMP

Bloco 6: Portadora=55 Hz | Detectada=70.0 Hz | Comando=JMP

EXPERIMENTO 12

Comandos recuperados: ['JMP', 'JMP', 'JMP', 'JMP', 'JMP', 'JMP']

RESULTADO: SALTOS RECUPERADOS COM SUCESSO

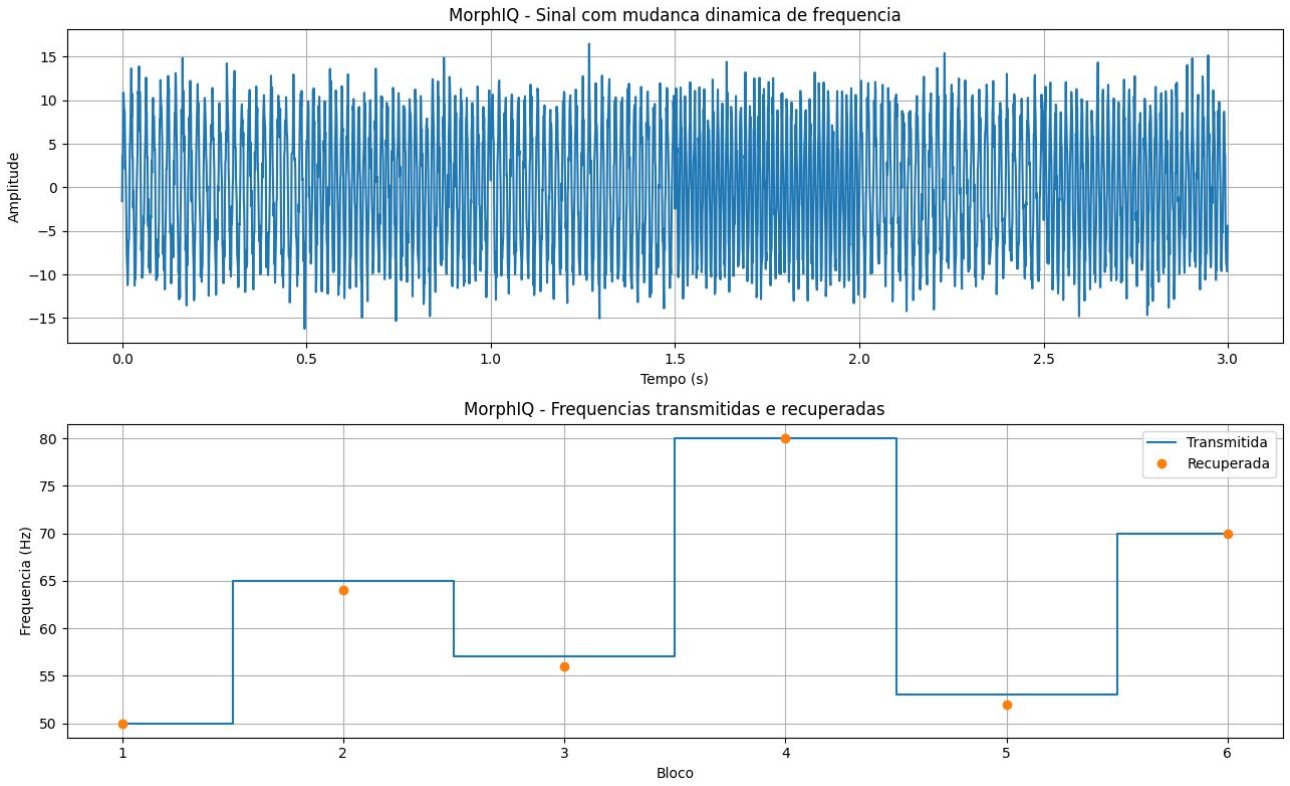


Figura 12.1 — gráfico salvo na saída do experimento 12.

Interpretação e limites

Os números e gráficos apresentados correspondem exclusivamente à execução registrada no notebook. Para avaliar repetibilidade, robustez externa e generalização, são necessários testes independentes, parâmetros explicitados e comparação com referências apropriadas.

Experimento 13 — Inversão de fase e detecção

Objetivo e procedimento

O código aborda inversão de fase e detecção. Procedimentos identificados: geração pseudoaleatória, amostragem pseudoaleatória, geração senoidal, repetição de cenários/testes. A configuração detalhada e as hipóteses operacionais permanecem no código-fonte original.

Resultados registrados

```
MORPHIQ - EXPERIMENTO 13
------------------------
Inversao real: 0.5 s
Inversao detectada: 0.5025
Erro temporal: 0.0025 s
RESULTADO: INVERSAO DETECTADA
```

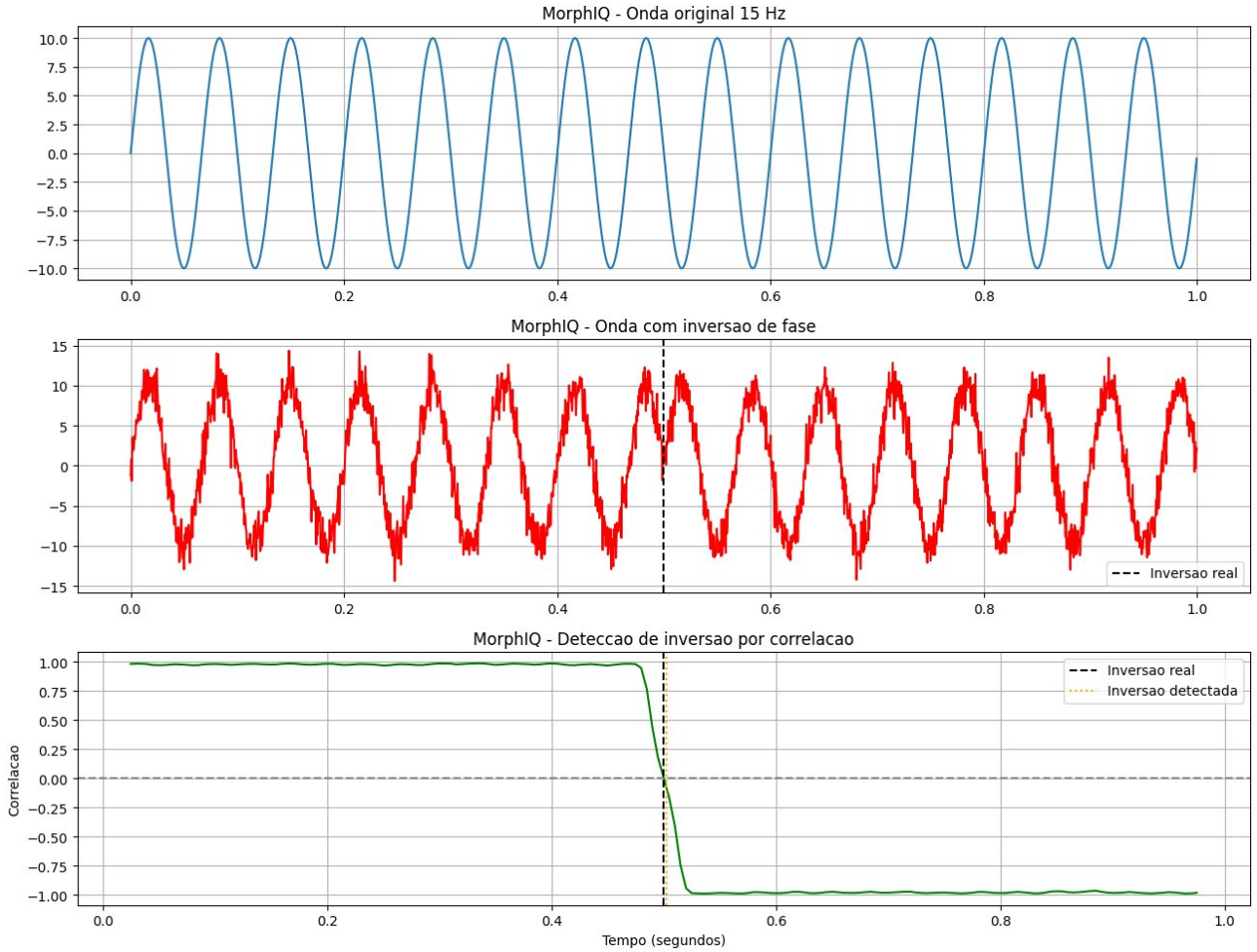


Figura 13.1 — gráfico salvo na saída do experimento 13.

Interpretação e limites

Os números e gráficos apresentados correspondem exclusivamente à execução registrada no notebook. Para avaliar repetibilidade, robustez externa e generalização, são necessários testes independentes, parâmetros explicitados e comparação com referências apropriadas.

Experimento 14 — Simulação de identidade PUF

Objetivo e procedimento

O código aborda simulação de identidade puf. Procedimentos identificados: geração pseudoaleatória, amostragem pseudoaleatória, repetição de cenários/testes. A configuração detalhada e as hipóteses operacionais permanecem no código-fonte original.

Resultados registrados

Dispositivo 1: Taxa de aceitacao = 100.0%

Dispositivo 2: Taxa de aceitacao = 0.0%

Dispositivo 3: Taxa de aceitacao = 0.0%

Dispositivo 4: Taxa de aceitacao = 0.0%

Dispositivo 5: Taxa de aceitacao = 0.0%

MORPHIQ - EXPERIMENTO 14

Dispositivo autorizado: 1

Limiar: 0.8

RESULTADO: IDENTIDADE SIMULADA RECONHECIDA

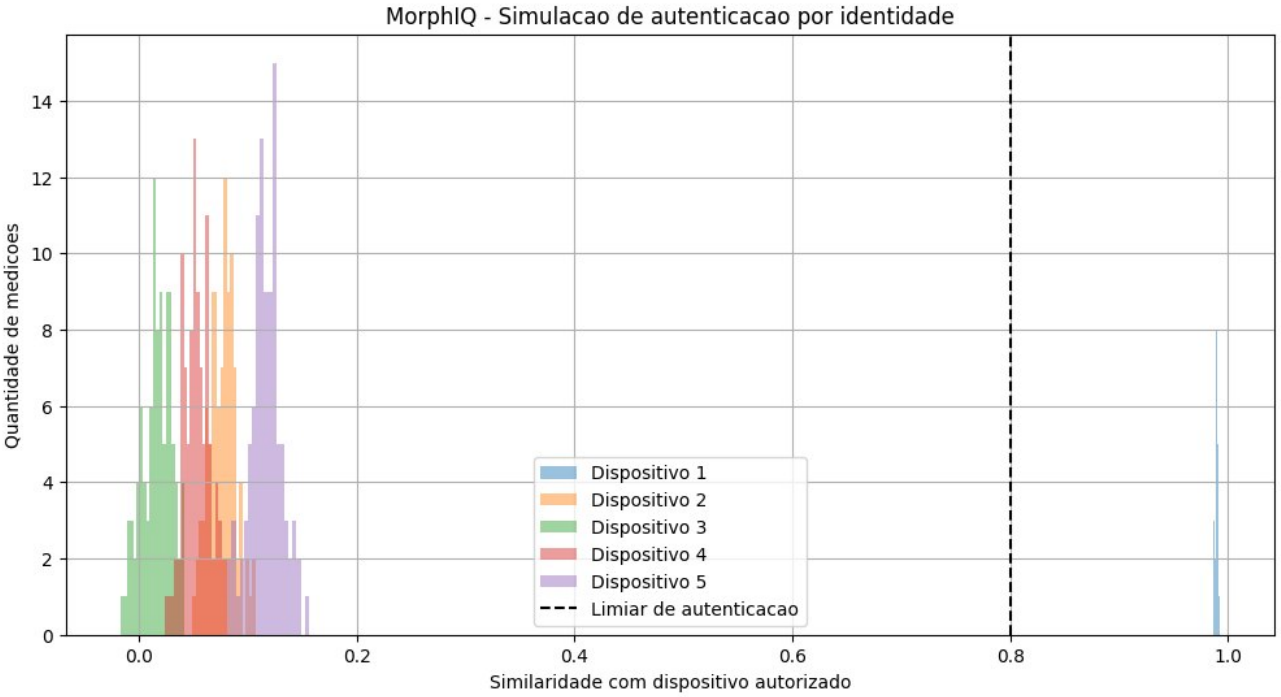


Figura 14.1 — gráfico salvo na saída do experimento 14.

Interpretação e limites

Os números e gráficos apresentados correspondem exclusivamente à execução registrada no notebook. Para avaliar repetibilidade, robustez externa e generalização, são necessários testes independentes, parâmetros explicitados e comparação com referências apropriadas.

Experimento 15 — Integração de ondas, ruído e autenticação

Objetivo e procedimento

O código aborda integração de ondas, ruído e autenticação. Procedimentos identificados: transformada rápida de Fourier (FFT), análise espectral FFT, geração pseudoaleatória, amostragem pseudoaleatória, geração senoidal, repetição de cenários/testes. A configuração detalhada e as hipóteses operacionais permanecem no código-fonte original.

Resultados registrados

```
Dispositivo: MorphIQ autorizado
Similaridade: 0.9896
Autorizado: True
Programa decodificado: [('ADD', 10), ('SUB', 3), ('ADD', 5), ('SUB', 2)]
Resultado final: 10
Dispositivo: Dispositivo nao autorizado
Similaridade: 0.0774
Autorizado: False
EXECUCAO BLOQUEADA
MORPHIQ - EXPERIMENTO 15
RESULTADO: INTEGRACAO SIMULADA CORRETA
```

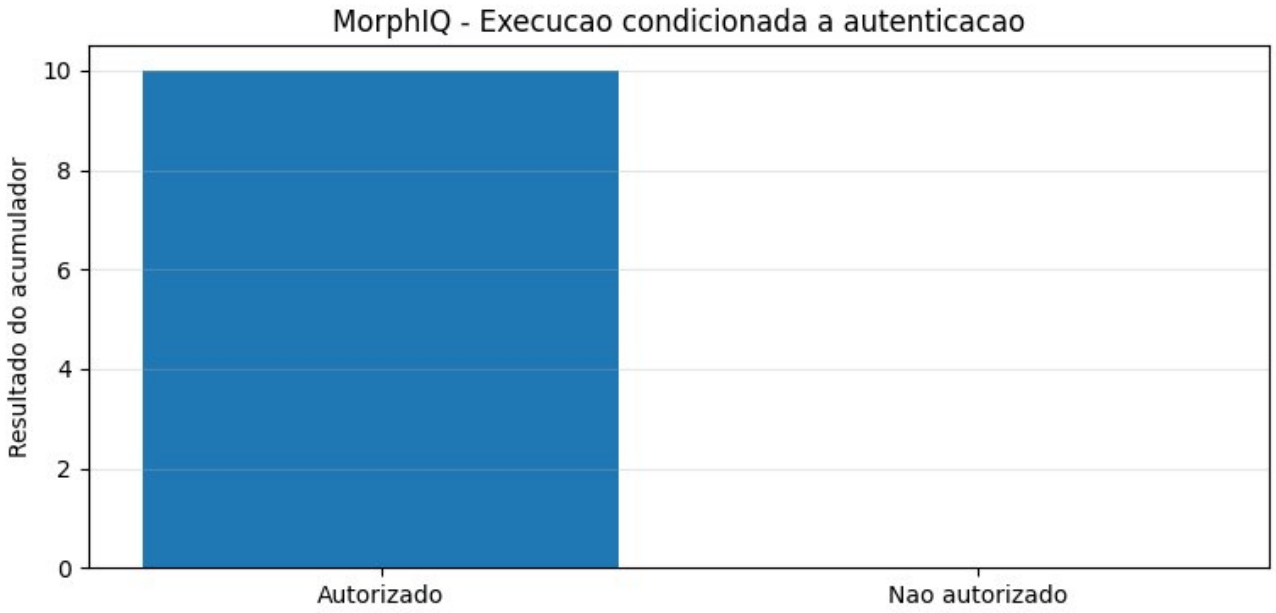


Figura 15.1 — gráfico salvo na saída do experimento 15.

Interpretação e limites

Os números e gráficos apresentados correspondem exclusivamente à execução registrada no notebook. Para avaliar repetibilidade, robustez externa e generalização, são necessários testes independentes, parâmetros explicitados e comparação com referências apropriadas.

Experimento 16 — Teste de falsificação de identidade

Objetivo e procedimento

O código aborda teste de falsificação de identidade. Procedimentos identificados: geração pseudoaleatória, amostragem pseudoaleatória, repetição de cenários/testes. A configuração detalhada e as hipóteses operacionais permanecem no código-fonte original.

Resultados registrados

```
MORPHIQ - EXPERIMENTO 16
------------------------------
Tentativas legitimas: 1000
Tentativas de intrusos: 1000
Falsas aceitacoes: 0
Falsas rejeicoes: 0
FAR observada: 0.00%
FRR observada: 0.00%
RESULTADO: NENHUM ERRO OBSERVADO
```

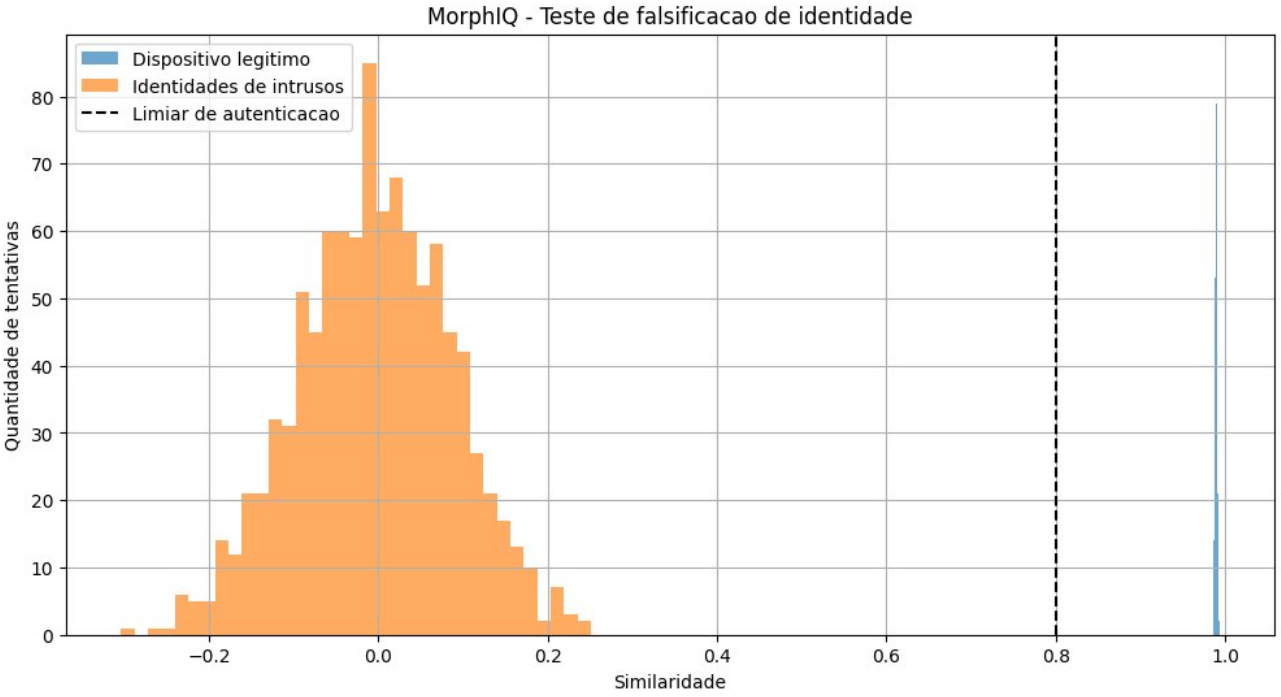


Figura 16.1 — gráfico salvo na saída do experimento 16.

Interpretação e limites

Os números e gráficos apresentados correspondem exclusivamente à execução registrada no notebook. Para avaliar repetibilidade, robustez externa e generalização, são necessários testes independentes, parâmetros explicitados e comparação com referências apropriadas.

Experimento 17 — Adulteração de ondas e integridade

Objetivo e procedimento

O código aborda adulteração de ondas e integridade. Procedimentos identificados: transformada rápida de Fourier (FFT), análise espectral FFT, geração pseudoaleatória, amostragem pseudoaleatória, geração senoidal, repetição de cenários/testes. A configuração detalhada e as hipóteses operacionais permanecem no código-fonte original.

Resultados registrados

```
Cenario: Normal
Instrucao recuperada: ADD 10
Integridade: True
Decisao: ACEITO
Cenario: Valor alterado
Instrucao recuperada: ADD 20
Integridade: False
Decisao: BLOQUEADO
Cenario: Operacao alterada
Instrucao recuperada: SUB 10
Integridade: False
Decisao: BLOQUEADO
MORPHIQ - EXPERIMENTO 17
RESULTADO: ADULTERACOES DETECTADAS
```

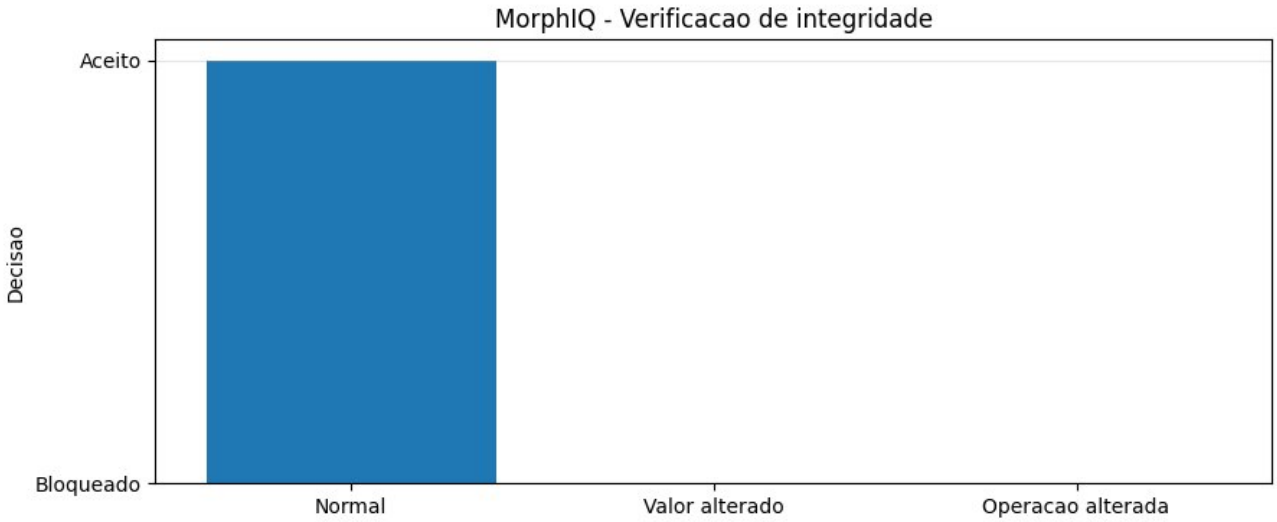


Figura 17.1 — gráfico salvo na saída do experimento 17.

Interpretação e limites

Os números e gráficos apresentados correspondem exclusivamente à execução registrada no notebook. Para avaliar repetibilidade, robustez externa e generalização, são necessários testes independentes, parâmetros explicitados e comparação com referências apropriadas.

Experimento 18 — Robustez a falhas de transmissão

Objetivo e procedimento

O código aborda robustez a falhas de transmissão. Procedimentos identificados: transformada rápida de Fourier (FFT), análise espectral FFT, geração pseudoaleatória, amostragem pseudoaleatória, geração senoidal, repetição de cenários/testes. A configuração detalhada e as hipóteses operacionais permanecem no código-fonte original.

Resultados registrados

Ideal: 100/100 (100.0%)

Ruido intenso: 96/100 (96.0%)

Perda 20%: 100/100 (100.0%)

Interferencia 12 Hz: 32/100 (32.0%)

Desvio temporal: 100/100 (100.0%)

MORPHIQ - EXPERIMENTO 18

Total de testes: 500

Taxas obtidas: [100.0, 96.0, 100.0, 32.0, 100.0]

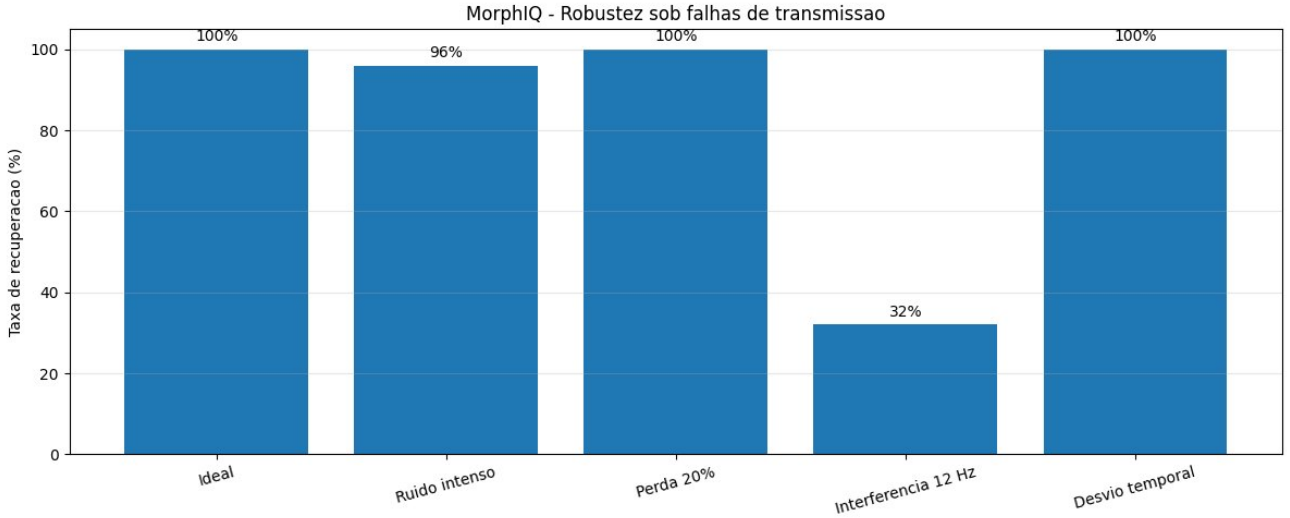


Figura 18.1 — gráfico salvo na saída do experimento 18.

Interpretação e limites

Os números e gráficos apresentados correspondem exclusivamente à execução registrada no notebook. Para avaliar repetibilidade, robustez externa e generalização, são necessários testes independentes, parâmetros explicitados e comparação com referências apropriadas.

Experimento 19 — Comparação de decodificadores

Objetivo e procedimento

O código aborda comparação de decodificadores. Procedimentos identificados: transformada rápida de Fourier (FFT), análise espectral FFT, geração pseudoaleatória, amostragem pseudoaleatória, geração senoidal, repetição de cenários/testes. A configuração detalhada e as hipóteses operacionais permanecem no código-fonte original.

Resultados registrados

Ideal

Decoder A: 100.0%

Decoder B: 100.0%

Ruido 35

Decoder A: 97.7%

Decoder B: 97.7%

Interferencia 12 Hz

Decoder A: 35.0%

Decoder B: 100.0%

Ruido + interferencia

Decoder A: 44.7%

Decoder B: 97.0%

MORPHIQ - EXPERIMENTO 19

Total de sinais avaliados: 1200

Taxas A: [100.0, 97.66666666666667, 35.0, 44.666666666666664]

Taxas B: [100.0, 97.66666666666667, 100.0, 97.0]

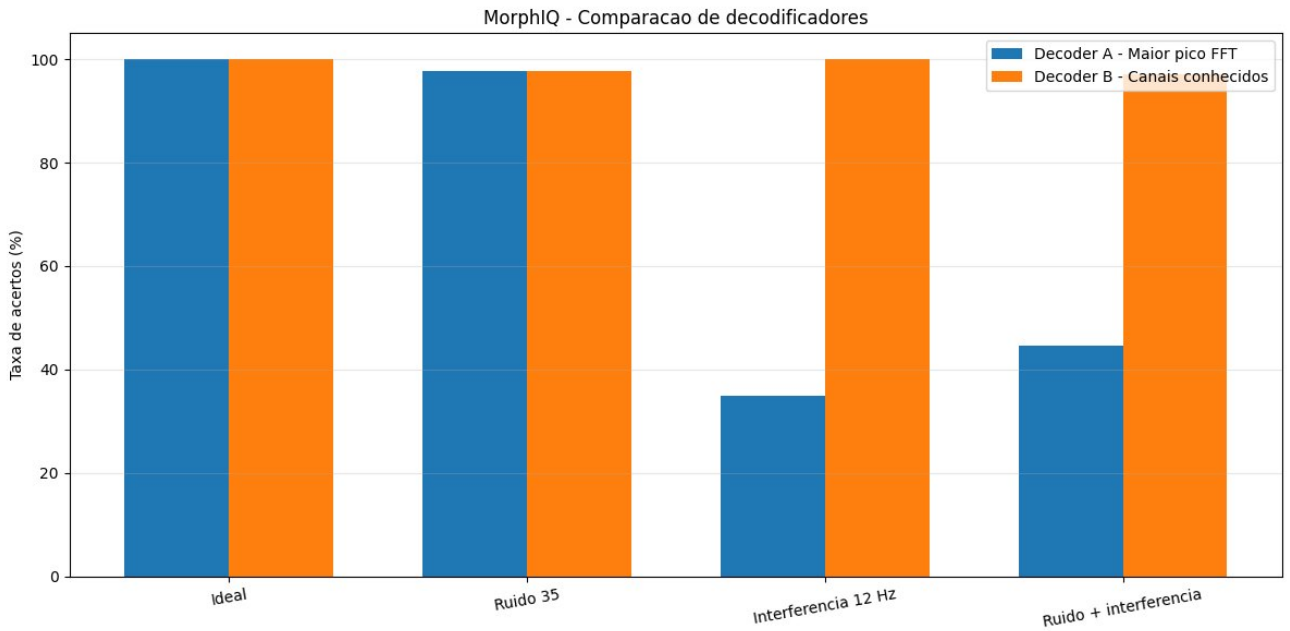


Figura 19.1 — gráfico salvo na saída do experimento 19.

Interpretação e limites

Os números e gráficos apresentados correspondem exclusivamente à execução registrada no notebook. Para avaliar repetibilidade, robustez externa e generalização, são necessários testes independentes, parâmetros explicitados e comparação com referências apropriadas.

Sincronização e robustez

Experimento 20 — Desvio de frequência e sincronização

Objetivo e procedimento

O código aborda desvio de frequência e sincronização. Procedimentos identificados: transformada rápida de Fourier (FFT), análise espectral FFT, geração pseudoaleatória, amostragem pseudoaleatória, geração senoidal, repetição de cenários/testes. A configuração detalhada e as hipóteses operacionais permanecem no código-fonte original.

Resultados registrados

Desvio 0.00 Hz | Fixo: 100.0% | Tolerante: 100.0%

Desvio 0.10 Hz | Fixo: 100.0% | Tolerante: 100.0%

Desvio 0.25 Hz | Fixo: 100.0% | Tolerante: 100.0%

Desvio 0.50 Hz | Fixo: 46.7% | Tolerante: 100.0%

Desvio 0.75 Hz | Fixo: 3.7% | Tolerante: 100.0%

Desvio 1.00 Hz | Fixo: 0.0% | Tolerante: 100.0%

Desvio 1.50 Hz | Fixo: 4.7% | Tolerante: 100.0%

Desvio 2.00 Hz | Fixo: 0.0% | Tolerante: 100.0%

MORPHIQ - EXPERIMENTO 20

Total de testes: 2400

Taxas fixo: [100.0, 100.0, 100.0, 46.666666666666664, 3.6666666666666665, 0.0, 4.666666666666667, 0.0]

Taxas tolerante: [100.0, 100.0, 100.0, 100.0, 100.0, 100.0, 100.0, 100.0]

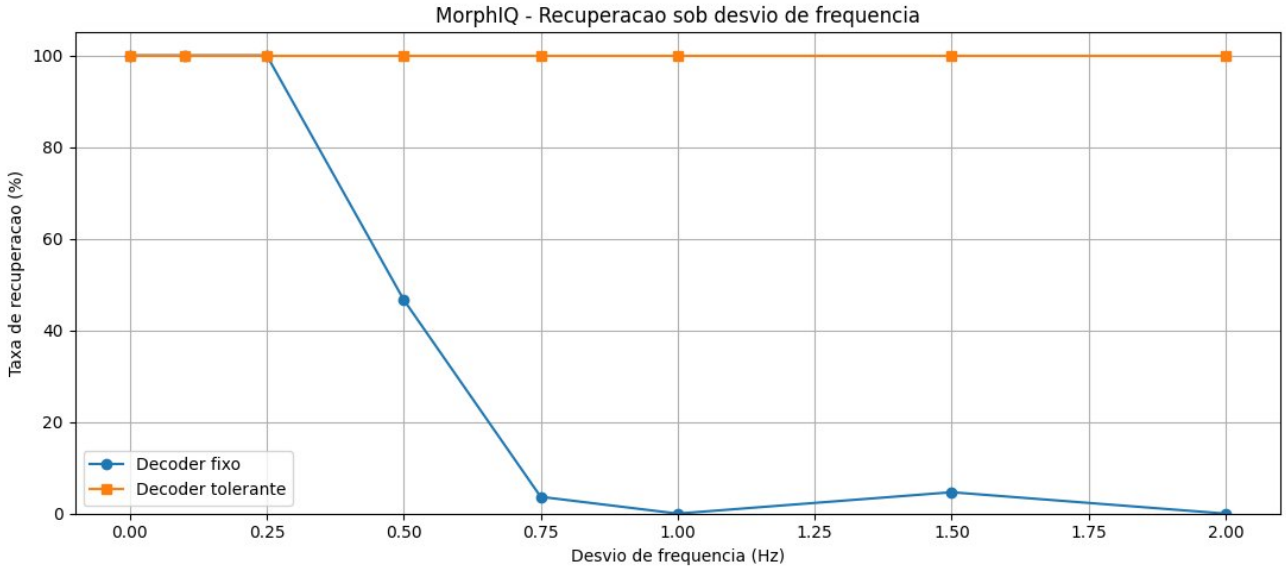


Figura 20.1 — gráfico salvo na saída do experimento 20.

Interpretação e limites

Os números e gráficos apresentados correspondem exclusivamente à execução registrada no notebook. Para avaliar repetibilidade, robustez externa e generalização, são necessários testes independentes, parâmetros explicitados e comparação com referências apropriadas.

Experimento 21 — Desvios independentes e interferência

Objetivo e procedimento

O código aborda desvios independentes e interferência. Procedimentos identificados: transformada rápida de Fourier (FFT), análise espectral FFT, geração pseudoaleatória, amostragem pseudoaleatória, geração senoidal, repetição de cenários/testes. A configuração detalhada e as hipóteses operacionais permanecem no código-fonte original.

Resultados registrados

Desvio independente +/-0.00 Hz | Acertos: 300/300 | Taxa: 100.0%

Desvio independente +/-0.10 Hz | Acertos: 300/300 | Taxa: 100.0%

Desvio independente +/-0.25 Hz | Acertos: 300/300 | Taxa: 100.0%

Desvio independente +/-0.50 Hz | Acertos: 226/300 | Taxa: 75.3%

Desvio independente +/-0.75 Hz | Acertos: 171/300 | Taxa: 57.0%

Desvio independente +/-1.00 Hz | Acertos: 142/300 | Taxa: 47.3%

MORPHIQ - EXPERIMENTO 21

Total de testes: 1800

Taxas: [100.0, 100.0, 100.0, 75.33333333333333, 57.0, 47.333333333333336]

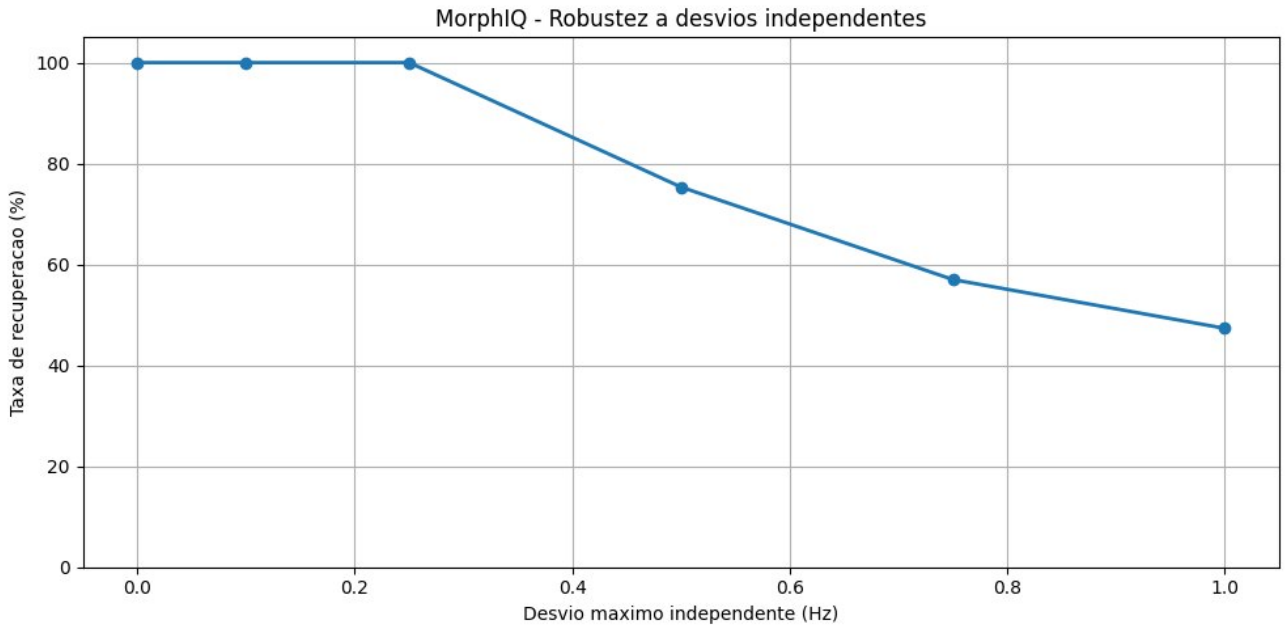


Figura 21.1 — gráfico salvo na saída do experimento 21.

Interpretação e limites

Os números e gráficos apresentados correspondem exclusivamente à execução registrada no notebook. Para avaliar repetibilidade, robustez externa e generalização, são necessários testes independentes, parâmetros explicitados e comparação com referências apropriadas.

Experimento 22 — Espaçamento de frequências e robustez

Objetivo e procedimento

O código aborda espaçamento de frequências e robustez. Procedimentos identificados: transformada rápida de Fourier (FFT), análise espectral FFT, geração pseudoaleatória, amostragem pseudoaleatória, geração senoidal, repetição de cenários/testes. A configuração detalhada e as hipóteses operacionais permanecem no código-fonte original.

Resultados registrados

Espaco 1 Hz | Desvio +/-0.00 Hz | Acertos 100.0%
Espaco 1 Hz | Desvio +/-0.25 Hz | Acertos 99.7%
Espaco 1 Hz | Desvio +/-0.50 Hz | Acertos 74.3%
Espaco 1 Hz | Desvio +/-0.75 Hz | Acertos 55.7%
Espaco 1 Hz | Desvio +/-1.00 Hz | Acertos 46.7%
Espaco 2 Hz | Desvio +/-0.00 Hz | Acertos 100.0%
Espaco 2 Hz | Desvio +/-0.25 Hz | Acertos 100.0%
Espaco 2 Hz | Desvio +/-0.50 Hz | Acertos 100.0%
Espaco 2 Hz | Desvio +/-0.75 Hz | Acertos 89.7%
Espaco 2 Hz | Desvio +/-1.00 Hz | Acertos 75.7%
Espaco 4 Hz | Desvio +/-0.00 Hz | Acertos 100.0%
Espaco 4 Hz | Desvio +/-0.25 Hz | Acertos 100.0%
Espaco 4 Hz | Desvio +/-0.50 Hz | Acertos 100.0%
Espaco 4 Hz | Desvio +/-0.75 Hz | Acertos 100.0%
Espaco 4 Hz | Desvio +/-1.00 Hz | Acertos 97.0%
MORPHIQ - EXPERIMENTO 22
Total de transmissoes: 4500
Espacamento 1 Hz: [100.0, 99.66666666666667, 74.33333333333333, 55.666666666666664, 46.666666666666664]
Espacamento 2 Hz: [100.0, 100.0, 100.0, 89.66666666666667, 75.66666666666667]
Espacamento 4 Hz: [100.0, 100.0, 100.0, 100.0, 97.0]

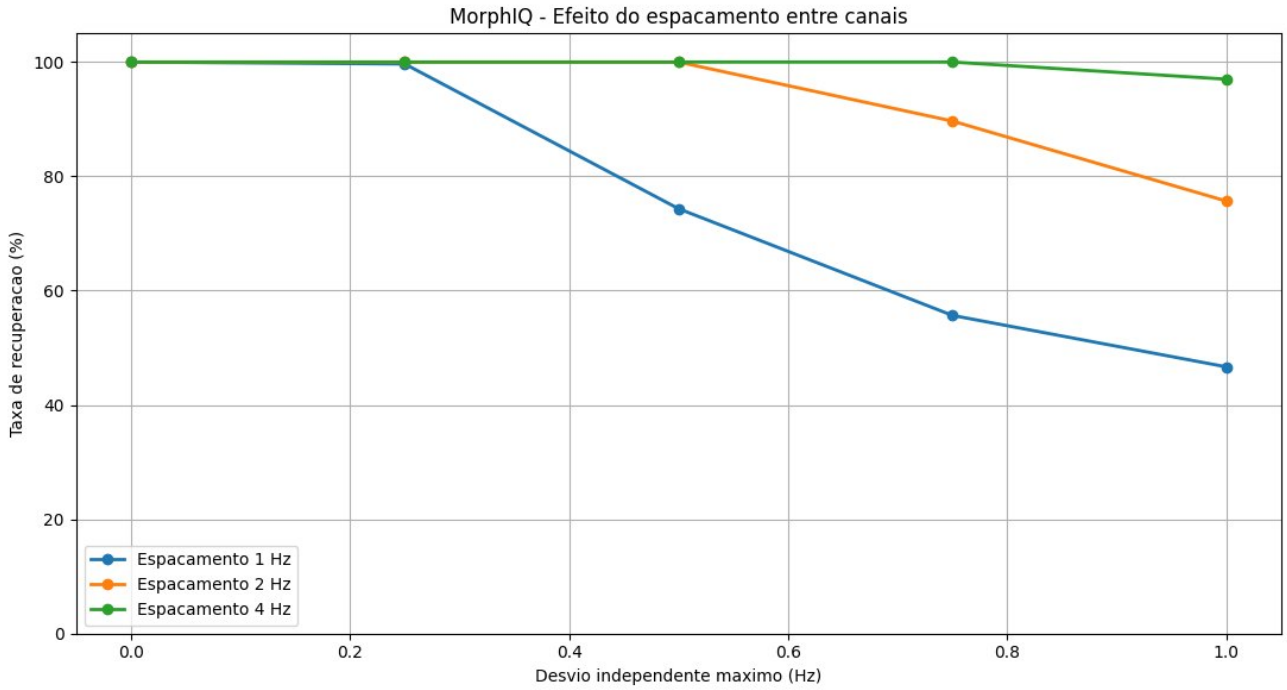


Figura 22.1 — gráfico salvo na saída do experimento 22.

Interpretação e limites

Os números e gráficos apresentados correspondem exclusivamente à execução registrada no notebook. Para avaliar repetibilidade, robustez externa e generalização, são necessários testes independentes, parâmetros explicitados e comparação com referências apropriadas.

Experimento 23 — Codificação adaptativa de frequências

Objetivo e procedimento

O código aborda codificação adaptativa de frequências. Procedimentos identificados: transformada rápida de Fourier (FFT), análise espectral FFT, geração pseudoaleatória, amostragem pseudoaleatória, geração senoidal, repetição de cenários/testes. A configuração detalhada e as hipóteses operacionais permanecem no código-fonte original.

Resultados registrados

Desvio +/-0.10 Hz | Espacamento escolhido: 1 Hz
Fixo 1 Hz: 100.0%
Fixo 2 Hz: 100.0%
Fixo 4 Hz: 100.0%
Adaptativo: 100.0%
Desvio +/-0.25 Hz | Espacamento escolhido: 1 Hz
Fixo 1 Hz: 99.7%
Fixo 2 Hz: 100.0%
Fixo 4 Hz: 100.0%
Adaptativo: 99.7%
Desvio +/-0.50 Hz | Espacamento escolhido: 2 Hz
Fixo 1 Hz: 74.3%
Fixo 2 Hz: 99.7%
Fixo 4 Hz: 100.0%
Adaptativo: 99.7%
Desvio +/-0.75 Hz | Espacamento escolhido: 4 Hz
[...] 5 linhas intermediárias omitidas nesta transcrição; consulte o notebook original.
Fixo 1 Hz: 46.7%
Fixo 2 Hz: 78.7%
Fixo 4 Hz: 97.0%
Adaptativo: 97.0%
MORPHIQ - EXPERIMENTO 23
Total de cenarios de referencia: 1500
Espacamentos adaptativos: [1, 1, 2, 4, 4]

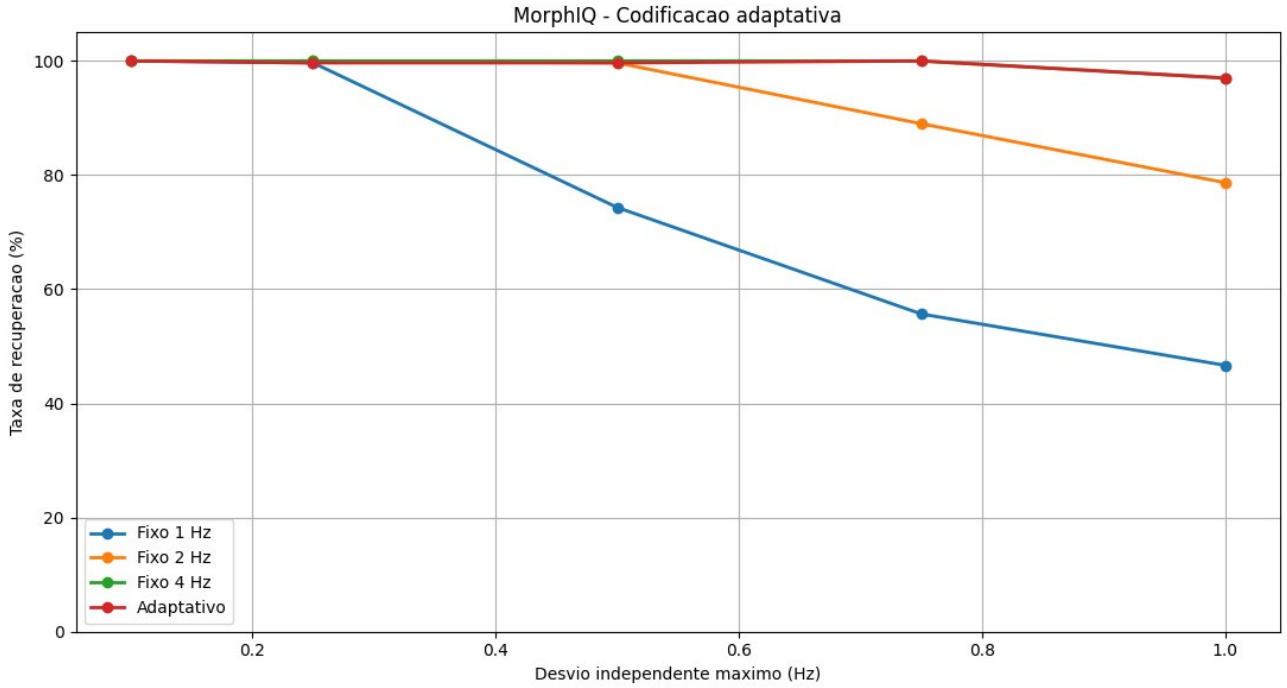


Figura 23.1 — gráfico salvo na saída do experimento 23.

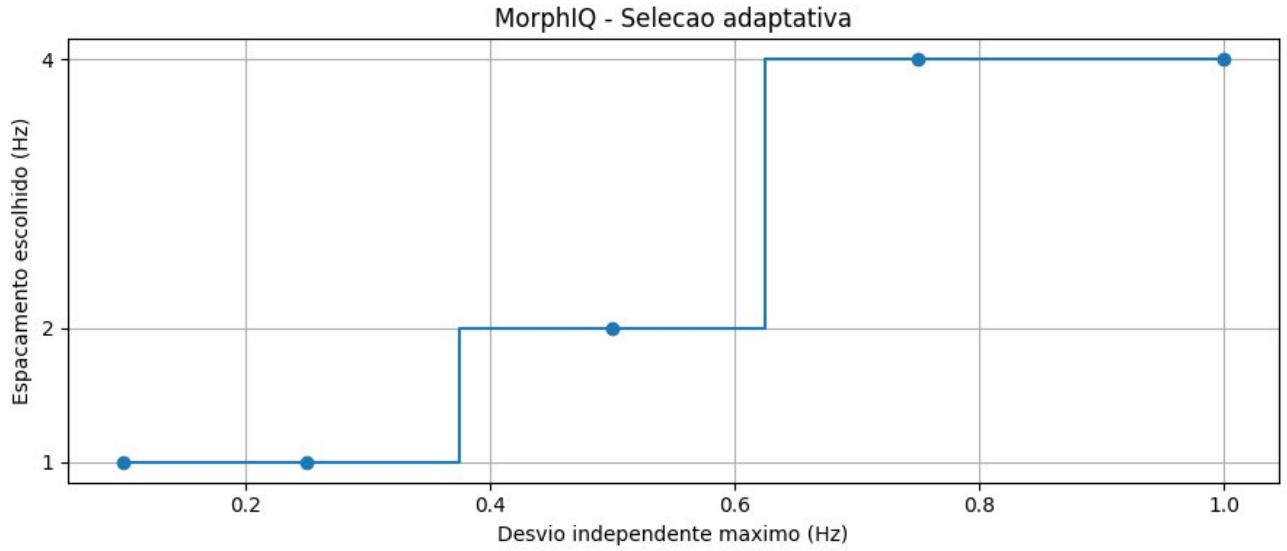


Figura 23.2 — gráfico salvo na saída do experimento 23.

Interpretação e limites

Os números e gráficos apresentados correspondem exclusivamente à execução registrada no notebook. Para avaliar repetibilidade, robustez externa e generalização, são necessários testes independentes, parâmetros explicitados e comparação com referências apropriadas.

Aritmética e estimadores

Experimento 24 — Soma por mistura de ondas

Objetivo e procedimento

O código aborda soma por mistura de ondas. Procedimentos identificados: transformada rápida de Fourier (FFT), análise espectral FFT, geração senoidal. A configuração detalhada e as hipóteses operacionais permanecem no código-fonte original.

Resultados registrados

```
MORPHIQ - EXPERIMENTO 24
----------------------------
Entrada A: 5 Hz
Entrada B: 3 Hz
Frequencia recuperada: 8.0 Hz
Resultado esperado: 8 Hz
Erro: 0.0 Hz
TESTE APROVADO
```

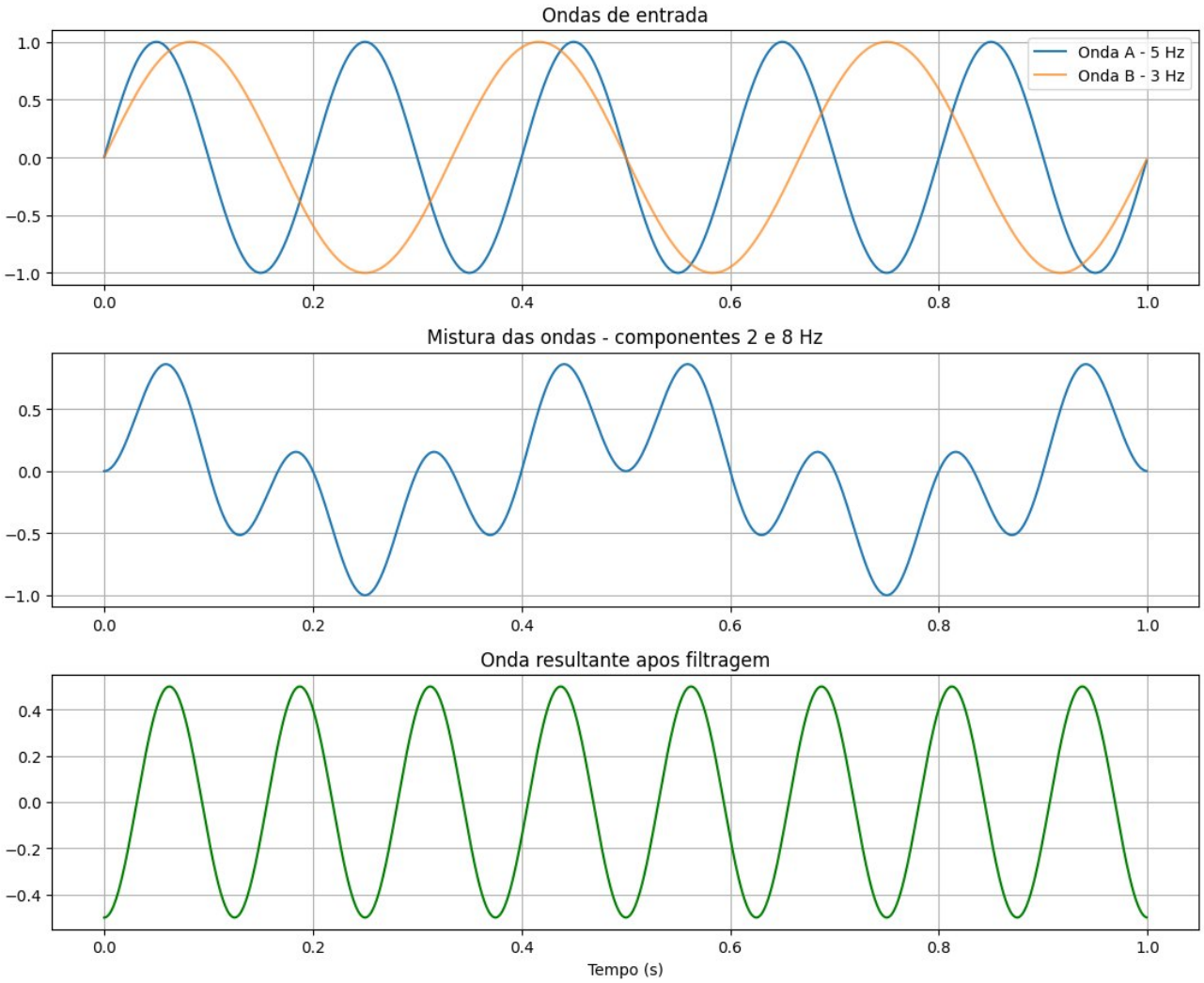


Figura 24.1 — gráfico salvo na saída do experimento 24.

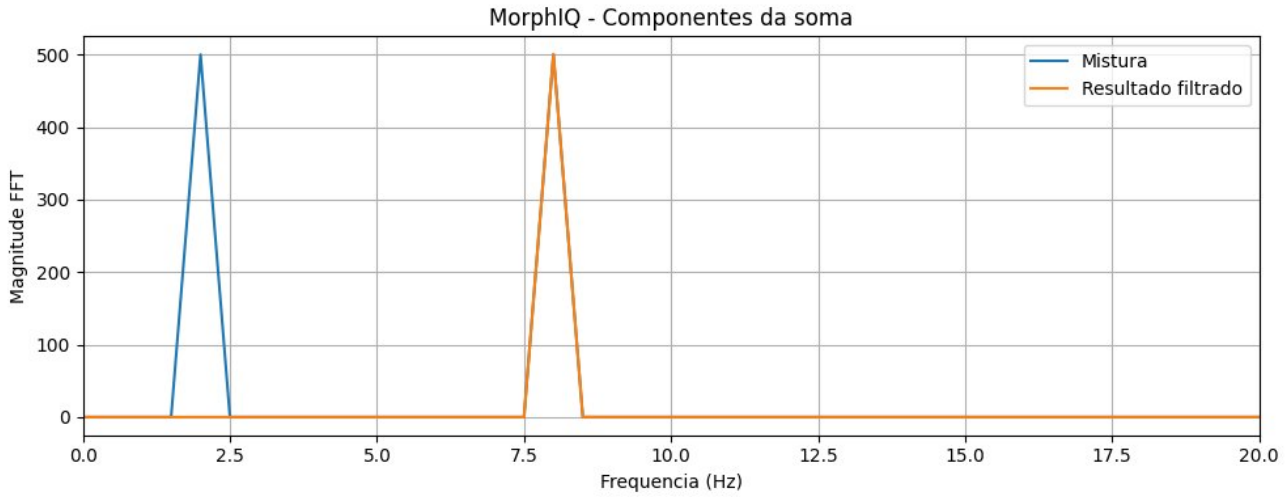


Figura 24.2 — gráfico salvo na saída do experimento 24.

Interpretação e limites

Os números e gráficos apresentados correspondem exclusivamente à execução registrada no notebook. Para avaliar repetibilidade, robustez externa e generalização, são necessários testes independentes, parâmetros explicitados e comparação com referências apropriadas.

Experimento 25 — Soma de múltiplos números

Objetivo e procedimento

O código aborda soma de múltiplos números. Procedimentos identificados: transformada rápida de Fourier (FFT), análise espectral FFT, geração pseudoaleatória, amostragem pseudoaleatória, geração senoidal, repetição de cenários/testes. A configuração detalhada e as hipóteses operacionais permanecem no código-fonte original.

Resultados registrados

```
MORPHIQ - EXPERIMENTO 25
--------------------------------
Total de testes: 100
Acertos: 100
Taxa de recuperacao: 100.0 %
Erro medio: 0.0 Hz
Erro maximo: 0.0 Hz
```

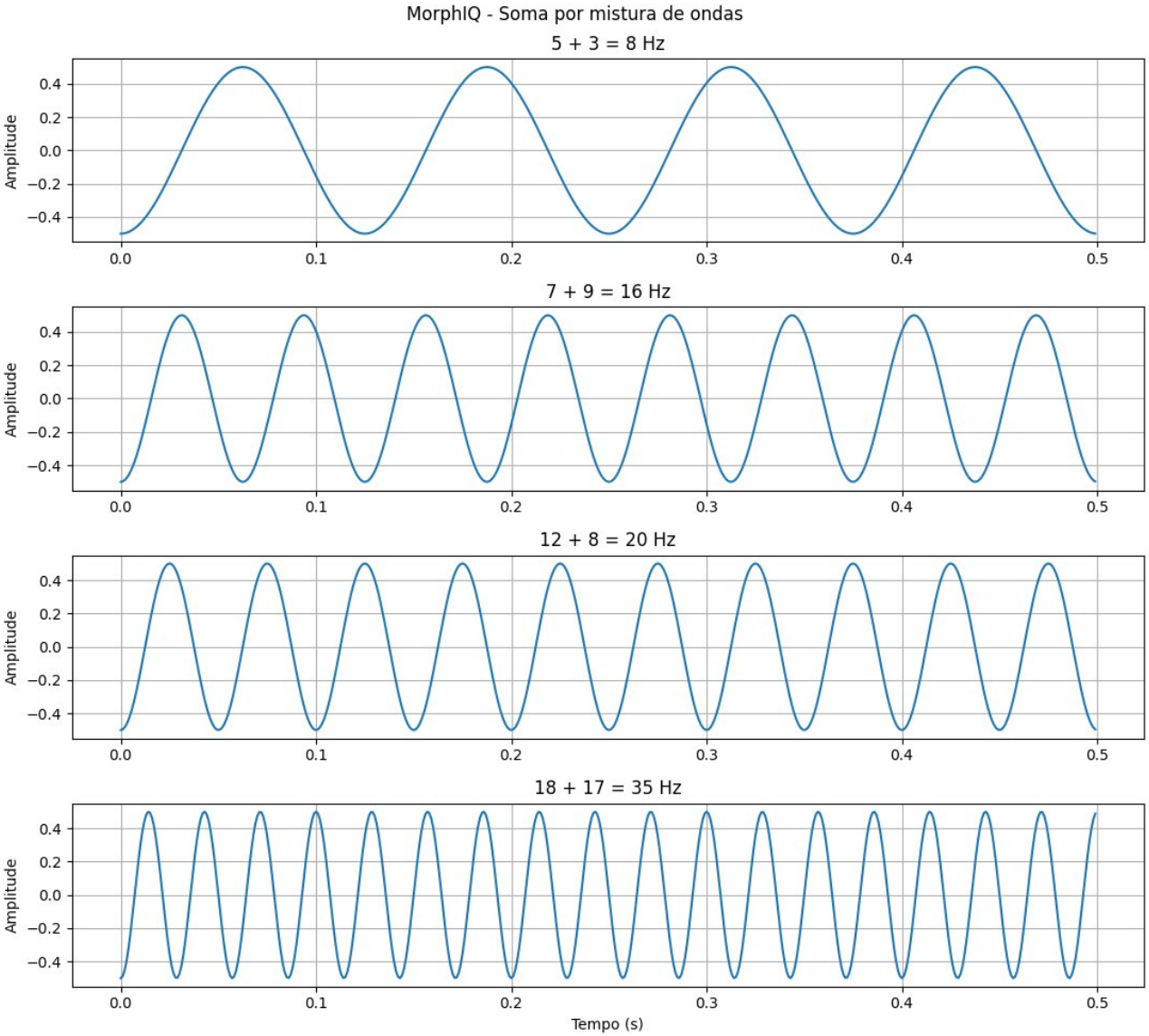


Figura 25.1 — gráfico salvo na saída do experimento 25.

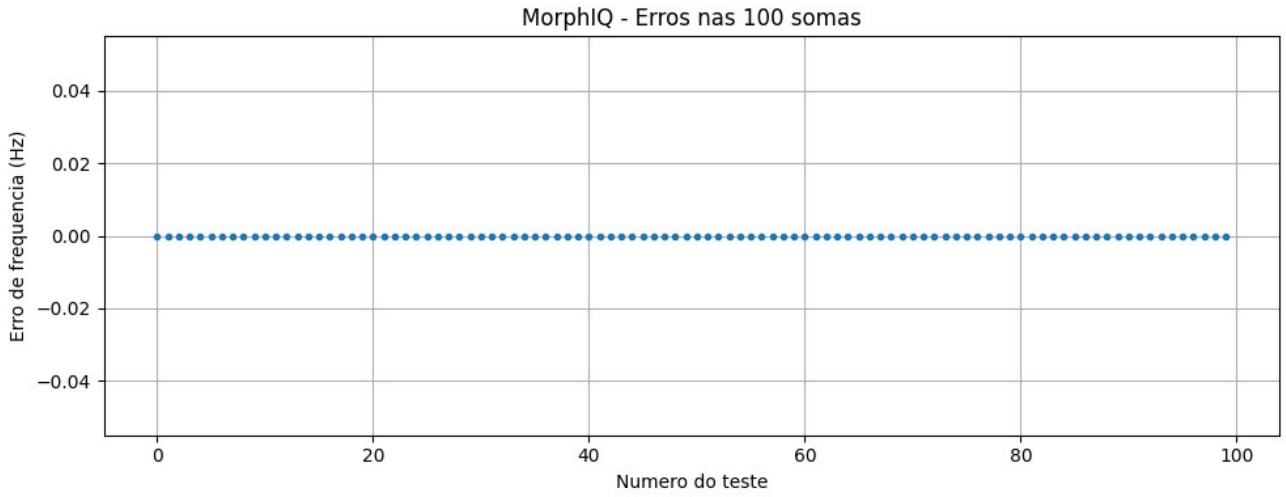


Figura 25.2 — gráfico salvo na saída do experimento 25.

Interpretação e limites

Os números e gráficos apresentados correspondem exclusivamente à execução registrada no notebook. Para avaliar repetibilidade, robustez externa e generalização, são necessários testes independentes, parâmetros explicitados e comparação com referências apropriadas.

Experimento 26 — Subtração por mistura de ondas

Objetivo e procedimento

O código aborda subtração por mistura de ondas. Procedimentos identificados: transformada rápida de Fourier (FFT), análise espectral FFT, geração pseudoaleatória, amostragem pseudoaleatória, geração senoidal, repetição de cenários/testes. A configuração detalhada e as hipóteses operacionais permanecem no código-fonte original.

Resultados registrados

```
MORPHIQ - EXPERIMENTO 26
--------------------------------
Total de testes: 100
Acertos: 100
Taxa de recuperacao: 100.0 %
Erro medio: 0.0 Hz
Erro maximo: 0.0 Hz
```

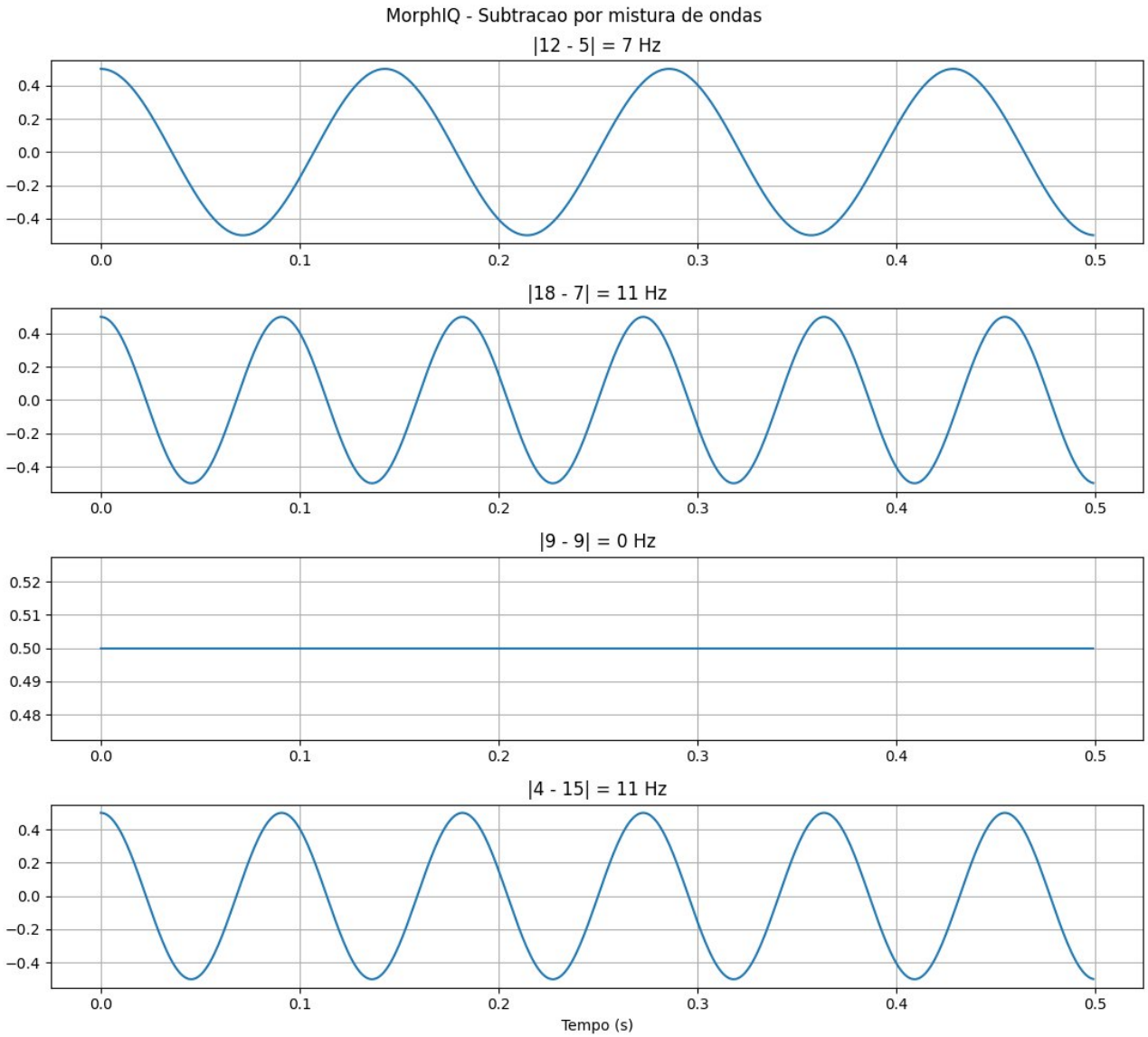


Figura 26.1 — gráfico salvo na saída do experimento 26.

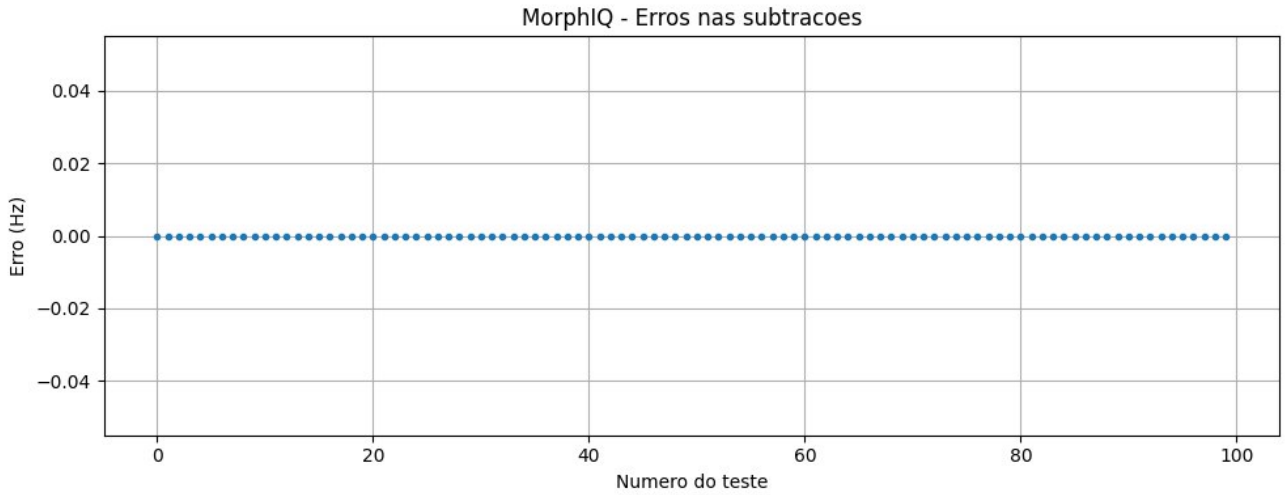


Figura 26.2 — gráfico salvo na saída do experimento 26.

Interpretação e limites

Os números e gráficos apresentados correspondem exclusivamente à execução registrada no notebook. Para avaliar repetibilidade, robustez externa e generalização, são necessários testes independentes, parâmetros explicitados e comparação com referências apropriadas.

Experimento 27 — Subtração com sinal por ondas I/Q

Objetivo e procedimento

O código aborda subtração com sinal por ondas i/q. Procedimentos identificados: transformada rápida de Fourier (FFT), análise espectral FFT, geração pseudoaleatória, amostragem pseudoaleatória, repetição de cenários/testes. A configuração detalhada e as hipóteses operacionais permanecem no código-fonte original.

Resultados registrados

```
MORPHIQ - EXPERIMENTO 27
----------------------------
Total de testes: 100
Acertos: 100
Taxa de recuperacao: 100.0 %
Erro medio: 0.0 Hz
Erro maximo: 0.0 Hz
```

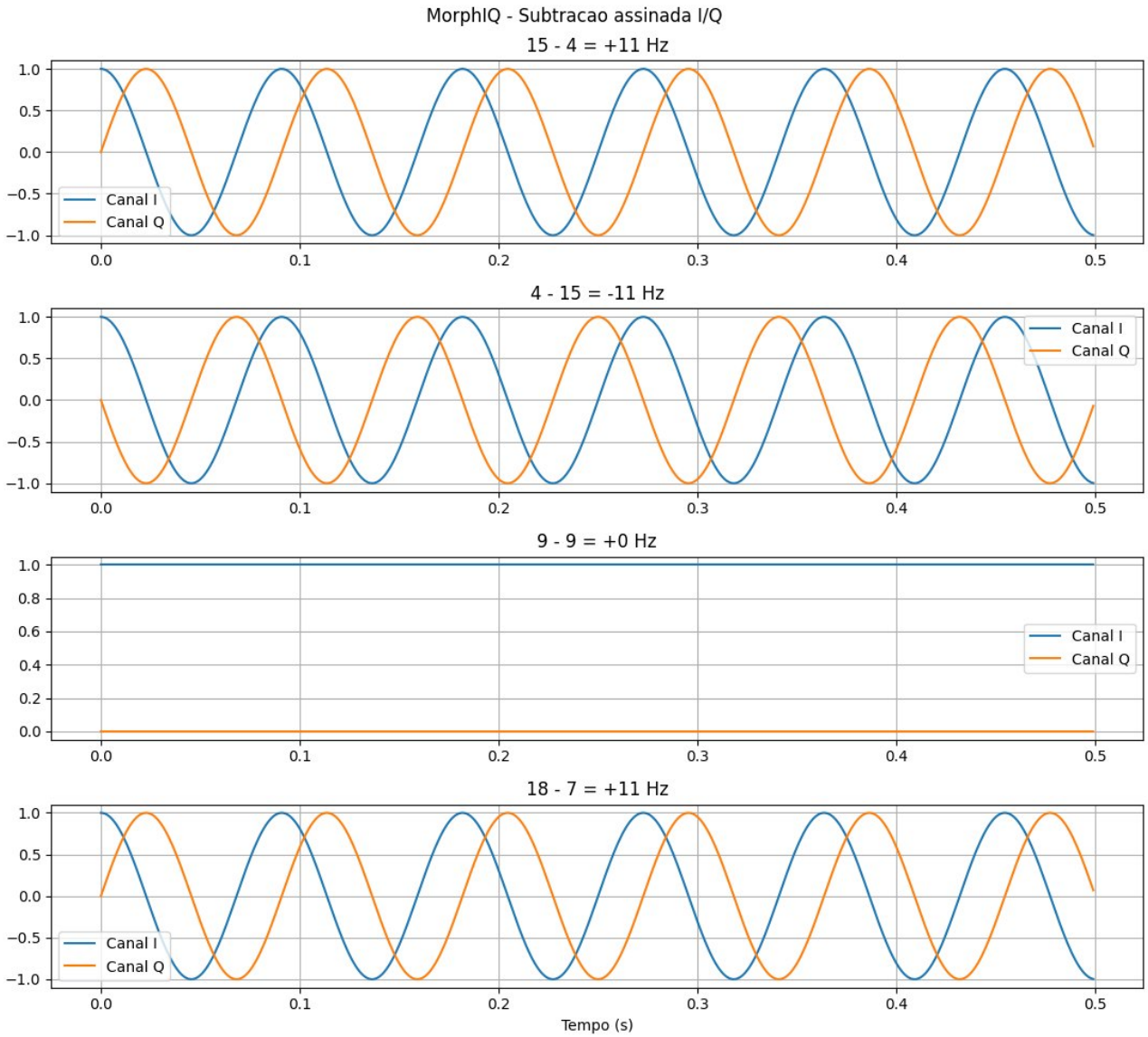


Figura 27.1 — gráfico salvo na saída do experimento 27.

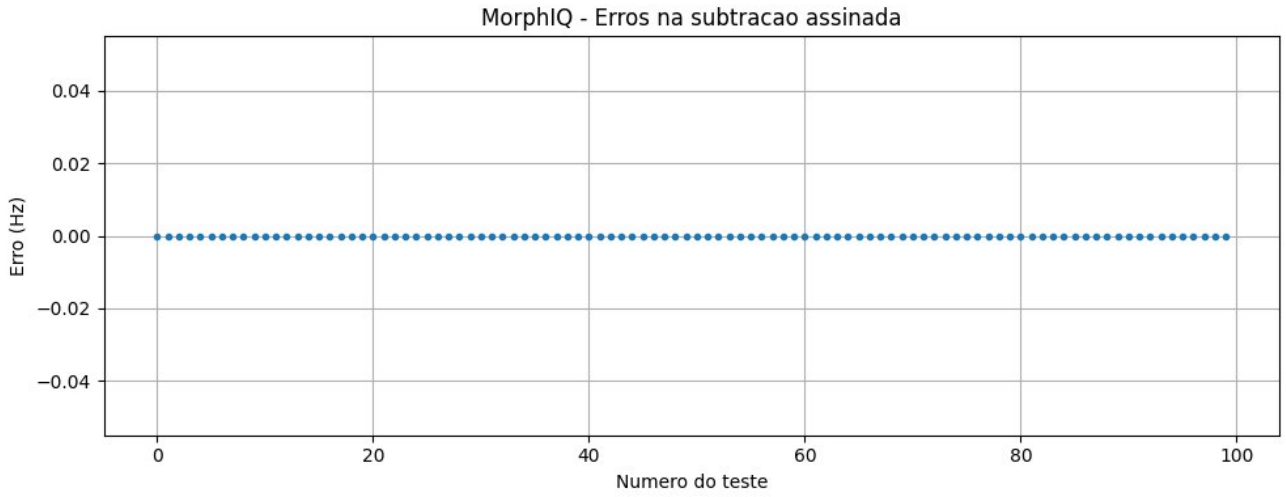


Figura 27.2 — gráfico salvo na saída do experimento 27.

Interpretação e limites

Os números e gráficos apresentados correspondem exclusivamente à execução registrada no notebook. Para avaliar repetibilidade, robustez externa e generalização, são necessários testes independentes, parâmetros explicitados e comparação com referências apropriadas.

Experimento 28 — Robustez da subtração I/Q

Objetivo e procedimento

O código aborda robustez da subtração i/q. Procedimentos identificados: transformada rápida de Fourier (FFT), análise espectral FFT, geração pseudoaleatória, amostragem pseudoaleatória, repetição de cenários/testes. A configuração detalhada e as hipóteses operacionais permanecem no código-fonte original.

Resultados registrados

Ideal: 100.0% | Erro medio: 0.000 Hz

Ruido leve: 100.0% | Erro medio: 0.000 Hz

Ruido forte: 100.0% | Erro medio: 0.000 Hz

Erro de fase: 100.0% | Erro medio: 0.000 Hz

Desvio 0.25 Hz: 100.0% | Erro medio: 0.112 Hz

Desvio 0.75 Hz: 75.7% | Erro medio: 0.480 Hz

MORPHIQ - EXPERIMENTO 28

Total de testes: 1800

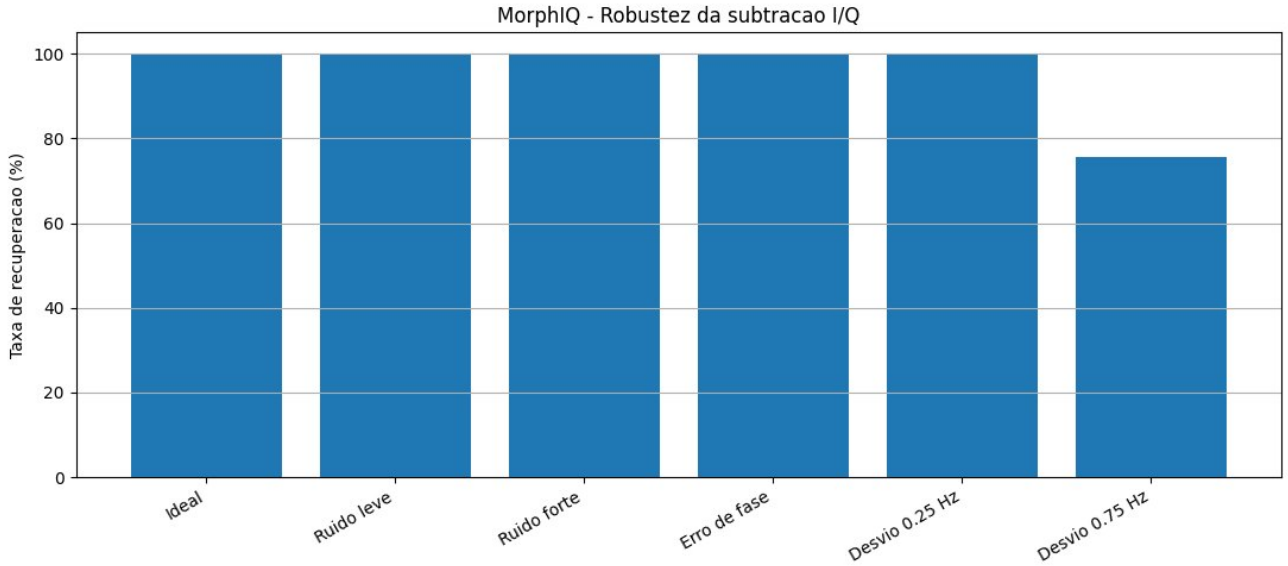


Figura 28.1 — gráfico salvo na saída do experimento 28.

Interpretação e limites

Os números e gráficos apresentados correspondem exclusivamente à execução registrada no notebook. Para avaliar repetibilidade, robustez externa e generalização, são necessários testes independentes, parâmetros explicitados e comparação com referências apropriadas.

Experimento 29 — FFT versus estimativa de fase I/Q

Objetivo e procedimento

O código aborda fft versus estimativa de fase i/q. Procedimentos identificados: transformada rápida de Fourier (FFT), análise espectral FFT, geração pseudoaleatória, amostragem pseudoaleatória, estimativa de fase, repetição de cenários/testes. A configuração detalhada e as hipóteses operacionais permanecem no código-fonte original.

Resultados registrados

Desvio +/-0.00 Hz | FFT: 100.0% | Fase: 23.7%

Desvio +/-0.10 Hz | FFT: 73.7% | Fase: 16.7%

Desvio +/-0.25 Hz | FFT: 40.3% | Fase: 21.0%

Desvio +/-0.50 Hz | FFT: 35.0% | Fase: 20.3%

Desvio +/-0.75 Hz | FFT: 44.0% | Fase: 18.3%

Desvio +/-1.00 Hz | FFT: 36.7% | Fase: 15.3%

MORPHIQ - EXPERIMENTO 29

Total de testes: 1800

Erros medios FFT: [np.float64(0.0), np.float64(0.06967329373879094), np.float64(0.1263362107638819), np.float64(0.13197606325589187), np.float64(0.1202937847...

Erros medios fase: [np.float64(0.3209152973091568), np.float64(0.332828023311068), np.float64(0.32077618071382424), np.float64(0.32366599370849514), np.float...

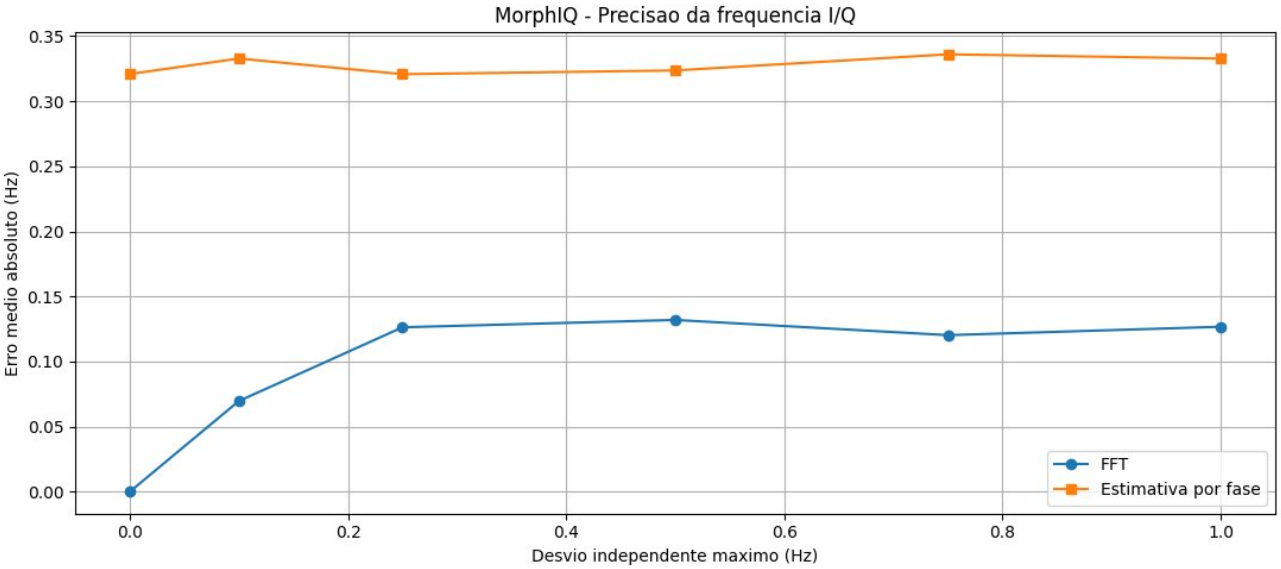


Figura 29.1 — gráfico salvo na saída do experimento 29.

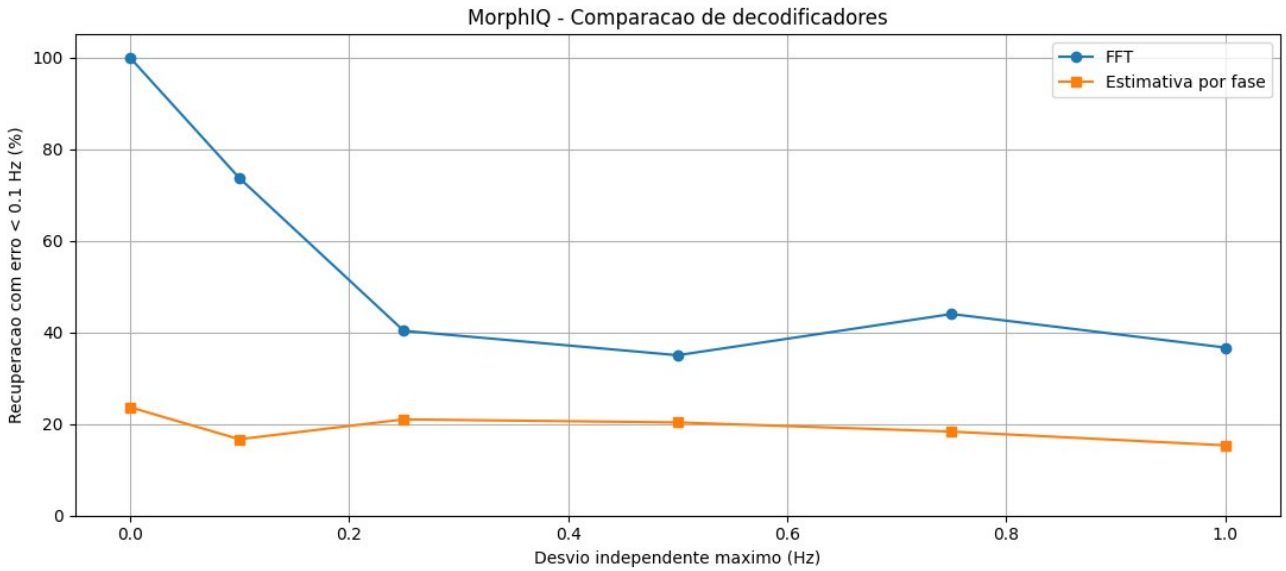


Figura 29.2 — gráfico salvo na saída do experimento 29.

Interpretação e limites

Os números e gráficos apresentados correspondem exclusivamente à execução registrada no notebook. Para avaliar repetibilidade, robustez externa e generalização, são necessários testes independentes, parâmetros explicitados e comparação com referências apropriadas.

Experimento 30 — Otimização da estimativa de fase I/Q

Objetivo e procedimento

O código aborda otimização da estimativa de fase i/q. Procedimentos identificados: transformada rápida de Fourier (FFT), análise espectral FFT, geração pseudoaleatória, amostragem pseudoaleatória, estimativa de fase, repetição de cenários/testes. A configuração detalhada e as hipóteses operacionais permanecem no código-fonte original.

Resultados registrados

Desvio +/-0.00 Hz
FFT: 100.0% | Erro medio: 0.0000 Hz
Fase atraso 1: 23.7% | Erro medio: 0.3209 Hz
Fase atraso 10: 97.3% | Erro medio: 0.0368 Hz
Desvio +/-0.10 Hz
FFT: 73.7% | Erro medio: 0.0697 Hz
Fase atraso 1: 16.7% | Erro medio: 0.3328 Hz
Fase atraso 10: 99.0% | Erro medio: 0.0325 Hz
Desvio +/-0.25 Hz
FFT: 40.3% | Erro medio: 0.1263 Hz
Fase atraso 1: 21.0% | Erro medio: 0.3208 Hz
Fase atraso 10: 99.0% | Erro medio: 0.0356 Hz
Desvio +/-0.50 Hz
FFT: 35.0% | Erro medio: 0.1320 Hz
Fase atraso 1: 20.3% | Erro medio: 0.3237 Hz
Fase atraso 10: 98.0% | Erro medio: 0.0354 Hz
Desvio +/-0.75 Hz
FFT: 44.0% | Erro medio: 0.1203 Hz
Fase atraso 1: 18.3% | Erro medio: 0.3360 Hz
Fase atraso 10: 97.7% | Erro medio: 0.0346 Hz
Desvio +/-1.00 Hz
FFT: 36.7% | Erro medio: 0.1267 Hz
Fase atraso 1: 15.3% | Erro medio: 0.3328 Hz
Fase atraso 10: 98.7% | Erro medio: 0.0330 Hz
MORPHIQ - EXPERIMENTO 30
Total de testes: 1800

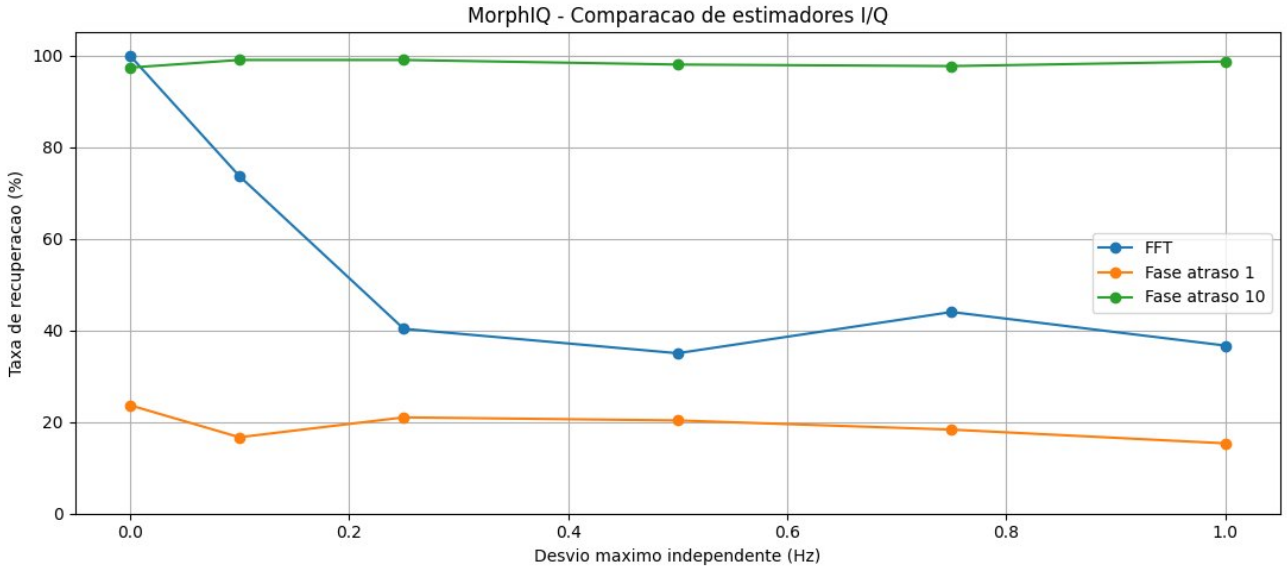


Figura 30.1 — gráfico salvo na saída do experimento 30.

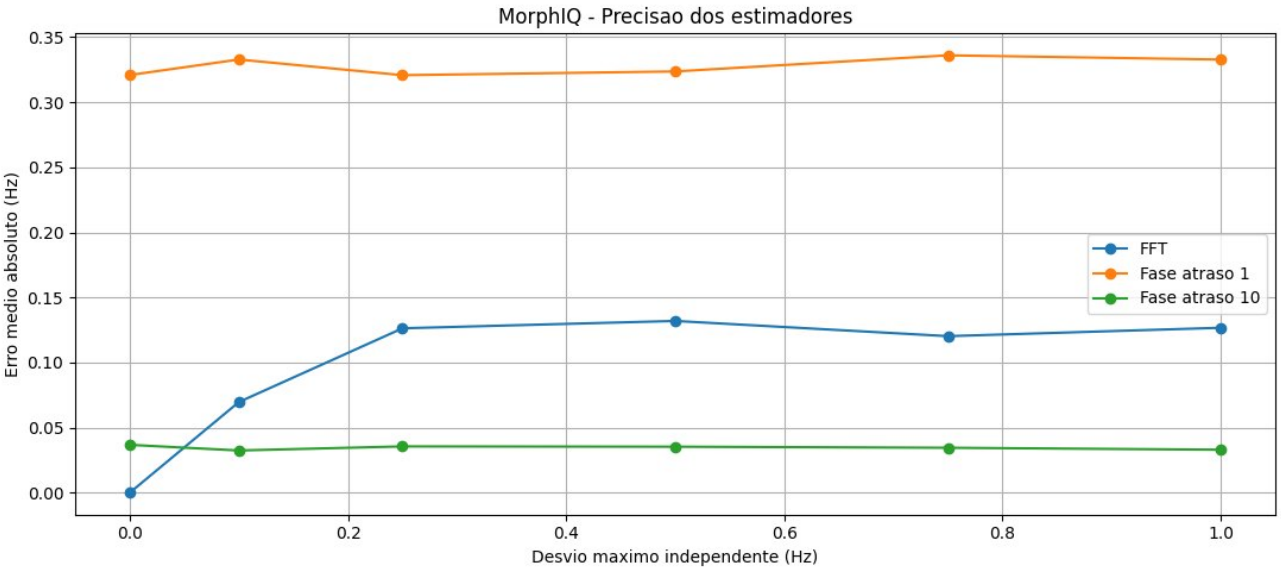


Figura 30.2 — gráfico salvo na saída do experimento 30.

Interpretação e limites

Os números e gráficos apresentados correspondem exclusivamente à execução registrada no notebook. Para avaliar repetibilidade, robustez externa e generalização, são necessários testes independentes, parâmetros explicitados e comparação com referências apropriadas.

Experimento 31 — Unidade aritmética experimental por ondas

Objetivo e procedimento

O código aborda unidade aritmética experimental por ondas. Procedimentos identificados: geração pseudoaleatória, amostragem pseudoaleatória, estimativa de fase, repetição de cenários/testes. A configuração detalhada e as hipóteses operacionais permanecem no código-fonte original.

Resultados registrados

```
MORPHIQ - EXPERIMENTO 31
--------------------------------
Operacao: ADD
Acertos: 300
Taxa: 100.0 %
Erro medio: 0.0172 Hz
Operacao: SUB
Acertos: 300
Taxa: 100.0 %
Erro medio: 0.0166 Hz
EXEMPLOS DE EXECUCAO
ADD(18,4) | Esperado: +22 | Medido: +21.985 Hz
ADD(20,4) | Esperado: +24 | Medido: +23.977 Hz
ADD(9,6) | Esperado: +15 | Medido: +15.004 Hz
ADD(13,6) | Esperado: +19 | Medido: +18.975 Hz
SUB(18,4) | Esperado: +14 | Medido: +13.987 Hz
SUB(19,10) | Esperado: +9 | Medido: +9.005 Hz
SUB(5,4) | Esperado: +1 | Medido: +0.996 Hz
SUB(13,8) | Esperado: +5 | Medido: +4.996 Hz
Total de operacoes testadas: 600
```

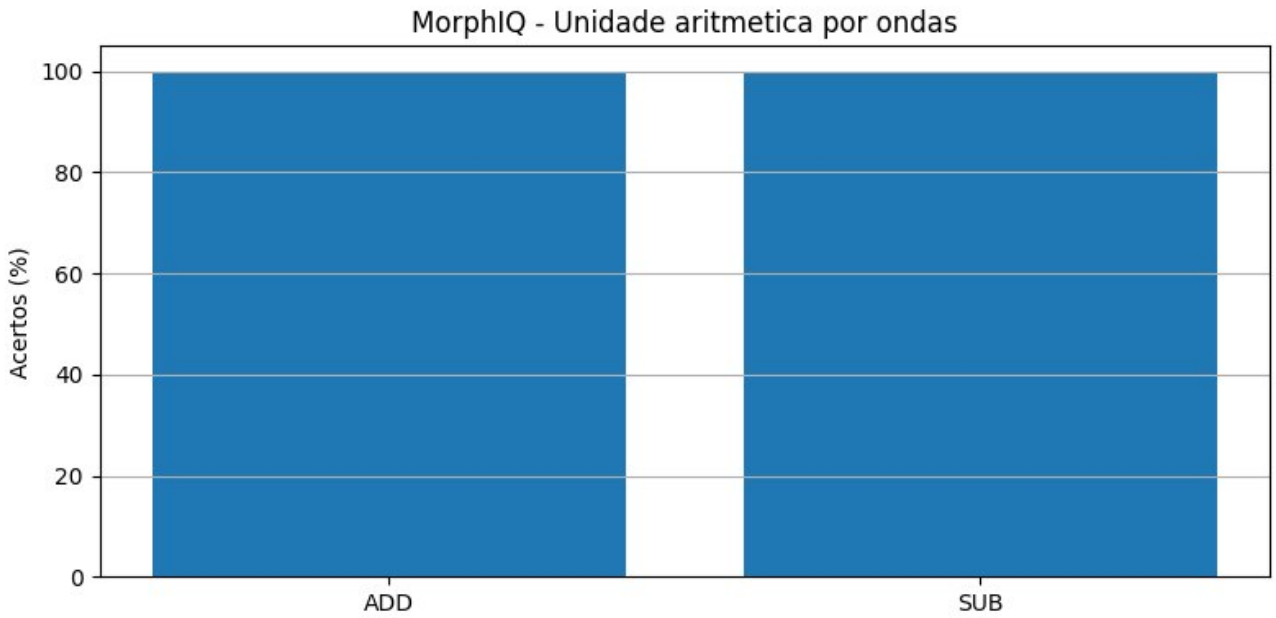


Figura 31.1 — gráfico salvo na saída do experimento 31.

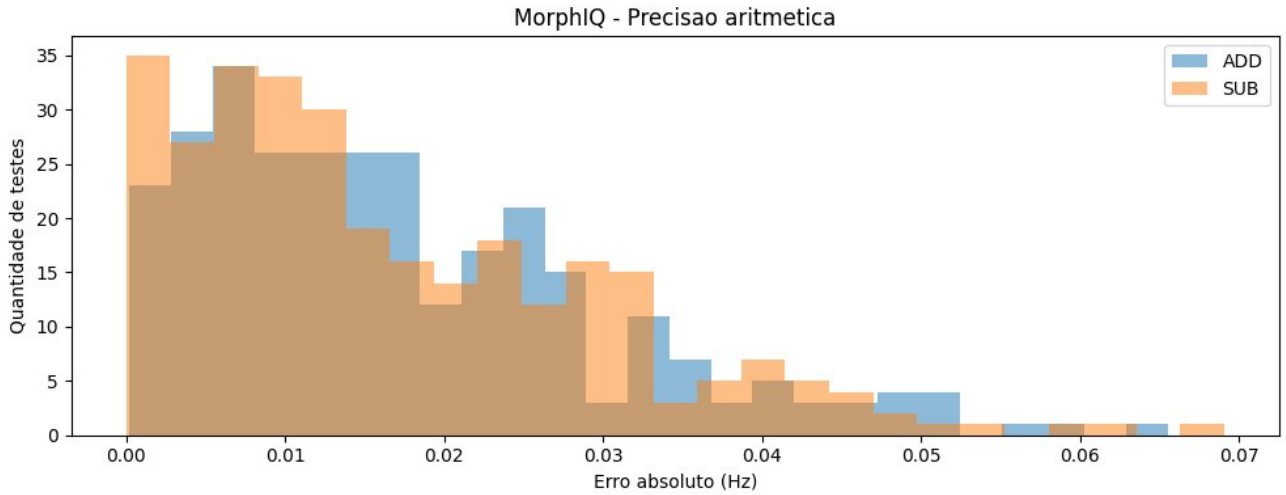


Figura 31.2 — gráfico salvo na saída do experimento 31.

Interpretação e limites

Os números e gráficos apresentados correspondem exclusivamente à execução registrada no notebook. Para avaliar repetibilidade, robustez externa e generalização, são necessários testes independentes, parâmetros explicitados e comparação com referências apropriadas.

Experimento 32 — Unidade aritmética com comando por onda

Objetivo e procedimento

O código aborda unidade aritmética com comando por onda. Procedimentos identificados: transformada rápida de Fourier (FFT), análise espectral FFT, geração pseudoaleatória, amostragem pseudoaleatória, estimativa de fase, geração senoidal. A configuração detalhada e as hipóteses operacionais permanecem no código-fonte original.

Resultados registrados

```
MORPHIQ - EXPERIMENTO 32
--------------------------------
Comando: ADD
Acertos: 300
Taxa: 100.0 %
Erro medio: 0.1407 Hz
Comando: SUB
Acertos: 300
Taxa: 100.0 %
Erro medio: 0.1286 Hz
Total de testes: 600
Falhas: 0
```

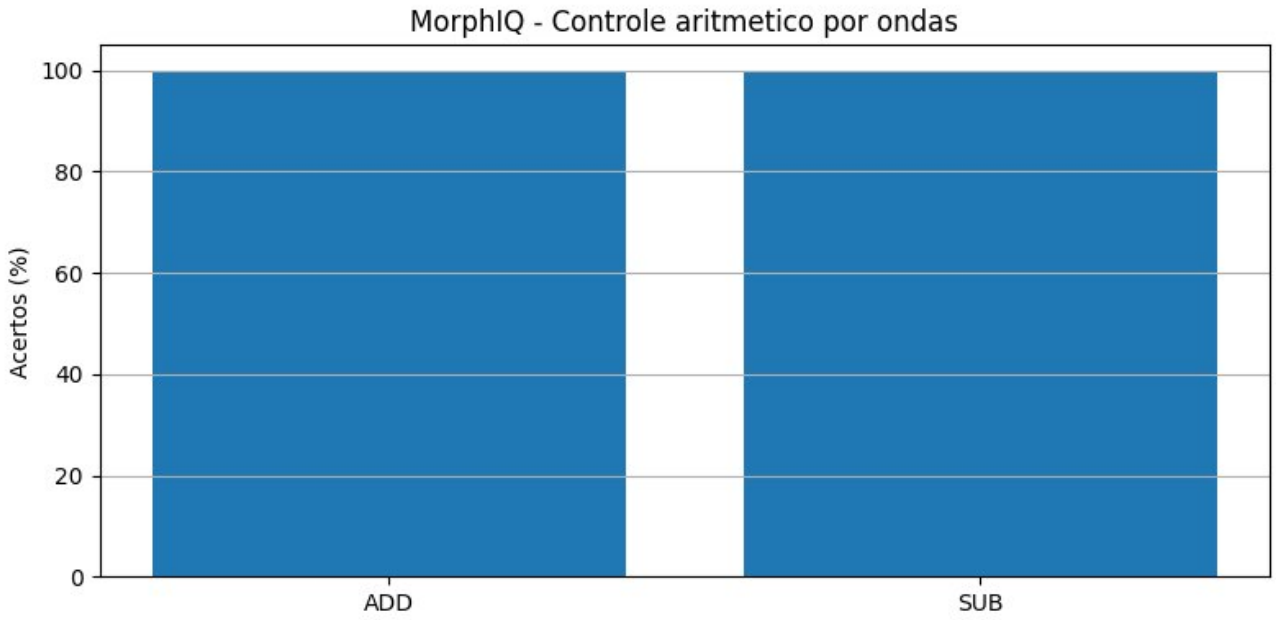


Figura 32.1 — gráfico salvo na saída do experimento 32.

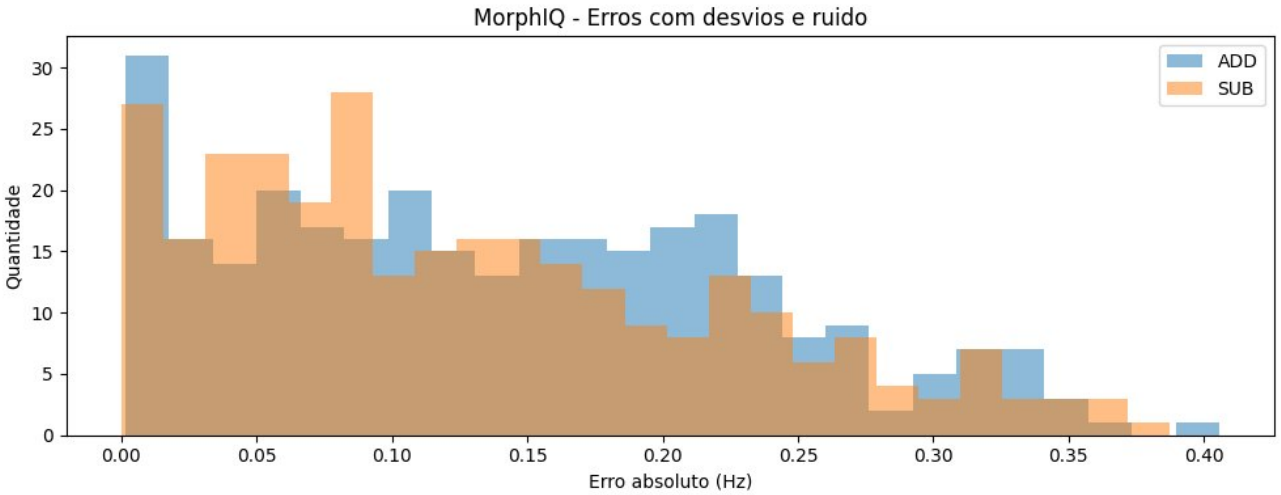


Figura 32.2 — gráfico salvo na saída do experimento 32.

Interpretação e limites

Os números e gráficos apresentados correspondem exclusivamente à execução registrada no notebook. Para avaliar repetibilidade, robustez externa e generalização, são necessários testes independentes, parâmetros explicitados e comparação com referências apropriadas.

Execução sequencial e compensação

Experimento 33 — Execução sequencial por ondas

Objetivo e procedimento

O código aborda execução sequencial por ondas. Procedimentos identificados: transformada rápida de Fourier (FFT), análise espectral FFT, geração pseudoaleatória, amostragem pseudoaleatória, estimativa de fase, geração senoidal. A configuração detalhada e as hipóteses operacionais permanecem no código-fonte original.

Resultados registrados

```
MORPHIQ - EXPERIMENTO 33
--------------------------------
Programas: 100
Instrucoes: 800
Acertos por instrucao: 800
Taxa por instrucao: 100.0 %
Programas inteiramente corretos: 100
Taxa de programas: 100.0 %
Erro medio final: 0.0162 Hz
EXEMPLO DE PROGRAMA
Inicio: 7
1. ADD 1 | Esperado: 8 | Medido: 8.030
2. SUB 4 | Esperado: 4 | Medido: 4.009
3. ADD 4 | Esperado: 8 | Medido: 8.008
4. ADD 2 | Esperado: 10 | Medido: 9.975
5. SUB 4 | Esperado: 6 | Medido: 6.010
6. SUB 3 | Esperado: 3 | Medido: 3.016
7. ADD 3 | Esperado: 6 | Medido: 6.022
8. SUB 3 | Esperado: 3 | Medido: 3.026
```



Figura 33.1 — gráfico salvo na saída do experimento 33.

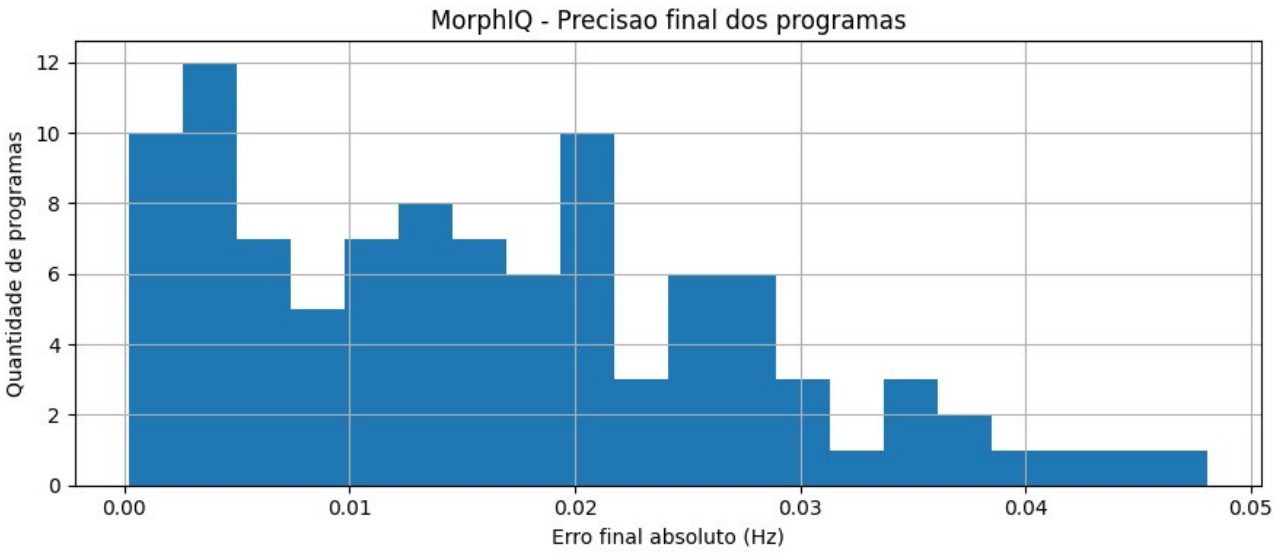


Figura 33.2 — gráfico salvo na saída do experimento 33.

Interpretação e limites

Os números e gráficos apresentados correspondem exclusivamente à execução registrada no notebook. Para avaliar repetibilidade, robustez externa e generalização, são necessários testes independentes, parâmetros explicitados e comparação com referências apropriadas.

Experimento 34 — Acúmulo de erros no estado ondulatório

Objetivo e procedimento

O código aborda acúmulo de erros no estado ondulatório. Procedimentos identificados: geração pseudoaleatória, amostragem pseudoaleatória, estimativa de fase, repetição de cenários/testes. A configuração detalhada e as hipóteses operacionais permanecem no código-fonte original.

Resultados registrados

Desvio +/-0.00 Hz | Programas: 100.0% | Instrucoes: 100.0% | Erro final: 0.0193 Hz

Desvio +/-0.10 Hz | Programas: 100.0% | Instrucoes: 100.0% | Erro final: 0.1297 Hz

Desvio +/-0.30 Hz | Programas: 48.0% | Instrucoes: 81.1% | Erro final: 0.4254 Hz

Desvio +/-0.60 Hz | Programas: 6.0% | Instrucoes: 59.6% | Erro final: 0.7049 Hz

MORPHIQ - EXPERIMENTO 34

Programas testados: 400

Instrucoes executadas: 3200

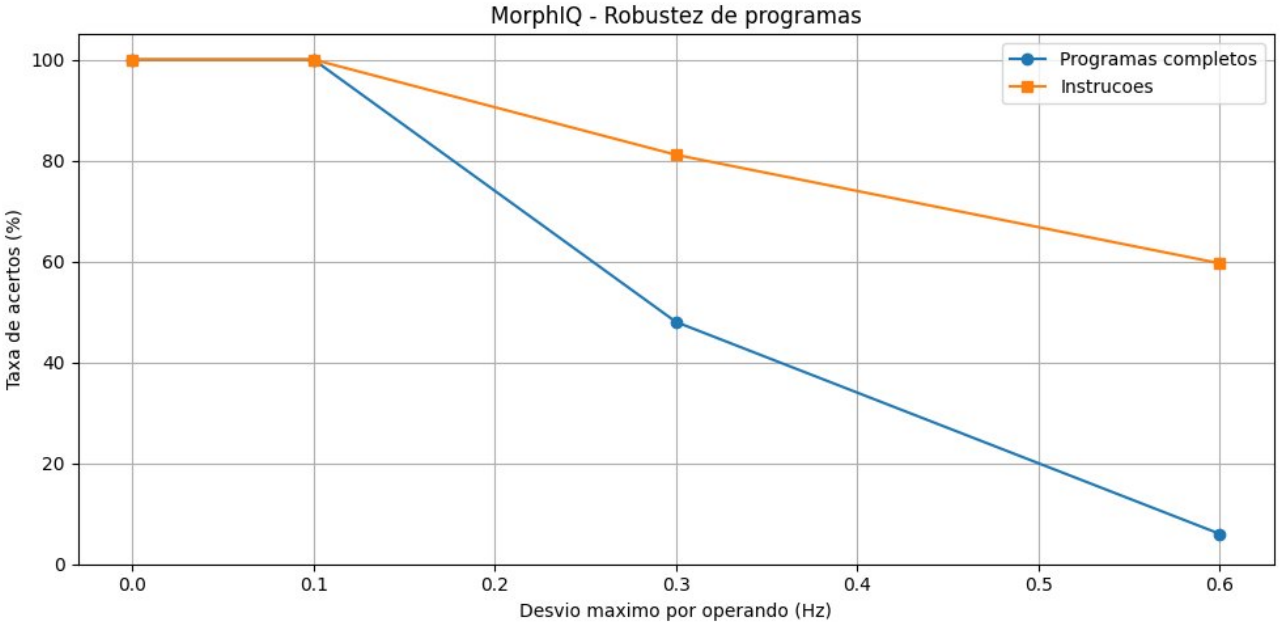


Figura 34.1 — gráfico salvo na saída do experimento 34.

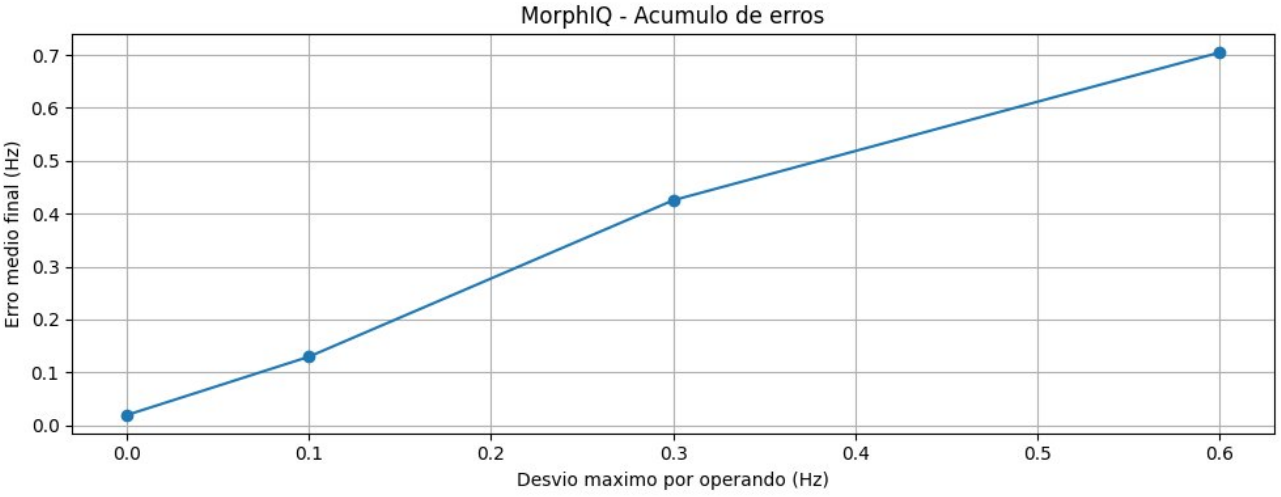


Figura 34.2 — gráfico salvo na saída do experimento 34.

Interpretação e limites

Os números e gráficos apresentados correspondem exclusivamente à execução registrada no notebook. Para avaliar repetibilidade, robustez externa e generalização, são necessários testes independentes, parâmetros explicitados e comparação com referências apropriadas.

Experimento 35 — Estabilização do estado ondulatório

Objetivo e procedimento

O código aborda estabilização do estado ondulatório. Procedimentos identificados: geração pseudoaleatória, amostragem pseudoaleatória, estimativa de fase, repetição de cenários/testes. A configuração detalhada e as hipóteses operacionais permanecem no código-fonte original.

Resultados registrados

Desvio +/-0.00 Hz | Livre: 100.0% | Estabilizado: 100.0%

Desvio +/-0.10 Hz | Livre: 100.0% | Estabilizado: 100.0%

Desvio +/-0.30 Hz | Livre: 53.0% | Estabilizado: 100.0%

Desvio +/-0.60 Hz | Livre: 9.0% | Estabilizado: 34.0%

MORPHIQ - EXPERIMENTO 35

Programas por configuracao: 100

Total de execucoes: 800

Total de instrucoes: 6400

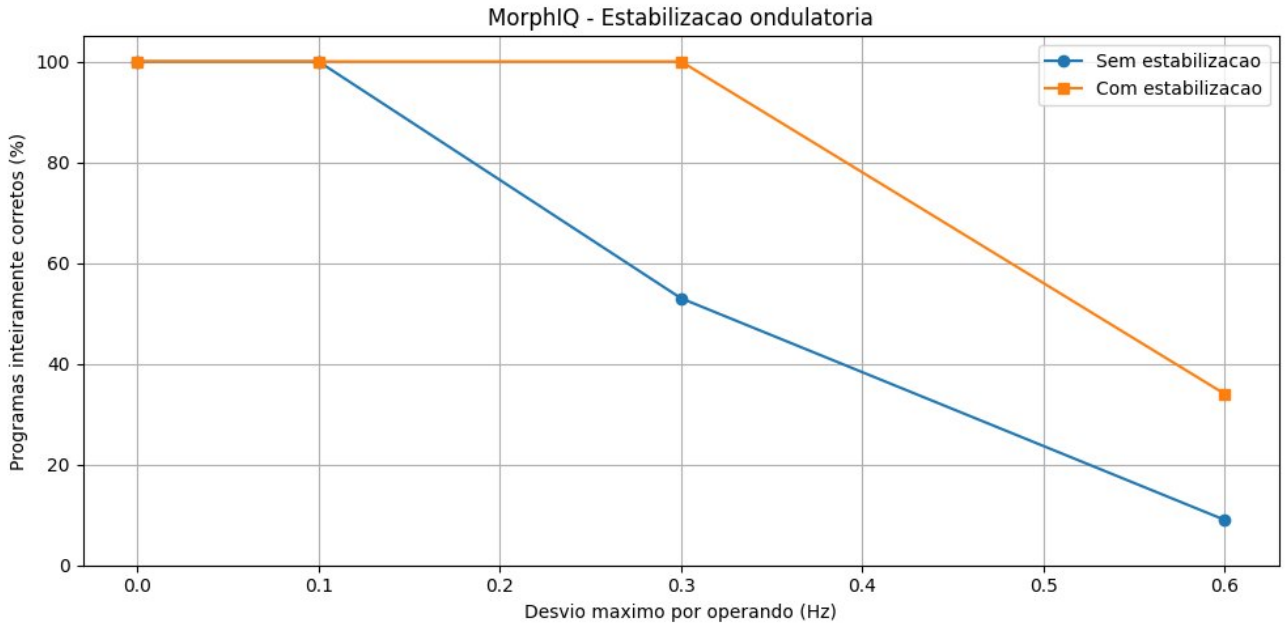


Figura 35.1 — gráfico salvo na saída do experimento 35.

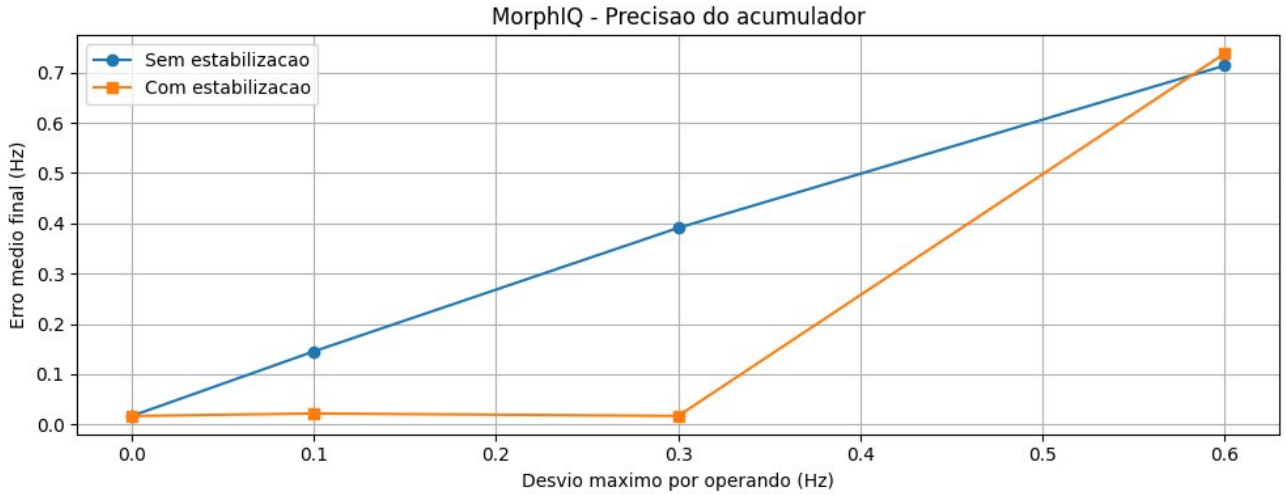


Figura 35.2 — gráfico salvo na saída do experimento 35.

Interpretação e limites

Os números e gráficos apresentados correspondem exclusivamente à execução registrada no notebook. Para avaliar repetibilidade, robustez externa e generalização, são necessários testes independentes, parâmetros explicitados e comparação com referências apropriadas.

Experimento 36 — Correção por onda-piloto

Objetivo e procedimento

O código aborda correção por onda-piloto. Procedimentos identificados: geração pseudoaleatória, amostragem pseudoaleatória, estimativa de fase, repetição de cenários/testes. A configuração detalhada e as hipóteses operacionais permanecem no código-fonte original.

Resultados registrados

Desvio +/-0.00 Hz
Livre: 100.0% | Erro final: 0.0021 Hz
Piloto: 100.0% | Erro final: 0.0050 Hz
Desvio +/-0.10 Hz
Livre: 100.0% | Erro final: 0.1221 Hz
Piloto: 100.0% | Erro final: 0.0055 Hz
Desvio +/-0.30 Hz
Livre: 50.0% | Erro final: 0.3600 Hz
Piloto: 100.0% | Erro final: 0.0050 Hz
Desvio +/-0.60 Hz
Livre: 8.0% | Erro final: 0.7205 Hz
Piloto: 100.0% | Erro final: 0.0051 Hz
Desvio +/-1.00 Hz
Livre: 0.0% | Erro final: 1.3842 Hz
Piloto: 100.0% | Erro final: 0.0052 Hz
MORPHIQ - EXPERIMENTO 36
Total de programas simulados: 1000
Total de instrucoes: 8000

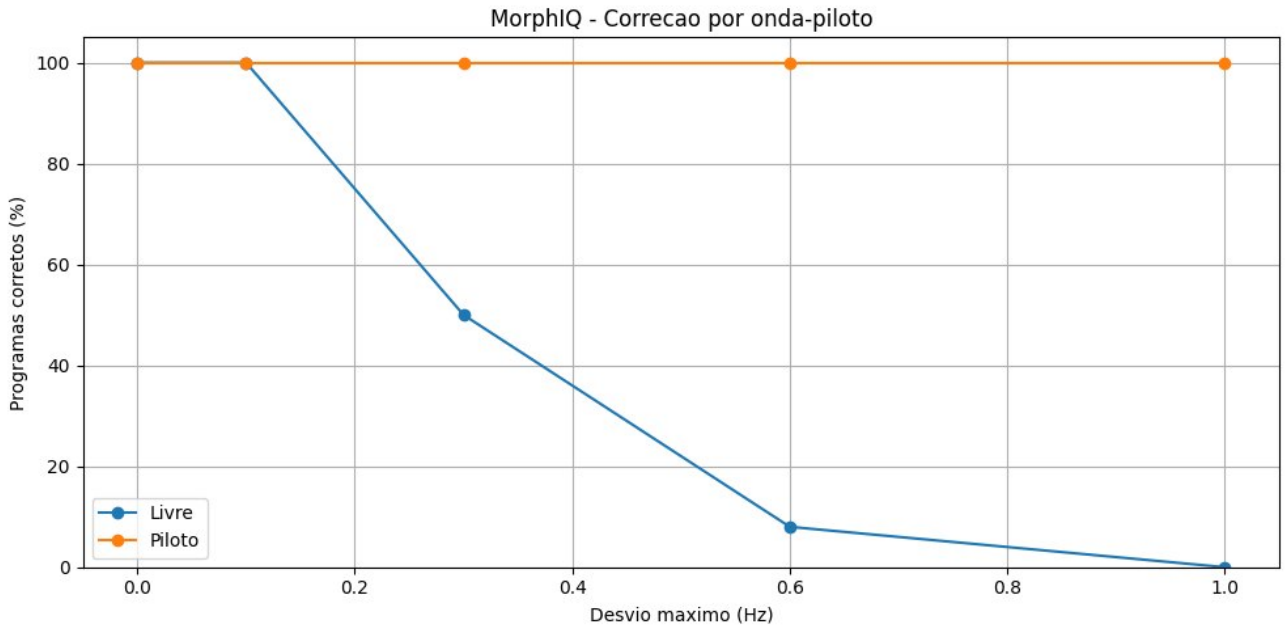


Figura 36.1 — gráfico salvo na saída do experimento 36.

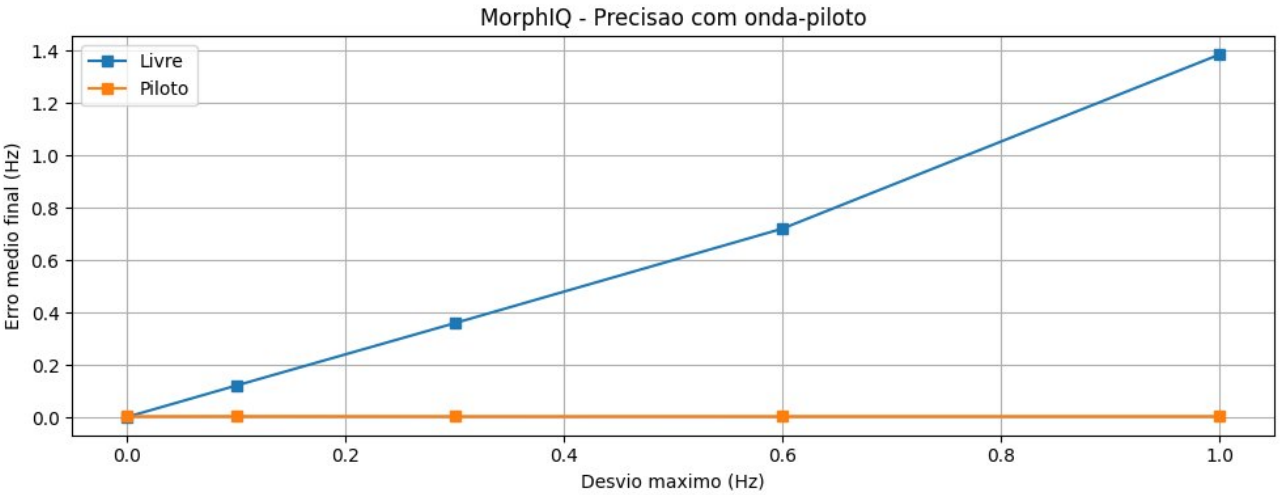


Figura 36.2 — gráfico salvo na saída do experimento 36.

Interpretação e limites

Os números e gráficos apresentados correspondem exclusivamente à execução registrada no notebook. Para avaliar repetibilidade, robustez externa e generalização, são necessários testes independentes, parâmetros explicitados e comparação com referências apropriadas.

Experimento 37 — Imperfeições da onda-piloto

Objetivo e procedimento

O código aborda imperfeições da onda-piloto. Procedimentos identificados: geração pseudoaleatória, amostragem pseudoaleatória, estimativa de fase, repetição de cenários/testes. A configuração detalhada e as hipóteses operacionais permanecem no código-fonte original.

Resultados registrados

Diferenca +/-0.00 Hz | Programas: 100.0% | Erro final: 0.0187 Hz

Diferenca +/-0.05 Hz | Programas: 100.0% | Erro final: 0.0676 Hz

Diferenca +/-0.10 Hz | Programas: 100.0% | Erro final: 0.1308 Hz

Diferenca +/-0.20 Hz | Programas: 82.0% | Erro final: 0.2710 Hz

Diferenca +/-0.40 Hz | Programas: 36.0% | Erro final: 0.5390 Hz

Diferenca +/-0.80 Hz | Programas: 2.0% | Erro final: 1.0438 Hz

MORPHIQ - EXPERIMENTO 37

Programas testados: 600

Instrucoes executadas: 4800

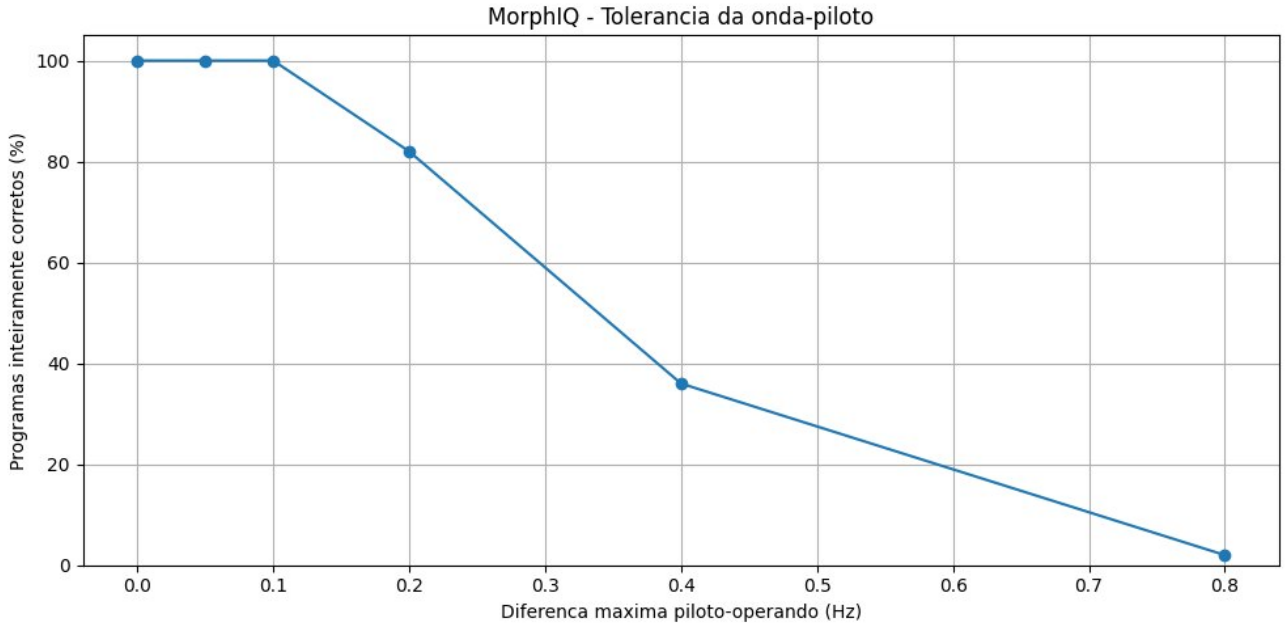


Figura 37.1 — gráfico salvo na saída do experimento 37.

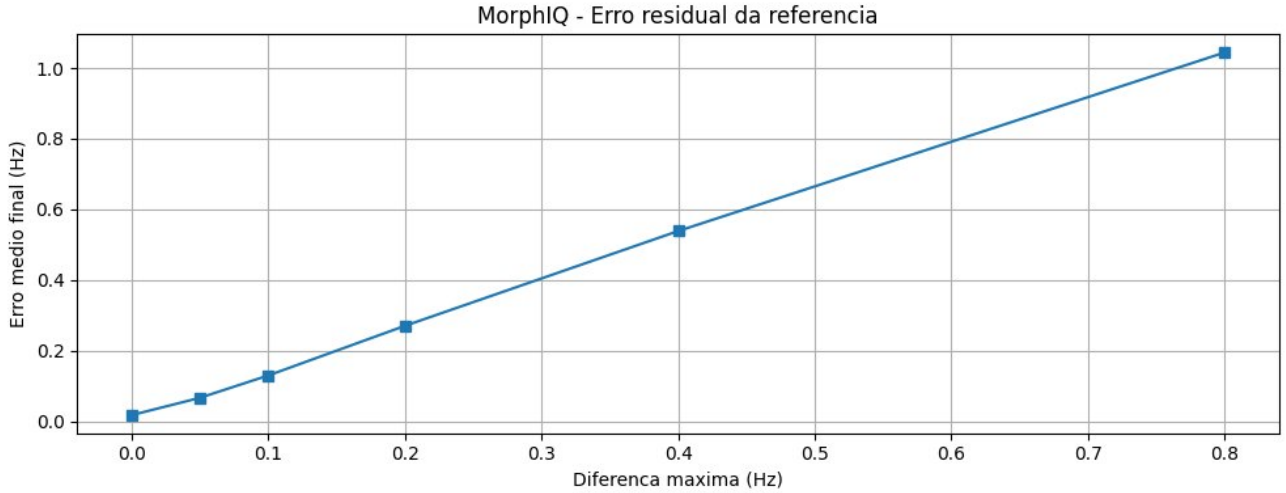


Figura 37.2 — gráfico salvo na saída do experimento 37.

Interpretação e limites

Os números e gráficos apresentados correspondem exclusivamente à execução registrada no notebook. Para avaliar repetibilidade, robustez externa e generalização, são necessários testes independentes, parâmetros explicitados e comparação com referências apropriadas.

Experimento 38 — Correção do acumulador ondulatório

Objetivo e procedimento

O código aborda correção do acumulador ondulatório. Procedimentos identificados: transformada rápida de Fourier (FFT), análise espectral FFT, geração pseudoaleatória, amostragem pseudoaleatória, componente em quadratura, repetição de cenários/testes. A configuração detalhada e as hipóteses operacionais permanecem no código-fonte original.

Resultados registrados

Desvio +/-0.00 Hz
livre | Acertos: 100.0% | Erro medio: 0.0000 Hz
imperfeita | Acertos: 100.0% | Erro medio: 0.0030 Hz
independente | Acertos: 100.0% | Erro medio: 0.0218 Hz
Desvio +/-0.10 Hz
livre | Acertos: 100.0% | Erro medio: 0.1123 Hz
imperfeita | Acertos: 100.0% | Erro medio: 0.1415 Hz
independente | Acertos: 100.0% | Erro medio: 0.1386 Hz
Desvio +/-0.30 Hz
livre | Acertos: 65.0% | Erro medio: 0.4027 Hz
imperfeita | Acertos: 76.0% | Erro medio: 0.3547 Hz
independente | Acertos: 63.0% | Erro medio: 0.4072 Hz
Desvio +/-0.60 Hz
livre | Acertos: 39.0% | Erro medio: 0.7992 Hz
imperfeita | Acertos: 30.0% | Erro medio: 0.8458 Hz
independente | Acertos: 36.0% | Erro medio: 0.8051 Hz
Desvio +/-1.00 Hz
livre | Acertos: 27.0% | Erro medio: 1.2221 Hz
imperfeita | Acertos: 16.0% | Erro medio: 1.5560 Hz
independente | Acertos: 26.0% | Erro medio: 1.2130 Hz
MORPHIQ - EXPERIMENTO 38
Programas por configuracao: 100
Instrucoes por programa: 8
Total de execucoes: 1500
Total de instrucoes: 12000
Intervalo de correcao: 2

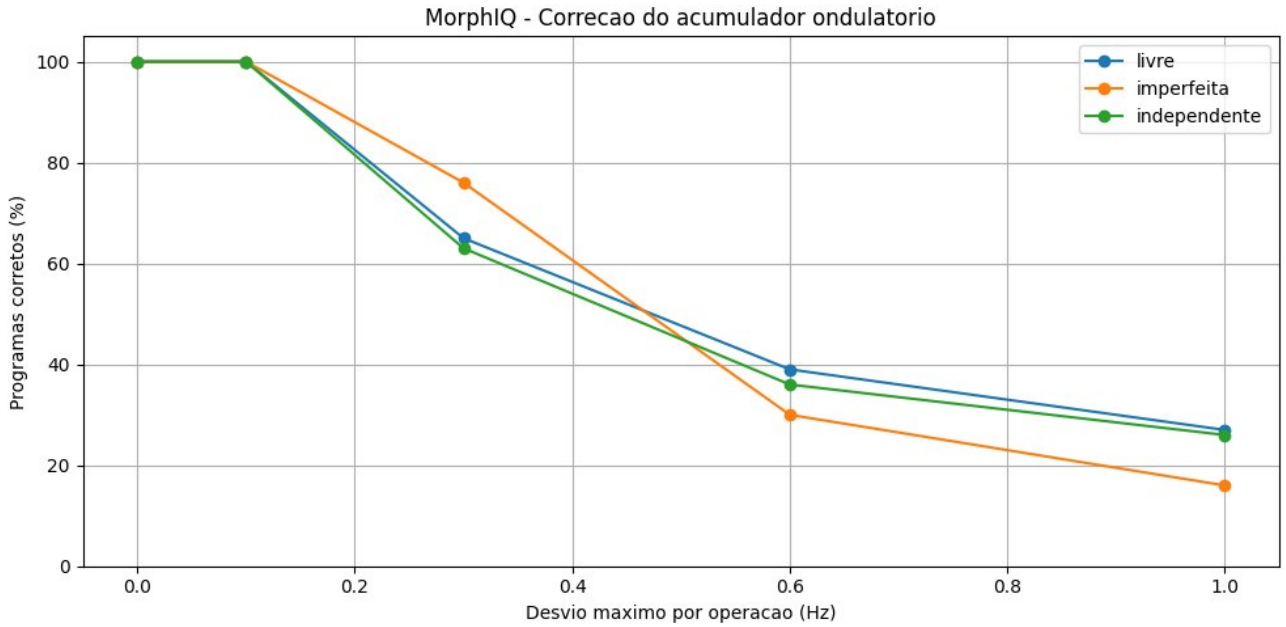


Figura 38.1 — gráfico salvo na saída do experimento 38.

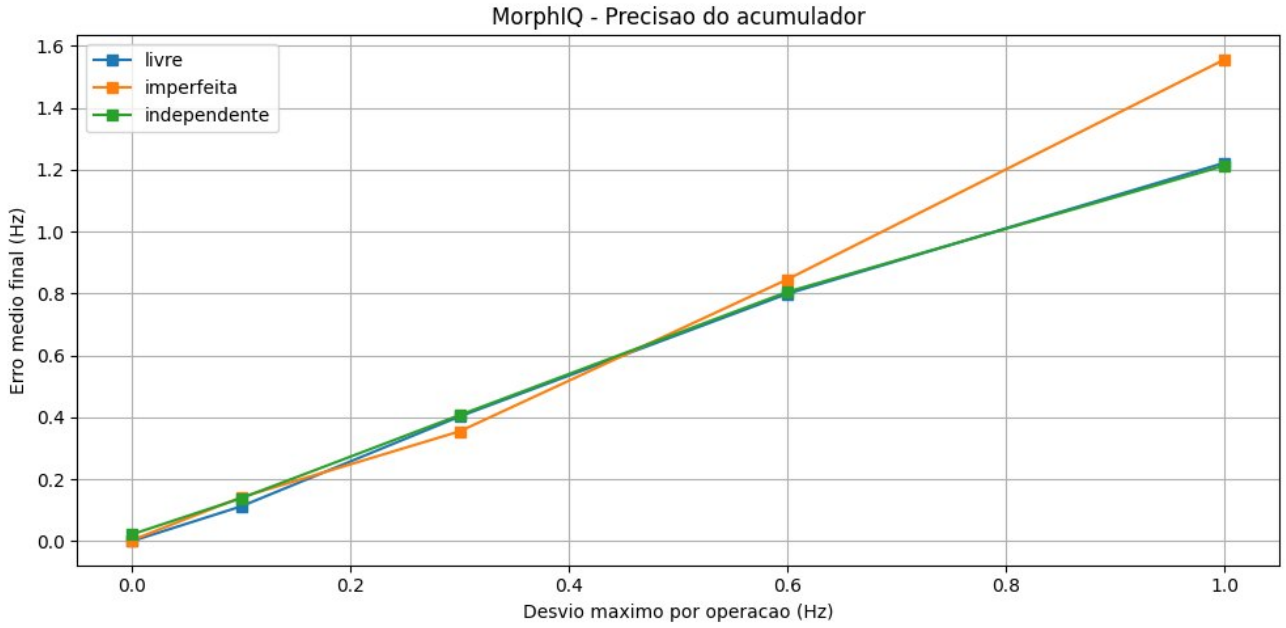


Figura 38.2 — gráfico salvo na saída do experimento 38.

Interpretação e limites

Os números e gráficos apresentados correspondem exclusivamente à execução registrada no notebook. Para avaliar repetibilidade, robustez externa e generalização, são necessários testes independentes, parâmetros explicitados e comparação com referências apropriadas.

Experimento 39 — Compensação diferencial por onda-piloto

Objetivo e procedimento

O código aborda compensação diferencial por onda-piloto. Procedimentos identificados: transformada rápida de Fourier (FFT), análise espectral FFT, geração pseudoaleatória, amostragem pseudoaleatória, componente em quadratura, repetição de cenários/testes. A configuração detalhada e as hipóteses operacionais permanecem no código-fonte original.

Resultados registrados

DESVIO +/-0.00 Hz
Livre | Acertos: 100.0% | Erro medio: 0.0043 Hz
Piloto compartilhado | Acertos: 100.0% | Erro medio: 0.0059 Hz
Piloto imperfeito | Acertos: 100.0% | Erro medio: 0.0066 Hz
DESVIO +/-0.10 Hz
Livre | Acertos: 100.0% | Erro medio: 0.1325 Hz
Piloto compartilhado | Acertos: 100.0% | Erro medio: 0.0062 Hz
Piloto imperfeito | Acertos: 100.0% | Erro medio: 0.0357 Hz
DESVIO +/-0.30 Hz
Livre | Acertos: 75.0% | Erro medio: 0.3769 Hz
Piloto compartilhado | Acertos: 100.0% | Erro medio: 0.0062 Hz
Piloto imperfeito | Acertos: 100.0% | Erro medio: 0.0988 Hz
DESVIO +/-0.60 Hz
Livre | Acertos: 41.0% | Erro medio: 0.7968 Hz
Piloto compartilhado | Acertos: 100.0% | Erro medio: 0.0061 Hz
Piloto imperfeito | Acertos: 94.0% | Erro medio: 0.1865 Hz
[...] 4 linhas intermediárias omitidas nesta transcrição; consulte o notebook original.
MORPHIQ - EXPERIMENTO 39
Programas por configuracao: 100
Instrucoes por programa: 8
Total de execucoes: 1500
Total de instrucoes: 12000
Piloto nominal: 70.0 Hz
Ruido aplicado: 0.05

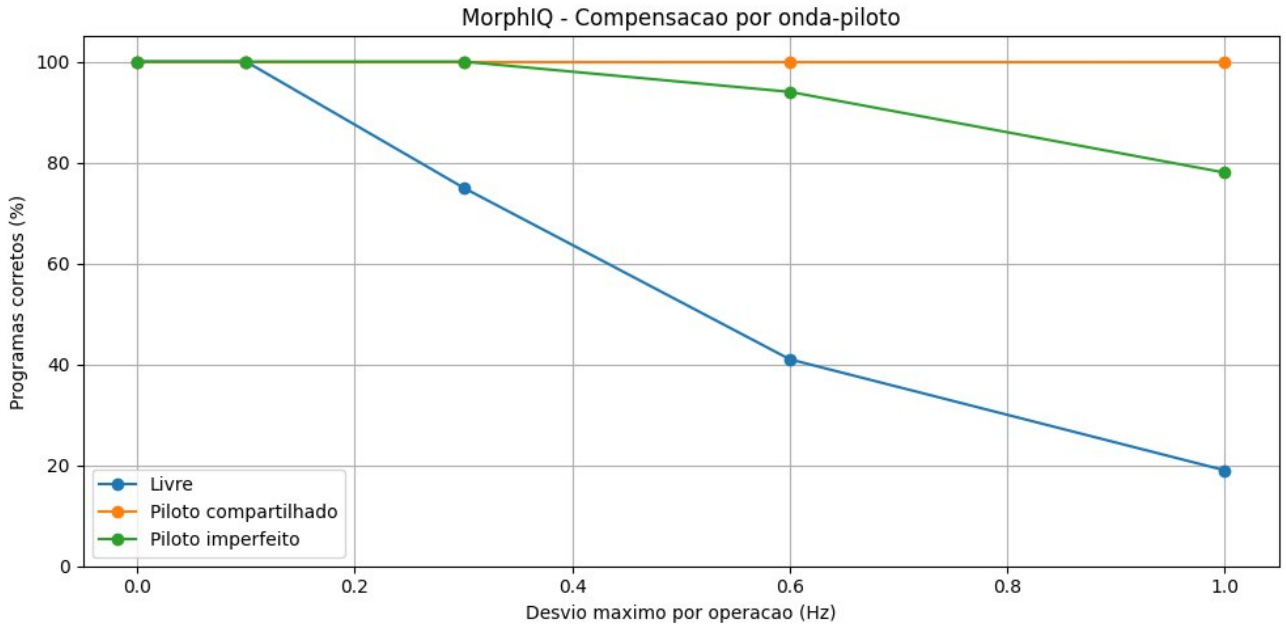


Figura 39.1 — gráfico salvo na saída do experimento 39.

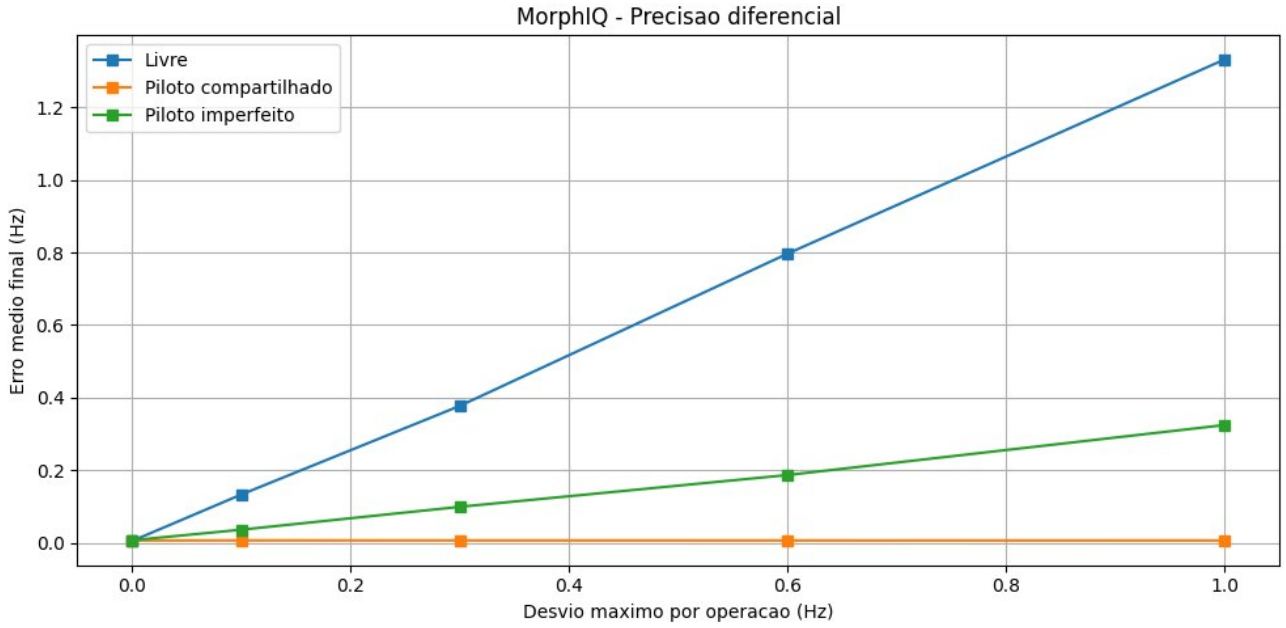


Figura 39.2 — gráfico salvo na saída do experimento 39.

Interpretação e limites

Os números e gráficos apresentados correspondem exclusivamente à execução registrada no notebook. Para avaliar repetibilidade, robustez externa e generalização, são necessários testes independentes, parâmetros explicitados e comparação com referências apropriadas.

Avaliação integrada da unidade aritmética

Experimento 40 — Unidade aritmética por mistura de ondas

Objetivo e procedimento

O código aborda unidade aritmética por mistura de ondas. Procedimentos identificados: transformada rápida de Fourier (FFT), análise espectral FFT, geração pseudoaleatória, amostragem pseudoaleatória, componente em quadratura, repetição de cenários/testes. A configuração detalhada e as hipóteses operacionais permanecem no código-fonte original.

Resultados registrados

```
Ruido: 0.00 | Desvio: +/-0.00 Hz
ADD: 100.0% | Erro medio: 0.0000 Hz
SUB: 100.0% | Erro medio: 0.0000 Hz
Ruido: 0.00 | Desvio: +/-0.10 Hz
ADD: 100.0% | Erro medio: 0.0698 Hz
SUB: 100.0% | Erro medio: 0.0697 Hz
Ruido: 0.00 | Desvio: +/-0.25 Hz
ADD: 100.0% | Erro medio: 0.1696 Hz
SUB: 100.0% | Erro medio: 0.1618 Hz
Ruido: 0.00 | Desvio: +/-0.50 Hz
ADD: 74.0% | Erro medio: 0.3440 Hz
SUB: 74.5% | Erro medio: 0.3478 Hz
Ruido: 0.05 | Desvio: +/-0.00 Hz
ADD: 100.0% | Erro medio: 0.0011 Hz
SUB: 100.0% | Erro medio: 0.0010 Hz
Ruido: 0.05 | Desvio: +/-0.10 Hz
[...] 33 linhas intermediárias omitidas nesta transcrição; consulte o notebook original.
Cenarios: 16
Testes por operacao e cenario: 200
Total de operacoes: 6400
Taxa media ADD: 93.78 %
Taxa media SUB: 93.25 %
Erro medio ADD: 0.1459 Hz
Erro medio SUB: 0.1464 Hz
```

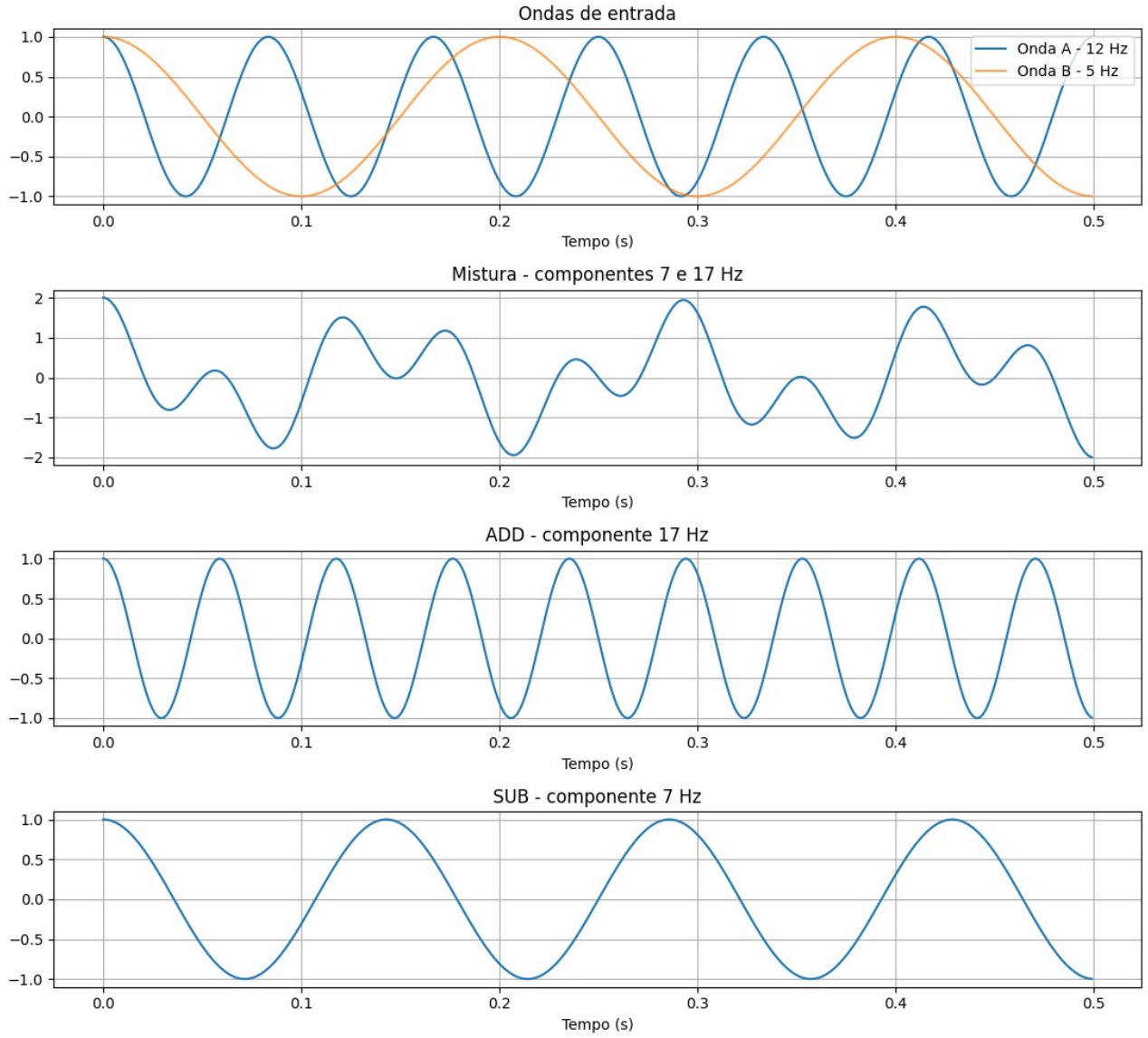


Figura 40.1 — gráfico salvo na saída do experimento 40.

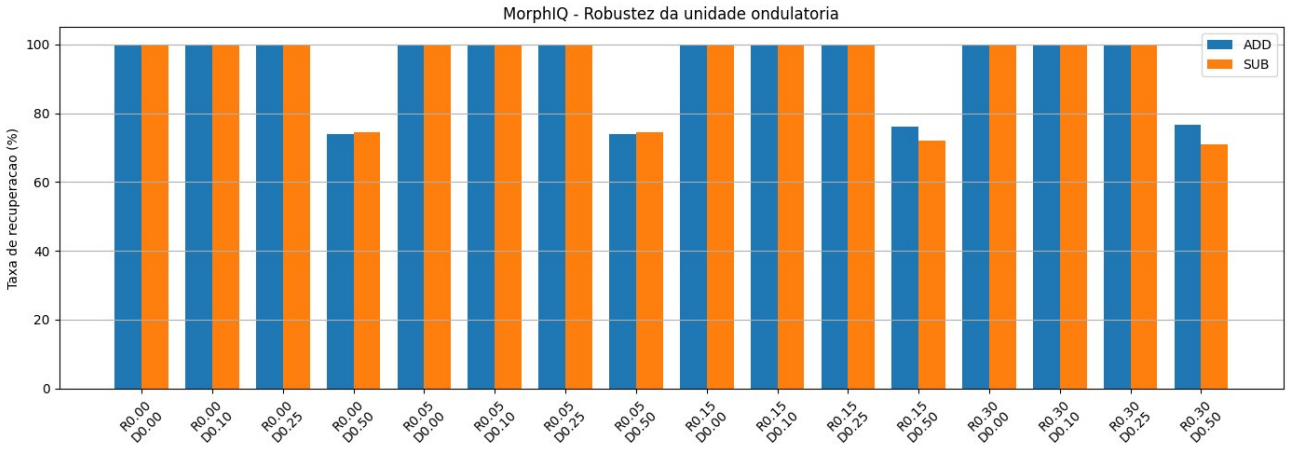


Figura 40.2 — gráfico salvo na saída do experimento 40.

Interpretação e limites

Os números e gráficos apresentados correspondem exclusivamente à execução registrada no notebook. Para avaliar repetibilidade, robustez externa e generalização, são necessários testes independentes, parâmetros explicitados e comparação com referências apropriadas.

Síntese técnica e conclusões

Os experimentos demonstram uma cadeia de protótipos em software: geração de sinais, identificação de frequências, recuperação sob perturbações, mapeamento para instruções, aritmética e execução sequencial. As saídas também documentam limitações importantes: desvios independentes de frequência, estimadores de fase inadequados em alguns regimes e degradação da correção por onda-piloto quando a hipótese de desvio compartilhado deixa de valer.

As simulações de PUF e de autenticação são modelos computacionais, não caracterização de dispositivos de silício. A representação de comandos em sinais e a execução de programas foram simuladas, não implementadas como arquitetura física de processador.

Próximas etapas de validação

Recomenda-se: (1) congelar versões do código e sementes aleatórias; (2) publicar tabela de parâmetros e métricas por experimento; (3) repetir os ensaios com intervalos de confiança; (4) comparar com técnicas de modulação e decodificação estabelecidas; (5) implementar bancada física com gerador de sinais, aquisição e sincronização; (6) testar PUF apenas com dispositivos reais e protocolo de avaliação de segurança adequado.

Rastreabilidade

Fonte primária: arquivo .ipynb fornecido nesta conversa. Experimentos reconhecidos: 40; imagens de gráficos incorporadas: 57. A transcrição de saídas muito longas é resumida; o notebook original é a referência integral de código e logs.